

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

На тему Разработка стенда для лабораторной работы «Устройство и принципы работы силового агрегата автомобиля» с использованием 3D-моделирования. Двигатель внутреннего сгорания

Студент

Д.В. Павлихин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент И.В. Турбин

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

Консультанты

канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

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

канд. экон. наук, доцент О.М. Сярдова

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

Тольятти 2021

## АННОТАЦИЯ

Данная работа представляет собой практическую разработку 3D-модели, для дальнейшей печати на 3D-принтере, её сборку и разработку лабораторной работы.

Тема дипломного проекта - Разработка стенда для лабораторной работы «Устройство и принципы работы силового агрегата автомобиля» с использованием 3D-моделирования. Двигатель внутреннего сгорания.

Пояснительная записка раскрывает функциональный замысел проекта. Содержание состоит из введения, 6 глав, списка литературы и приложения.

В введении раскрывается замысел и актуальность работы, её цель.

В первой главе описывается история аддитивным технологий, и материалы, которые применяются при печати на 3D-принтере.

Во второй главе теоретическое исследование необходимое для разработки модели ДВС.

Третья глава является описанием работы в программе КОМПАС3D, на примере создания модели шатуна.

Четвертая глава из методического пособия по лабораторной работе, выполняемой на этом стенде.

Пятая глава состоит из исследования безопасности 3D-печати и инструкции по охране труда и здоровья, при работе с устройством.

В шестой главе экономическое обоснование дипломного проекта.

Список используемой литературы содержит информации об используемых источниках.

Приложение состоит из фотографий деталей стенда.

## **ABSTRACT**

This graduation work is devoted to a practical design of a 3D model for future do it with a 3D-printer. As well as the assembly of the model and the development of lab work.

The title of the graduation work is – Development of a stand for lab work "Design and principles of operation of a power unit of a car" using 3D-modeling. Internal combustion engine.

The graduation work consists of an explanatory note which reveals the main conception of the project, introduction, six chapters, the list of references and appendices.

The introduction reveals the concept and relevance and the aim of the work.

In the first chapter, we examine the history of additive technologies, and the materials that are used when printing on a 3D-printer.

We also examine theoretical research required to develop an internal combustion engine model in the second chapter.

In the third chapter, we outline working with the program KOMPAS3D program, using the example of creating a connecting rod model.

The fourth chapter consists of a technical manual for lab work performed onto this stand.

The fifth chapter consists of a study on the safety of 3D-printing and health and safety instruction when working with the device.

In the sixth chapter, we deal with the graduation project feasibility study.

The list of references contains information on the sources used.

The appendices consist of the pictures of the details of the stand.

# СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 История 3D-печати, обзор материалов и 3D-принтеров.....	7
1.1 Возникновение термина.....	7
1.2 История.....	9
1.3 Материалы.....	17
2 Двигатель внутреннего сгорания.....	28
2.1 Термин. История.....	28
2.2 Поршневые двигатели.....	29
2.3 4-тактные двигатели.....	33
2.4 Конфигурация цилиндра.....	34
3 Разработка 3D модели.....	36
3.1 3D моделирование ДВС.....	36
4 Методическое пособие к лабораторной работе «экспериментальное определение передаточного числа мкпп на разных передачах».....	48
4.1 Цели работы.....	48
4.2 Теоретическая часть.....	48
4.3 Оборудование и материалы.....	56
4.4 Устройство стенда.....	57
4.5 Порядок проведения работы.....	60
4.6 Содержание отчета.....	64
4.7 Контрольные вопросы.....	64
5 Безопасность и экологичность проекта.....	65
5.1 Безопасность 3D-принтера.....	65
5.2 Электрическая безопасность.....	65

5.3	Механическая безопасность .....	65
5.4	Опасность ожога .....	65
5.5	Безопасность и материалы для 3D-печати .....	66
5.6	Безопасность объектов 3D-печати .....	66
5.7	Исследование материалов для 3D-печати.....	67
5.8	Выбросы и опасности ультрадисперсных частиц (UFP) .....	67
5.9	Летучие органические соединения (ЛОС) .....	70
5.10	Повышение безопасности при 3D-печати.....	71
	Инструкция № ____ по охране труда при работе с 3D–принтером.....	72
6	Экономическое обоснование и эффективность проведения дипломной работы.....	75
	Список используемых источников.....	82
	Приложение А Фотографии стенда.....	86

## ВВЕДЕНИЕ

Аддитивные технологии позволяют из бесформенного материала, создавать фигуры сложной формы, и разных размеров. 3D-принтеры все больше становятся частью интерьера дома, и не зря ведь это позволяет не только реализовать свой творческий потенциал, но заменять сломанные детали, всего лишь напечатав их, не выходя из дома. Современные аддитивные технологии находят применение в различных областях жизнедеятельности человека медицине, машиностроении, авиастроении, аэрокосмической отрасли, оружейном деле, науке, искусстве. Развитие аддитивных технологий влечет за собой технологический прорыв человечества. Актуальность работы, такова, что аддитивные технологии не стоят на месте, а становятся все более доступны простому обывателю. При этом позволяя выполнить 3D-модель затратив меньше средств, чем при традиционном проектировании. Это позволяет намного быстрее вносить коррекции в модель и реализовывать её в производстве.

Создание стенда позволяет визуально оценить работу кривошипно-шатунного механизма, сцепления, коробки передач, при имитации работы двигателя. И позволит непосредственно оценить практическое значение коробки передач в системе автомобиля.

Объектами исследования в данной работе являются наиболее известные и доступные материалы для печати.

Предметом проектирования становится поэтапное построение модели двигателя.

Цель дипломного проекта – разработка стенда ДВС.

Методы исследования: практический, макетирование, 3D моделирование и конструирование, определение наилучшего материала и способа крепления деталей и узлов.

# **1 История 3D-печати, обзор материалов и 3D-принтеров**

## **1.1 Возникновение термина**

«Аддитивное производство или 3D-печать — это создание трехмерного объекта из модели САПР или цифровой 3D-модели» [12]. Термин «3D-печать» относится к процессам управляемым компьютером для построения трехмерной модели изделия, в зависимости от технологии производства материал осаждается, соединяется или затвердевает материал при этом добавляется совместно (жидкости, зерна порошка, пластмассы, сплавленные вместе), слой за слоем. Методы 3D-печати считались пригодными, в 1980-х годах, для создания эстетических или функциональных прототипов, тогда применялся термин быстрое прототипирование. По состоянию на 2020 год в связи с увеличением точности, воспроизводимости, диапазон количества материалов для 3D-печати некоторые процессы этой технологии считаются подходящими для использования в технологиях промышленного производства, по итогу термин аддитивное производство может применяться как синоним 3D-печати. Одним из главных достоинств 3D-печати является возможность создания все возможных форм и геометрий, которые было бы время затратно и материально дорого воспроизвести вручную, включая детали со сложной внутренней структурой для снижения массы или полые детали. Моделирование последовательным наплавлением, или FDM, является наиболее распространенным процессом 3D-печати благодаря своей простоте, используемым с 2020 года.

Общий термин «аддитивное производство» приобрел популярность в 2000-х, вдохновленный тематикой объединения материалов различными способами. Термин «субтрактивное производство» является ретронимом для огромного семейства процессов обработки, при которых материал удаляется из заготовки. Термин 3D-печать по-прежнему в большинстве ассоциируется только с полимерными технологиями, а термин «аддитивное производство» с большей вероятностью будет использоваться в контексте металлообработки и производства конечных деталей, «чем среди энтузиастов полимеров, струйной печати или стереолитографии. Струйная печать была наименее известной технологией, хотя она была изобретена в 1950 году и плохо изучена из-за своей сложной природы. Самые ранние струйные принтеры использовались в качестве записывающих устройств, а не принтеров. Еще в 1970-х годах термин «рекордер» ассоциировался со струйной печатью. Непрерывная струйная печать позже превратилась в струйную печать по запросу или Drop-On-Demand. Вначале струйные принтеры были одним соплом, а теперь имеют тысячи сопел для печати за каждый проход по поверхности.» [12]

В начале 2010-х годов термины аддитивное производство и 3D-печать стали альтернативными идентичными терминами для аддитивных технологий, один из которых использовался в средствах массовой информации и сообществах пользователей, а другой формально применялся на промышленных предприятиях. «До недавнего времени термин 3D-печать ассоциировалась с машинами с низкой ценой или производительностью. 3D-печать и аддитивное производство отражают, что технологии разделяют тему добавления или соединения материалов во всем трехмерном рабочем конверте под автоматическим контролем.» [13] Главный редактор известного журнала по аддитивным технологиям, Питер Зелински отметил в 2017 году, что термины по - прежнему часто случайно ассоциируются в использовании, но часть производственных экспертов пытаются сделать различие, в котором

этот термин включает не только 3D – печать, но и другие технологии или аспекты производственного процесса.

Термины, которые использовались как синонимы или гиперонимы, подразумевали производство настольных компьютеров, быстрое производство, как преемник быстрого прототипирования и производство по запросу, переключаясь в двухмерном понимании печати по запросу. Такое применение синонимов по требованию к существующему производству было в новинку в 2000-х годах, раскрывая преобладающую психологическую модель долгой индустриальной эры, в которой почти все производственные процессы требовали продолжительного времени для выполнения кропотливой разработки инструмента. Сегодня термин «механическая обработка» дополняется термином «вычитание», и применяется, когда необходим термин, включающий любой метод удаления. «Гибкие инструменты — это использование модульных средств для разработки инструментов, которые производятся методами аддитивного производства или 3D-печати, что позволяет быстро создавать прототипы и реагировать на потребности в инструментах и приспособлениях. В гибком производстве используется экономичный и высококачественный метод для быстрого реагирования на потребности клиентов и рынка, и ее можно использовать в гидроформовке, штамповке, литье под давлением и других производственных процессах.» [13]

## **1.2 История**

В рассказе Раймонда Ф. Джонсона «Инструменты торговли», опубликованном в ноябре 1950 года в журнале *AstoundingScienceFiction*, была описана процедура и общая концепция 3D-печати, которая используется и сейчас. В его рассказе это процедура называлась «молекулярным спреем».

«В 1971 году Йоханнес Ф. Готвальд запатентовал регистратор жидких металлов, US3596285A, устройство для непрерывной струйной печати из металлического материала для формирования съемной металлической

конструкции на поверхности многократного использования для немедленного использования или восстановления для повторной печати путем переплавки.» [14] Это «первый патент, описывающий 3D-печать с быстрым прототипированием и контролируемым производством шаблонов по запросу.» [15]

Используемый в патенте термин «печать» не ограничивался в смысле, но включал написание, формирование символов или рисунков с помощью чернил. «Чернила» использовались там не только, как материалы содержащих красители или пигменты, но любые другие композиты, вещества, которые подходят для формирования на поверхности символов, интеллектуальных узоров, знаков посредством маркировки. Чернила типа «Клей-расплав» являются предпочтительными. Диапазон имеющихся в продаже составов чернил, которые могли бы отвечать требованиям изобретения, в настоящее время неизвестен. В соответствии с изобретением удовлетворительная печать была достигнута использованием в качестве краски металлического сплава.

Цель изобретения возможность повторно использовать материалы, использованные в таком производстве. И создания устройства, позволяющего не только наносить рисунки и знаки, но и удалять их с поверхности. То есть, дополнительной целью являлось минимизация материалов указанного класса в процессе. Из-за увеличения размеров деталей, пропорционально увеличивался размер площадей для печати, что дорого выходило по себестоимости и широкое использование процесса ограничивалось.

В 1974 году Дэвид Э. Х. Джонс изложил концепцию 3D-печати в своей постоянной колонке Ariadne в журнале NewScientist.

В 1980-х годах были разработаны первое оборудование и материалы для аддитивного производства.

Хидео Кодама из Нагои в апреле 1980 года работая в Городском научно-исследовательском институте промышленности начал применять два

«аддитивных метода для производства трехмерных пластиковых моделей с фотоотверждающимся термореактивным полимером, в которых область воздействия УФ-излучения контролируется шаблоном маски или сканирующим волоконным передатчиком.» [12] В журнальных статьях в апреле и ноябре 1981 года были опубликованы его результаты исследований. 10 ноября 1981 г. был опубликован его патент на плоттер XYZ (JP S56-144478). Плоттер не был высоко оценен в лабораторных условиях, никто не проявлял к изобретению особого интереса и проект был прекращен, так как никто не приобретал патентные права.

«Патент US 4323756 «Способ изготовления изделий путем последовательного осаждения», выданный Raytheon Technologies Corp. 6 апреля 1982 г. с использованием сотен или тысяч «слоев» металлического порошка и источника лазерной энергии, является ранней ссылкой на формирование «слоев» и изготовление изделий. на подложке.

2 июля 1984 года американский предприниматель Билл Мастерс подал патент на свой компьютерный автоматизированный производственный процесс и систему (US 4665492). Эта заявка зарегистрирована в USPTO как первый в истории патент на 3D-печать; это был первый из трех патентов Masters, положивших начало системам 3D-печати, используемым сегодня.» [14]

Оливье де Витте, Ален Ле Мехоте, и Жан Клод Андре 16 июля 1984 года подали заявку на патент на процесс стереолитографии. Из-за отсутствия деловой перспективы от заявки отказались GeneralElectric и CILAS, французские компании.

Для разработки цветного струйного принтера Роберт Ховард в 1983 году основал компанию RH Research, позже в феврале 1984 года переименованную в Howtek Inc. В 1986 году струйный 2D-принтер Pixelmaster был коммерциализирован, с использованием пластиковых термопластичных чернил. «Собранная команда из 6 человек от Exxon Office Systems, Danbury Systems Division, стартапа по производству струйных

принтеров, и некоторых членов группы Howtek, Inc., которые стали популярными фигурами в индустрии 3D-печати. Один из членов Howtek, патент Ричарда Хелински US5136515A, Метод и средства для создания трехмерных изделий путем осаждения частиц, заявка 11.07.1989, выдана 8.04.1992, сформировал компанию CAD-CastInc из Нью-Гэмпшира, название которой позже было изменено на Visual Impact Corporation (VIC) 22.08.1991. Прототип 3D-принтера VIC для этой компании доступен с видеопрезентацией, демонстрирующей 3D-модель, напечатанную с помощью струйной печати с одним соплом. Другой сотрудник, Герберт Менхеннетт, в 1991 году основал компанию HM Research в Нью-Гэмпшире и представил HowtekInc, Технология струйной печати и термопластические материалы - Ройдену Сандерсу из SDI и Биллу Мастерс из производства баллистических частиц (BPM), где он проработал несколько лет. И в 3D-принтерах BPM, и в 3D-принтерах SPI используются струйные принтеры в стиле Howtek, Inc. и материалы в стиле Howtek, Inc. Ройден Сандерс получил лицензию на патент Helinski до производства Modelmaker 6 Pro в компании Sandersprototype, Inc (SPI) в 1993 году. Джеймс К. МакМахон, который был нанят Howtek, Inc для помощи в разработке струйной печати, позже работал в SandersPrototype и теперь управляет Layer Grown Model Technology, поставщик 3D-услуг, специализирующийся на струйной печати с одним соплом Howtek и поддержке SDI-принтеров.» [11] Со Стивеном Золтаном, изобретателем струйной печати в 1972 году работал Джеймс К. МакМахон, в Еххон и имеет патент от 1978 году, который расширил понимание струйных принтеров с одним соплом и помог усовершенствовать термопластические струйные принтеры Howtek, Inc. «Эта технология Howtek популярна при литье металлов по выплавляемым моделям, особенно в ювелирной индустрии с 3D-печатью. Первым заказчиком Modelmaker 6 Pro Сандерса (SDI) была компания Hitchner Corporation, Metal Casting Technology, Inc в Милфорде, штат Нью-Хэмпшир, в миле от предприятия SDI в конце 1993–1995 годов, разливавшего клюшки для гольфа и детали автомобильных двигателей.» [16]

«8 августа 1984 г. был подан патент US4575330, переуступленный UVP, Inc., позже переуступленный Чаку Халлу из 3D Systems Corporation, его собственный патент на систему изготовления стереолитографии, в которой отдельные пластинки или слои наращиваются путем отверждения. фотополимеры с падающим излучением, бомбардировкой частицами, химической реакцией или просто лазерами в ультрафиолетовом свете. Халл дал определение этому процессу: «система для создания трехмерных объектов путем создания поперечного сечения объекта, который должен быть сформирован». Вклад Халла был в формат файла STL (стереолитография), а также стратегии цифрового нарезания и заполнения, общие для многих современных процессов. В 1986 году Чарльз «Чак» Халл получил патент на эту систему, и была создана его компания, 3D Systems Corporation, которая выпустила первый коммерческий 3D-принтер SLA-1. Позже, в 1987 или 1988 году.» [17]

«Технология, используемая на сегодняшний день в большинстве 3D-принтеров, особенно в моделях, ориентированных на любителей и ориентированных на потребителя, - это моделирование методом наплавления, специальное применение экструзии пластика, разработанное в 1988 году С. Скоттом Крапом и коммерциализированное его компанией Stratasys, которая выпустила на рынок свой первый FDM. машина 1992 года.

Владение 3D-принтером в 1980-х годах стоило более 300 тысяч долларов. Если учесть инфляцию по состоянию на 2016 год, то цена составит 650 тысяч долларов. Со временем эта цена упала из-за пожеланий потребителей и производства большего количества принтеров, а также инноваций в продукте.» [17]

«Аддитивный процесс для спекания или наплавления металлов (такие как селективное лазерное спекание, прямое лазерное спекание металла и селективное лазерное наплавление) в 1980-х и 1990-х годах обычно носили собственные названия. В то время вся обработка металлов производилась процессами, которые сейчас называются неаддитивными (литье ,

изготовление, штамповка и механическая обработка); не смотря на большой процент автоматизирования этих процессов(например, с помощью роботизированной сварки и ЧПУ), идея создания инструмента или головки, движущихся через трехмерную рабочую оболочку, преобразующее массу сырья, придавая желаемой формы с помощью траектории инструмента было связано в первую очередь из-за трудозатратности удаления металла в металлообработке (а не добавляли его), такими как фрезерование с ЧПУ, электроэрозионный станок с ЧПУ и многие другие. Но из-за автоматизирования методов добавления металла, которые позже назовут аддитивным производством, ставили под сомнение это предположение. К середине 1990-х годов в Стэнфорде и Университете Карнеги-Меллона были разработаны инновационные методы осаждения материалов, включающие микролитье и напыление материалов. Основные и вспомогательные материалы также стали более распространенными, что позволило создавать объекты более сложной геометрии.» [18]

«Термин 3D-печать первоначально относился к процессу порошкового слоя с использованием стандартных и нестандартных струйных печатающих головок, разработан в Массачусетском технологическом институте Эмануэлем Саксом в 1993 году и коммерциализирован SoligenTechnologies, ExtrudeHoneCorporation и Z Corporation.

В 1993 году также была основана компания по производству струйных 3D-принтеров, первоначально называвшаяся SandersPrototype, Inc, а затем изменившая название на Solidscape, которая представила технологию высокоточных систем изготовления струйных полимеров с растворимыми опорными структурами.» [18]

Общество Фраунгофера в 1995 изобрели процесс селективной плавки с помощью лазера.

В 2009 году истек срок действия патентов на процесс печати моделированным наплавлением (FDM).

«По мере развития различных аддитивных технологий стало понятно, что удаление металла перестанет быть единственным возможным процессом металлообработки, выполняемым при помощи инструмента или головки, движущихся через трехмерную рабочую область, преобразуя массу сырья в желаемую форму слой за слоем. 2010-е годы были первым десятилетием, в котором металлические детали конечного использования, такие как кронштейны двигателя и большие гайки, будут воспроизводиться (либо до, либо вместо механической обработки) в процессе производства, а не обязательно обрабатываться из пруткового материала или листа. Литье, изготовление, штамповка и механическая обработка по-прежнему более распространены, чем аддитивное производство в металлообработке, но теперь аддитивный процесс начинает делать значительные успехи, и с преимуществами дизайна для аддитивного производства инженерам ясно, что многое еще впереди.» [18]

Аддитивный процесс заметно расширяет сферу своего влияния в авиационной промышленности. В 2016 году авиапассажиров было почти 3,8 миллиарда человек. Поэтому очень высок спрос на экономичные и легко производимые реактивные двигатели. Крупные OEM-производители оригинального оборудования, обращаются к аддитивным процессам. Это позволяет снизить затраты, уменьшая количество деталей, находя новые эргономичные, сложные формы, уменьшая массу двигателей для повышения топливной эффективности и находя новые решения, которые были бы невозможны при устаревших методах производства. В 2016 году Airbus поставил первый двигатель GE LEAP – это один из примеров интеграции с аэрокосмической отраслью. Напечатанные на 3D-принтере, топливные форсунки встроены в двигатель, что позволяет снизить вес на 25%, сократить количество деталей с 20 до 1 и сократить время сборки. Для аддитивного производства топливное сопло идеально подходит в реактивном двигателе, оно представляет собой не вращающуюся деталь с низкой нагрузкой это позволяет оптимизировать конструкцию сложного внутреннего устройства. В

2015 году были напечатаны статоры компрессора и кронштейны синхронизирующих колец, чтобы внедрить впервые эту новую технологию производства, таков выбор был обусловлен не вращающимися деталями с низким напряжением. Хотя в процессе производства реактивных двигателей, печать все еще играет небольшую роль в общем количестве деталей, окупаемость инвестиций, по сокращению количества деталей, уже видна, из-за быстрых производственных возможностей и оптимизации конструкции с точки зрения стоимости и производительности.

«По мере развития технологий несколько авторов начали предполагать, что 3D-печать может способствовать устойчивому развитию в развивающихся странах.

В 2012 году Filabot разработала систему закрытия петли с помощью пластика, которая позволяет любому 3D-принтеру FDM или FFF печатать с более широким спектром пластмасс.» [13]

«В 2014 году Бенджамин С. Кук и Манос М. Тенцерис демонстрируют первую много материальную вертикально интегрированную платформу аддитивного производства печатной электроники (VIPRE), которая позволила 3D-печать функциональной электроники, работающей на частотах до 40 ГГц.» [14]

Цена принтеров в 2014 году была все еще высокой, но любителям это позволило заниматься печатью вне промышленных и производственных методов. Люди получили больше свободы и доступа из-за падения цены на принтеры.

«Термин «3D-печать» первоначально относился к процессу, при котором связующий материал наносится на слой порошка с помощью головок струйных принтеров слой за слоем. Совсем недавно этот термин начал охватывать более широкий спектр методов аддитивного производства, таких как аддитивное производство электронным лучом и селективное лазерное плавление. В американских и мировых технических стандартах

используется официальный термин «аддитивное производство» в этом более широком смысле.» [13]

В 46% процесса 3D-печати используют метод экструзии материала, называемый моделированием наплавленного осаждения или FDM. После двух других самых популярных технологий, стереолитографии (SLA) и селективного лазерного спекания (SLS), была изобретена технология FDM. Популярность процесса обусловлена тем, что является самым дешёвым из трех.

Менее чем за 200 долларов США, в 2020 году можно найти принтеры достойного качества для большинства людей, что позволит им войти в мир 3D-печати. Эти машины для новичков обладают оптимальной ценой и качеством.

### **1.3 Материалы**

3D-печать традиционно ориентируется на полимеры из-за простоты производства и обращения, при печати с полимерными материалами. Этот метод позволяет использовать полимеры с добавлением металла, керамики, древесины делая 3D печать универсальным вариантом для изделий. «Послойное создание трехмерных физических моделей — это современная концепция, которая "проистекает из постоянно растущей индустрии САПР, в частности, из области твердотельного моделирования в САПР. До того, как твердотельное моделирование было введено в конце 1980-х годов, трехмерные модели были созданы с использованием проволочных каркасов и поверхностей ". Но во всех случаях слои материалов контролируются принтером и свойствами материала. Трехмерный слой материала контролируется скоростью осаждения, установленной оператором принтера и сохраненной в компьютерном файле. Первым запатентованным материалом для печати были чернила горячего расплава для печати рисунков с использованием нагретого металлического сплава.» [16]

В 1980-х годах в области быстрого прототипирования использовались смолы, пластиковая нить, пластмассовый порошок и термоплавкие

пластмассовые чернила. Смола подверженная обработкой ультрафиолетовым излучением становится твердой и пригодной для маскированных ламп была также представлена Иссаком Померанцем.

«FDM-принтеры, основной задачей которых является печать термопластиками, которые поставляются в виде тонких нитей, намотанных на катушки. Ассортимент «чистых» пластиков достаточно обширен. Одним из наиболее используемым из материалов является полилактид, или «PLA-пластик». Этот материал производится из биоразлагаемых материалов, кукурузы или сахарного тростника, что обуславливает его не токсичность и экологичность, но делает его относительно недолговечным. АБС-пластик, наоборот, более долговечен и износоустойчив, но восприимчив к прямому солнечному свету и может выделять небольшие объёмы вредоносных испарений при нагревании. Из этого материала промышленным способом производятся многие пластмассовые изделия, которыми мы пользуемся на повседневной основе, в их число входят: корпуса бытовых устройств, сантехника, пластиковые карты, игрушки и т. д.» [11]

Помимо ABS и PLA возможна печать поликарбонатом, нейлоном, полиэтиленом и другими термопластиками, широко распространёнными в современной промышленности. Возможно применение более редких материалов - PVA-пластик или поливиниловый спирт. Этот материал хорошо растворяется в воде, что позволяет печатать модели сложной геометрической формы и делает его весьма полезным.

Такая печать не ограничивается однородными пластиками. Применяются композитных материалов, содержащие вкрапления древесины, камня или металла. Такие материалы те же термопластики, но имитирующие структуру другого непластичного материала. Вкрапления натуральной древесной пыли, позволяет печатать «деревянные» модели.

Материал называющийся BronzeFill имеет в своей структуре настоящую бронзу, это позволяет легко подвергать механической обработки модель, и достаточно точно обрабатывать изделие.

Но не стоит забывать - основной связующий элемент в композитных материалах — это термопластик. Что и определяет термоустойчивость, прочность и другие химические и физические характеристики готовых деталей и моделей.

### 1.3.1 ABS

ABS - недорогой материал, отлично подходящий для печати прочных и долговечных деталей, которые могут выдерживать высокие температуры.

ABS (акрилонитрилбутадиенстирол) имеет долгую историю в мире 3D-печати. Этот материал был одним из первых пластиков, которые использовались в промышленных 3D-принтерах. Спустя много лет ABS по-прежнему остается очень популярным материалом благодаря его низкой стоимости и хорошим механическим свойствам. ABS известен своей прочностью и ударопрочностью, что позволяет печатать прочные детали, которые выдержат долгосрочное использование и износ. ABS также имеет более высокую температуру отвердевания, что означает, что материал может выдерживать гораздо более высокие температуры, прежде чем он начнет деформироваться. Это делает ABS отличным выбором для использования вне помещений или при высоких температурах. Преимущества ABS пластика в дешевизне, хорошей ударопрочностью и износостойкостью, слабо просачивается и растягивается, придает моделям более гладкую поверхность, хорошая термостойкость. Недостатки: сильная деформация, требуется подогреваемый стол или обогреваемая камера, издает резкий запах при печати, детали имеют тенденцию к усадке, что приводит к неточности размеров. Стол

Температура подогреваемого стола- 95-110 ° C, экструдера - 220-250 ° C

### 1.3.2 TPE

Гибкие нити, обычно называемые TPE или TPU, известны своей эластичностью, позволяющей материалу легко растягиваться и сгибаться.

Гибкие нити изготавливаются из термопластичных эластомеров (TPE), которые представляют собой смесь твердого пластика и резины. Как следует

из названия, этот материал является эластичным по своей природе, что придает возможность легко растягивать и сгибать пластик. Существует несколько типов TPE, при этом термопластичный полиуретан (TPU) является наиболее часто используемым для производства нитей для 3D-печати. Очень часто эти термины используются как синонимы популярным торговым маркам. От типа TPE и химического состава степень эластичности пластика зависит может изменяться. Некоторые волокна могут быть как автомобильная шина, частично гибкими, но другие могут быть эластичными и полностью гибкими, как резинка. Преимущества: Гибкий и мягкий, отличное гашение вибрации, длительный срок хранения, хорошая ударопрочность. Недостатки: сложность в печати, плохие соединительные характеристики, возможны «кляксы» и наплавления. Требуется подогреваемый стол с температурой - 45-60 ° C, экструдер - 225-245 ° C

### 1.3.3 PLA

PLA является популярным материалом для большинства пользователей из-за его простоты использования, точности выполнения детали и низкой стоимости. Полимолочная кислота, широко известная как PLA, является одним из самых популярных материалов, используемых в настольной 3D-печати. Это стандартная нить, которую выбирают для большинства 3D-принтеров на основе экструзии, поскольку ее можно печатать при низкой температуре и не требуется подогреваемый слой. PLA - отличный первый материал для использования, потому что его легко печатать, он очень недорогой и позволяет создавать детали, которые можно использовать для самых разных целей. Это также одно из самых экологически чистых волокон на рынке. PLA, получают из таких культур, как кукуруза и сахарный тростник, он является возобновляемым и, что наиболее важно, биоразлагаемым. В качестве бонуса это также позволяет пластику издавать сладкий аромат во время печати. Преимущества: дешевый, жесткий и обладает хорошей прочностью, хорошая точность деталей, хороший срок хранения. Недостатки: низкая термостойкость, может сочиться и могут

потребуется охлаждающие вентиляторы, нить может стать хрупкой и сломаться, не подходит для использования на открытом воздухе (воздействие солнечных лучей). Требуется горячий стол с температурой 45-60 ° C, экструдер - 190-220 ° C.

#### 1.3.4 HIPS

HIPS представляет собой легкий материал, наиболее часто используется в качестве растворимой структуры поддержки для моделей ABS.HIPS, или ударопрочный полистирол, представляет собой растворимый поддерживающий материал, который обычно используется с ABS. При использовании в качестве поддерживающего материала HIPS можно растворить в d-лимонене, оставив на отпечатке нет никаких следов, вызванных удалением подложки. HIPS имеет многие из тех же свойств печати, что и ABS, что делает его логичным партнером по двойной экструзии. HIPS не только отлично подходит для поддержки ваших отпечатков из ABS, но и более стабилен по размерам и немного легче, чем ABS, что делает его отличным выбором для деталей, которые, быстро изнашиваются. Преимущества: дешевый, ударопрочный и водостойкий, легкий, растворяется D-лимоненом. Недостатки: требуется стол с подогревом (100-115° C), рекомендуется камера с подогревом, высокая температура печати (230-245°С.), требуется вентиляция.

#### 1.3.5 PETG

Волокна ПЭТ и ПЭТГ известны своей простотой печати, гладкостью поверхности и водостойкостью. ПЭТГ представляет собой модифицированную гликолем версию полиэтилентерефталата (ПЭТ), которая обычно используется для производства бутылок для воды. Это полужесткий материал с хорошей ударопрочностью, но у него немного более мягкая поверхность, что делает его склонным к износу. Материал также обладает отличными тепловыми характеристиками, что позволяет пластику эффективно охлаждаться с почти незначительным короблением. На рынке существует несколько разновидностей этого материала, включая PETG,

PETE и PETT. Советы в этой статье применимы ко всем этим нитям на основе ПЭТ. Преимущества: глянцевая и гладкая поверхность, хорошо прилегает к столу с незначительным короблением, в основном без запаха при печати. Недостатки: плохие соединительные характеристики, может образовывать тонкие волоски на поверхности из-за нанизывания. Требуется горячий стол с температурой: 75-90 ° C, экструдера - 230-250 ° C

### 1.3.6 Нейлон

Нейлон — это прочный и полуэластичный материал, обладающий высокой устойчивостью к ударам и истиранию. Это идеальный выбор для печати прочных деталей. Нейлон (он же полиамид) - популярный материал в индустрии пластмасс, известный своей прочностью и гибкостью. Нейлоновые нити обычно требуют температуры экструдера около 250 °C, однако некоторые бренды позволяют печатать при температуре до 220 °C из-за их химического состава. Многие принтеры не включают в себя экструдер, который может безопасно нагреваться до 250 °C, поэтому эти низкотемпературные версии могут быть полезны и потенциально избавят вас от необходимости обновлять ваш экструдер. Одна из больших проблем с нейлоновыми нитями заключается в том, что они гигроскопичны, что означает, что они легко впитывают влагу из окружающей среды. Печать на нейлоне после того, как он впитал влагу, приведет к нескольким проблемам с качеством печати, поэтому хранение нити становится очень важным и требует особого внимания. Преимущества: жесткий и частично гибкий, высокая ударопрочность, отсутствие неприятного запаха при печати, хорошая стойкость к истиранию. Недостатки: склонен к деформации, герметичное хранение, необходимое для предотвращения водопоглощения, неправильно высушенные волокна могут вызвать дефекты печати, не подходит для влажных сред. Требуется стол с температурой: 70-90°C, экструдера 225-265°C

### 1.3.7 Углеродное волокно

Нити из углеродного волокна содержат короткие волокна, которые впитаны в базовый материал PLA или ABS, чтобы повысить прочность и жесткость. Нити из углеродного волокна используют крошечные волокна, которые вливаются в основной материал для улучшения свойств этого материала. Можно купить несколько популярных нитей с наполнителем из углеродного волокна, включая PLA, PETG, нейлон, ABS и поликарбонат. Эти волокна чрезвычайно прочные, что увеличивает прочность и жесткость нити. Это также означает, что детали, напечатанные на 3D-принтере, будут намного легче и стабильнее по размерам, поскольку волокна помогут предотвратить усадку детали при охлаждении. Настройки печати, такие как температура печати, скорость, адгезия к слою и скорость экструзии, будут очень похожи на обычные настройки, используемые для основного материала, в который были добавлены волокна. Однако из-за добавленных волокон эти специальные материалы с большей вероятностью засорят экструдер и могут потребовать специального оборудования, чтобы избежать повреждения принтера. Преимущества: повышенная прочность и жесткость, очень хорошо сохраняет размеры, легкий. Недостатки: абразивный и требует сопла из закаленной стали, повышенное просачивание при печати, повышенная хрупкость нити, более высокая склонность к засорению. Требуется стол с температурой: 45-60°C, экструдера температура: 200-230° C

### 1.3.8 ASA

ASA является распространенной альтернативой ABS и отлично подходит для наружного применения из-за его высокой устойчивости к ультрафиолетовому излучению, температуре и ударам. ASA, также известный как акриловый стиролакритонитрил, представляет собой пластик, пригодный для 3D-печати, со свойствами, аналогичными ABS. Первоначально он был разработан как альтернатива ABS, который был бы более устойчивым к ультрафиолетовому излучению за счет изменения типа резины, используемой в рецептуре. ASA известен своей высокой ударопрочностью, более высокой

термостойкостью и повышенной сложностью печати. Он обычно используется на открытом воздухе вместо ABS из-за его превосходной устойчивости к ультрафиолетовому излучению и суровым погодным условиям. Из-за своего наследия ASA по-прежнему сохраняет многие из тех же недостатков печатных материалов, которые наблюдаются у ABS. Деформация по-прежнему является постоянной проблемой, которую необходимо учитывать, а также потенциально опасными испарениями, которые выделяет пластик во время печати из-за присутствия стирола. Преимущества: высокая стойкость к ультрафиолетовому излучению, высокая ударопрочность и износостойкость, высокая термостойкость. Недостатки: дорогой, требуется более высокая температура экструдера 220-245°C, требуется вентиляция из-за потенциально опасных паров. Температура горячего стола 90-110 ° C.

### 1.3.9 Поликарбонат

Поликарбонат известен своей прочностью и долговечностью. Он обладает очень высокой термостойкостью и ударопрочностью, что делает его идеальным выбором для тяжелых условий эксплуатации. Поликарбонат (ПК) — это высокопрочный материал, предназначенный для тяжелых условий эксплуатации и инженерных приложений. Он имеет чрезвычайно высокую температуру плавления и ударопрочность. Поликарбонат также имеет высокую температуру стеклования - 150 ° по Цельсию. Это означает, что он будет сохранять свою структурную целостность до этой температуры, что делает его пригодным для использования в высокотемпературных приложениях. Его также можно согнуть без разрушения, и он часто используется в приложениях, где требуется небольшая гибкость. Большинство доступных поликарбонатных нитей содержат добавки, которые позволяют печатать нити при более низких температурах. Поликарбонат чрезвычайно гигроскопичен, что означает, что он впитывает влагу из воздуха, что влияет на его характеристики печати и прочность. После вскрытия упаковки следует хранить в герметичных, сухих контейнерах. Он

также требует очень высоких температур для печати и будет демонстрировать разделение слоев при печати при слишком низкой температуре или при включенном чрезмерном охлаждении. Поликарбонат часто лучше всего печатать на машине, которая имеет закрытый рабочий объем и способна выдерживать высокие температуры слоя и экструдера. Преимущества: ударопрочный, высокая термостойкость, естественно прозрачный, упругий. Недостатки: требуется очень высокая температура печати, склонен к короблению, высокая склонность к просачиванию во время печати, поглощает влагу из воздуха, которая может вызвать дефекты печати. Температура экструдера при печати 260-310 ° C, стола 80-120 ° C

#### 1.3.10 Полипропилен

Полипропилен отлично подходит для многоцикловых применений с низкой прочностью из-за его усталостной прочности, полуэластичности и легкости. Полипропилен — это полужесткий и легкий материал, который обычно используется при хранении и упаковке. Полукристаллическая структура материала приводит к тому, что 3D-печатные детали сильно деформируются при охлаждении, что затрудняет 3D-печать. Полипропилен прочен и обладает хорошей устойчивостью к усталости, что делает его идеальным для применений с низкой прочностью, таких как живые петли, ремни, поводки и т.д. Некоторые производители даже создали смеси полипропилена, которые обладают повышенной прочностью, что делает его пригодным для практического использования. Преимущества: хорошая стойкость к ударам и усталости, хорошая термостойкость, гладкая поверхность. Недостатки: сильная деформация, низкая выносливость, трудно прилипает к поверхностям, клею, дорогой. Необходимая температура стола при печати: 85-100°C, экструдера - 220-250°C

#### 1.3.11 Волокно с металлом

Нити с металлическим наполнением изготавливаются путем смешивания мелкого металлического порошка с основным материалом, что обеспечивает уникальную металлическую отделку и дополнительный вес.

Нити с металлическим наполнением содержат очень мелкий металлический порошок, такой как медь, бронза, латунь и нержавеющая сталь. Процент металлического порошка, вводимого в каждую нить, может варьироваться в зависимости от производителя. Наличие этого металлического порошка делает нить намного тяжелее, чем стандартный пластик. Это означает, что детали, напечатанные из PLA с металлическим наполнителем, будут весить значительно больше, чем детали из стандартного PLA, несмотря на использование тех же настроек и потребление того же количества материала. Нити с металлическим наполнением также имеют тенденцию быть очень абразивными, поскольку они выдавливаются через хотенд. Стандартная латунная насадка будет слишком мягкой и быстро изнашивается. Для эффективной печати нужно использовать износостойкое сопло. На рынке есть и другие металлоподобные нити, которые могут просто иметь металлическую окраску, добавленную к нити. Эти нити не содержат реального металлического порошка, поэтому они не обладают многими из тех же преимуществ, что и настоящие металлические нити. Преимущества: эстетический металлический блеск, не требует высокотемпературного экструдера, тяжелее стандартных нитей. Недостатки: требуется износостойкая насадка, напечатанные детали очень хрупкие, очень плохие связи и свесы, со временем может вызвать частичное засорение, дорогой. Требуется стол с подогревом температура: 45-60°C, температура экструдера - 190-220°C

### 1.3.12 Волокно с древесиной

Древесные волокна сочетают в себе базовый материал PLA со стружкой, древесной пылью или другими производными, что придает моделям внешний вид и ощущение настоящего дерева. Нити на основе древесины обычно представляют собой композит, который объединяет основной материал PLA с древесной пылью, пробкой и другими порошкообразными производными древесины. Обычно волокно состоит примерно на 30% из древесных частиц, но точное количество может

варьироваться в зависимости от марки. Наличие этих частиц придает деталям, напечатанным на 3D-принтере, эстетику натурального дерева. Эта нить также менее абразивна по сравнению с другими композитными нитями, такими как углеродное волокно и металлическое волокно, поскольку частицы древесины намного мягче. На рынке есть некоторые древесные волокна, которые содержат только древесную окраску, но не содержат реальных древесных частиц, поэтому они обычно имеют совсем другой вид и ощущения. Преимущества: эстетическая привлекательность отделки под дерево, не требует дорогих износостойких форсунок, ароматный и приятный запах. Недостатки: склонен к стягиванию, форсунки меньшего размера могут со временем частично засориться, может потребоваться сопло большего размера. Требуется стол с температурой: 45-60 ° C, экструдер с температурой: 190-220 ° C

### 1.3.13PVA

PVA (по международной классификации) широко известен своей способностью растворяться в воде и часто используется в качестве материала подложки для сложных отпечатков. ПВС или поливиниловый спирт — это мягкий и биоразлагаемый полимер, который очень чувствителен к влаге. При контакте с водой, ПВС будет растворяться, что делает его очень полезным в качестве опорной конструкции материалом для 3D печати. При печати очень сложных форм или форм с частично закрытыми полостями можно использовать подложки из ПВС, которые легко удаляются путем растворения в теплой воде. Стандартные опоры, возможно, было трудно распечатать или удалить в таких ситуациях. ПВА также можно использовать в качестве модельного материала, если есть необходимость изготовления быстрых прототипов. Преимущества: отлично растворимый в воде поддерживающий материал, никаких специальных растворителей не требуется, никакого дополнительного оборудования не требуется. Недостатки: чувствительный к влаге, требуются герметичные контейнеры для хранения, повышенная вероятность засорения, если форсунка остается горячей, когда не происходит

выдавливание, дорогой. Температура стола должна быть 45-60°C, а экструдера 190-205°C

Вывод: для разработки стенда был выбран материал PLA из-за его дешевизны, распространенности, безопасности и экологичности.

## **2 Двигатель внутреннего сгорания**

### **2.1 Термин. История**

«Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) представляет собой тепловой двигатель, в котором сгорание из топлива происходит с окислителем (обычно воздух) в камере сгорания, который является неотъемлемой частью рабочей жидкости контура потока. В двигателе внутреннего сгорания расширение газов с высокой температурой и давлением, образующихся при сгорании, оказывает прямое воздействие на некоторые компоненты двигателя. Сила обычно применяется к поршням, лопаткам турбины, ротору или соплу. Эта сила перемещает компонент на расстояние, превращая химическую энергию в полезную работу. Он заменил двигатель внешнего сгорания для приложений, где важны вес или размер двигателя.

Первый коммерчески успешный двигатель внутреннего сгорания был создан Этьеном Ленуаром около 1860 года, а первый современный двигатель внутреннего сгорания был создан в 1876 году Николаусом Отто» [21].

«Используя термин *двигатель внутреннего сгорания* обычно подразумевают двигатель, в котором сгорание является прерывистым процессом, в их число входят: четырехтактный и двухтактный поршневой двигатель, а также их вариантам, таким как шеститактный поршневой двигатель и роторный двигатель Ванкеля. Второй класс двигателей внутреннего сгорания сконструирован с расчетом на непрерывное сгорание: газовые турбины, реактивные двигатели и большинство ракетных двигателей, каждый из которых является двигателями внутреннего сгорания по тому же принципу, что и ранее. Также к двигателям внутреннего сгорания

относятся и огнестрельное оружие, но из-за их специализации их рассматривают как отдельную категорию.» [22]

«В двигателях внешнего сгорания, таких как паровые двигатели или двигатели Стирлинга, в отличие от двигателей внутреннего сгорания, энергия передается рабочей жидкости, не состоящей из продуктов сгорания, смешанной с ними или загрязненной ими. Рабочие вещества, используемые в двигателях внешнего сгорания, включают воздух, горячую воду, воду под давлением или даже жидкий натрий, нагретый в котле.

ДВС обычно работают на высококалорийном вещества, таких как бензин или дизельное топливо, жидкостях, получаемых из ископаемых месторождений. Хотя существует множество стационарных приложений, большинство ДВС используются в мобильных приложениях и являются основным источником питания для большинства транспортных средств, таких как автомобили, самолеты и лодки.» [23]

«ДВС используют в качестве топлива на ископаемом, таком как природный газ или нефтепродукты. Возобновляемые виды топлива, такие как биодизель, используются в двигателях с воспламенением от сжатия (CI), а биоэтанол или ЕТВЕ (этил-трет-бутиловый эфир) производятся из биоэтанола в двигателях с искровым зажиганием (SI). Возобновляемые виды топлива обычно смешивают с ископаемыми видами топлива. Редко используемый водород можно получить либо из ископаемого топлива, либо из возобновляемых источников энергии.» [24]

## **2.2 Поршневые двигатели**

Блок цилиндров является основой поршневого двигателя внутреннего сгорания, который в основном изготавливается из чугуна (высокая износостойкости, низкая стоимость) или алюминия. В последнем случае гильзы цилиндров выполняют из стали или чугуна. «Блок двигателя содержит цилиндры. В двигателях с более чем одним цилиндром они обычно располагаются либо в один ряд (прямой двигатель), либо в два ряда

(оппозитный двигатель или V-образный двигатель); В современных двигателях иногда используются 3 ряда (двигатель W), также возможны использование других конфигураций двигателей.» [22] Одноцилиндровые двигатели распространены на мотоциклах и небольших двигателях машин. На внешней стороне цилиндра каналы, содержащие охлаждающую жидкость, залиты в блок цилиндров, тогда как в некоторых двигателях большой мощности каналы представляют собой типы съемных гильз цилиндра, которые можно заменять. «Двигатели с водяным охлаждением содержат каналы в блоке цилиндров, по которым циркулирует охлаждающая жидкость (водяная рубашка). Некоторые небольшие двигатели имеют воздушное охлаждение, и вместо водяной рубашки в блоке цилиндров выступают ребра, которые охлаждают за счет передачи тепла воздуха. Стенки цилиндров обычно обрабатываются хонингованием для получения поперечной штриховки., которая эффективнее удерживает масло. Слишком шероховатая поверхность может быстро повредить двигатель из-за чрезмерного износа поршня.» [22]

Поршни уплотняют один конец цилиндра из -за высокого давления сжатого воздуха и продуктов сгорания и непрерывного скольжения в нем. В малогабаритных двигателях поршни выполняют из алюминия, а в двигателях крупногабаритных - из чугуна. Головкой именуют верхнюю часть поршня, она бывает вогнутой или плоской. В некоторых типах двухтактных двигателей используются поршни с дефлекторной головкой. «Поршни открыты снизу и полые, за исключением цельной конструкции усиления (перемычки поршня). Когда двигатель работает, давление газа в камере сгорания оказывает давление на головку поршня, которое передается через его перемычку на поршневой палец. Каждый поршень имеет кольца, установленные по окружности, функция которых заключается в предотвращении утечки газов в картер или масла в камеру сгорания. Система вентиляции вытесняет небольшой избыток газов, выходящего мимо поршней во время нормальной работы (картерные газы), из картера, чтобы он избежал

накапливания, загрязняя масло и вызывая коррозию. В двухтактных бензиновых двигателях картер является частью воздушно-топливного тракта, и из-за непрерывного потока в нем не требуется отдельная система вентиляции картера.» [9]



Рисунок 1 - Клапанный механизм

Клапанный механизм (рисунок 1) расположен над головкой блока цилиндров дизельного двигателя. В этом двигателе используются коромысла, но нет толкателей.

К блоку двигателя крепится головка цилиндра большим количеством заклепок или болтов. Он выполняет несколько функций. Герметизирует цилиндры со стороны, противоположной поршням; содержит короткие воздухопроводы (порты) для впуска и выпуска, впускные клапаны, которые при открытии заполняют цилиндры свежим воздухом, и выпускные клапаны, которые при открытии выводят продукты сгорания. «Но в двухтактных двигателях с продувкой картера газовые порты подсоединяются непосредственно к стенке цилиндра без использования тарельчатых клапанов; вместо этого поршень контролирует их открытие и закрытие. Головка блока цилиндров также удерживает свечу зажигания в двигателях с искровым зажиганием и инжектор. Для двигателей с прямым впрыском. Все двигатели СИ используют впрыск топлива, обычно прямой впрыск, но в некоторых двигателях вместо этого используется непрямой впрыск. Двигатели SI могут использовать карбюратор или впрыск топлива в порт или

прямого впрыска. Большинство двигателей SI имеют одну свечу зажигания на цилиндр, но существуют двигатели с двумя свечами. Прокладка головки предотвращает утечку газа между головкой блока цилиндров и блоком цилиндров. Открытие и закрытие клапанов контролируется одним или несколькими распределительными валами и пружинами, а в некоторых двигателях - десмодромным механизмом, не использующим пружины. Распределительный вал может оказывать давление непосредственно на шток клапана или воздействовать на коромысло. Опять же, либо напрямую, либо через толкатель.» [25]



Рисунок 2 - Блок цилиндров

Блок двигателя, вид снизу (рисунок 2). Отлично видны цилиндры, половина коренных подшипников и масляная форсунка.

Картер прикрыт снизу поддоном, в котором собирает излишки масла для повторного включения во время работы в нормальном режиме. коленчатый вал находится, в полости, образованной между блоком цилиндров и поддоном, который преобразует возвратно-поступательное движение поршней во вращательное движение. Коленчатый вал удерживается на месте коренными подшипниками, которые дают возможность ему вращаться. Половину каждого коренного подшипника составляют переборки в картере двигателя; другая половина - съемный колпачок. Иногда используется одна *основная опора*, а не несколько крышек. Соединительный стержень соединен с смещенных участков коленчатого вала (в шатунных шеек) на одном конце и поршню на другом конце через

поршневой палец и, таким образом, передает силу и переводит возвратно-поступательное движение поршней в круговое движение коленчатого вала. Конец шатуна, прикрепленный к поршневому пальцу, имеет название малый конец, а противоположный конец, на котором он соединяется с коленчатым валом, большим концом. Шатун имеет съемную половину, позволяющую собирать его вокруг коленчатого вала. Он удерживается вместе с шатуном съемными болтами.

К соответствующим портам головки блока цилиндров прикреплены впускной коллектор и выпускной коллектор. Впускной коллектор подключается непосредственно к воздушному фильтру или к карбюратору, если таковой имеется, который затем подключается к воздушному фильтру. Коллектор распределяет воздух, поступающий от этих устройств, по отдельным цилиндрам. Коллектор является первым компонентом выхлопной системы, который собирает выхлопные газы из цилиндров и направляет их к следующему компоненту на пути. Обычно система выпуска из ДВС включает в себя каталитический нейтрализатор и глушитель. Выхлопная труба – это заключительный участок на пути выхлопных газов

### 2.3 4-тактные двигатели

«*Верхняя мертвая точка* (ВМТ) — это такая точка при котором поршень находится ближе всего к клапанам; *нижняя мертвая точка* (НМТ) — это противоположное положение поршня, при котором он наиболее удален от них. *Такт*- термин, характеризующий движение поршня от ВМТ к НМТ, или наоборот, вместе с соответствующим протеканием процессом. Во время работы двигателя коленчатый вал безостановочно вращается с почти постоянной скоростью. В 4-тактном ДВС каждый поршень совершает 2 хода за один оборот коленчатого вала в следующем порядке.» [27] Описание тактов начинается в ВМТ:

- 1) *Впускной, индукционный или всасывания*: Кулачек давит на шток клапана, в результате впускные клапана открыты. Поршень увеличивает объем камеры сгорания, за счет чего засасывается свежий

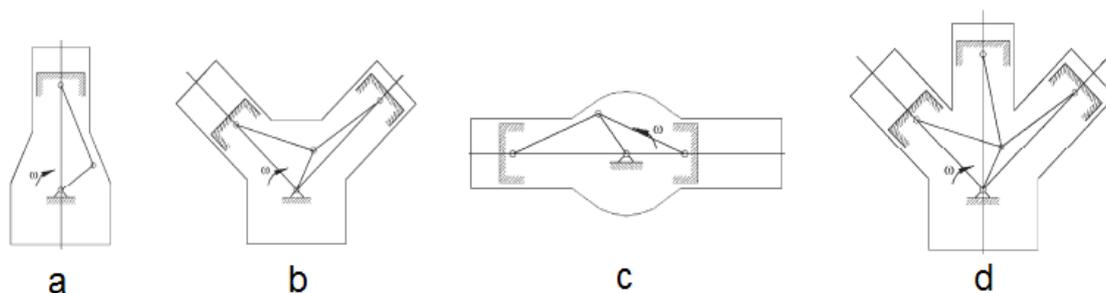
заряд. Смесь может нагнетаться в цилиндр под давлением при наличии нагнетателя

- 2) *Сжатие*: оба клапана закрыты, поршень движется вверх, в ВМТ, уменьшая объем камеры сгорания, достигая своего минимума. Заряд под воздействием поршня, сжимается увеличивая свою температуру, давление и плотность. Зажигание происходит непосредственно перед ВМТ поршня. В дизеле зажигание происходит импульсом высокого напряжения.
- 3) *Мощность* или *рабочий ход*: при сгорании топлива образуется газ, давление которого толкает поршень вниз, создавая работу больше, чем необходимо для сжатия другого заряда. В результате расширения температура, плотность, давление газа падает. При приближении поршня к НМТ, впускной клапан открывается. Происходит продувка, газа из-за разницы давлений высасываются из рабочего тела.
- 4) *Выхлоп*: выпускной клапан открыт, поршень движется поступательно вверх, вытесняя газы оставшиеся после сгорания топлива. Часть газов может остаться, но эти газы растворяются при следующей загрузке заряда. Последовательность операций следующего цикла повторяется после окончания этого такта

## 2.4 Конфигурация цилиндра

«Общие конфигурации цилиндров включают прямую или рядную конфигурацию, более компактную V-образную конфигурацию и более широкую, но более гладкую плоскую или боксерскую конфигурацию. Авиационные двигатели также могут конструироваться с применением радиальной конфигурации, которая обеспечивает более эффективное охлаждение. Также используются и более редкие конфигурации как H, U, X и W.» [24]

Некоторые популярные конфигурации цилиндров (Рисунок 3):



a – рядный; b – V-образный; c – оппозитный; d – W-образный

Рисунок 3 - Конфигурации цилиндров

Поршни в многоцилиндровых двигателях расположены в разных частях своего цикла, благодаря конфигурации коленчатого вала и клапанного механизма. Если циклы поршней равномерно распределены то, есть осуществлено равномерное срабатывание, то эту уменьшает пульсацию крутящего момента, таким образом рядные двигатели более чем с 3-мя цилиндрами становятся статически сбалансированные по основным силам, это особенно важно в двигателях с принудительной индукцией. Однако, некоторые конфигурации двигателя требуют нечетного срабатывания для достижения лучшего баланса, по сравнению с равным срабатыванием.

Головка блока цилиндров необязательно нужна в конфигурации с несколькими коленчатыми валами, вместо этого поршень может находится на противоположных концах цилиндра такая конструкция называется оппозитной. В этой конструкции топливные отверстия впуска и выпуска расположены каждом из двух концах цилиндра, таким образом можно добиться беспоточной продувки, которая, эффективной в широком диапазоне частот вращения коленвала. Из-за отсутствия головок цилиндров тепловой КПД возрос.

Вывод: для разработки модели была выбрана рядная 4-х цилиндровая конфигурация ввиду простоты сборки, и распространенности такой конструкции.

## 3 Разработка 3D модели

### 3.1 3D моделирование ДВС.

Для создания 3D-модели деталей, в данной работе используется САПР КОМПАС3D. Эта программа удобна для твердотельного моделирования и экспорта моделей в STL формат. Построение модели начинается с выбора плоскости и создания начального эскиза шатуна (Рисунок 4).

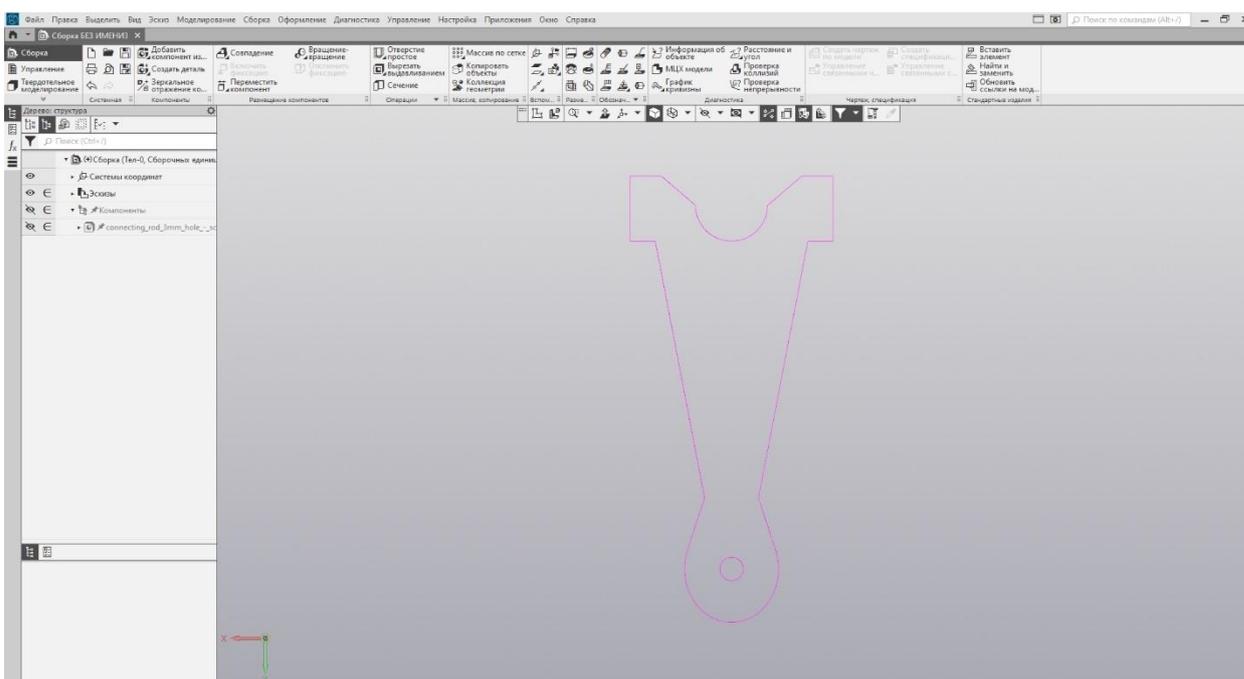


Рисунок 4 - Эскиз

Далее, с помощью команды «Элемент выдавливания» придаем нужную толщину детали (Рисунок 5 и 6)

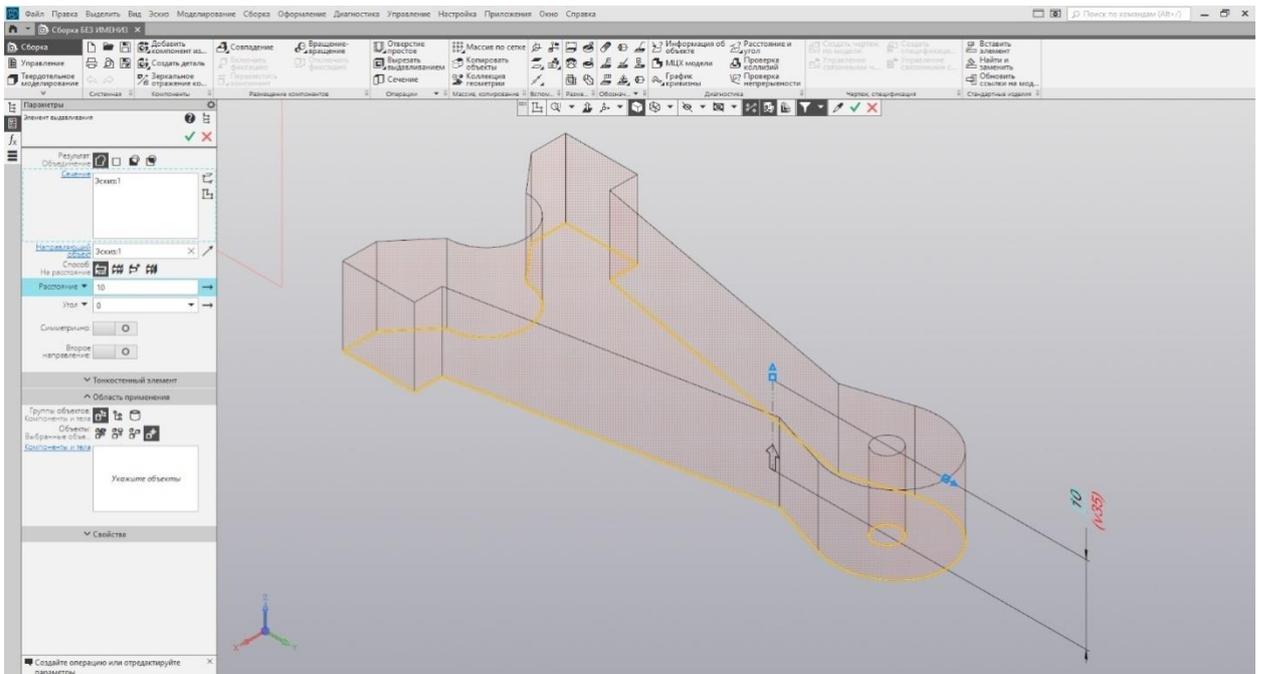


Рисунок 5 - Команда «Элемент выдавливания»

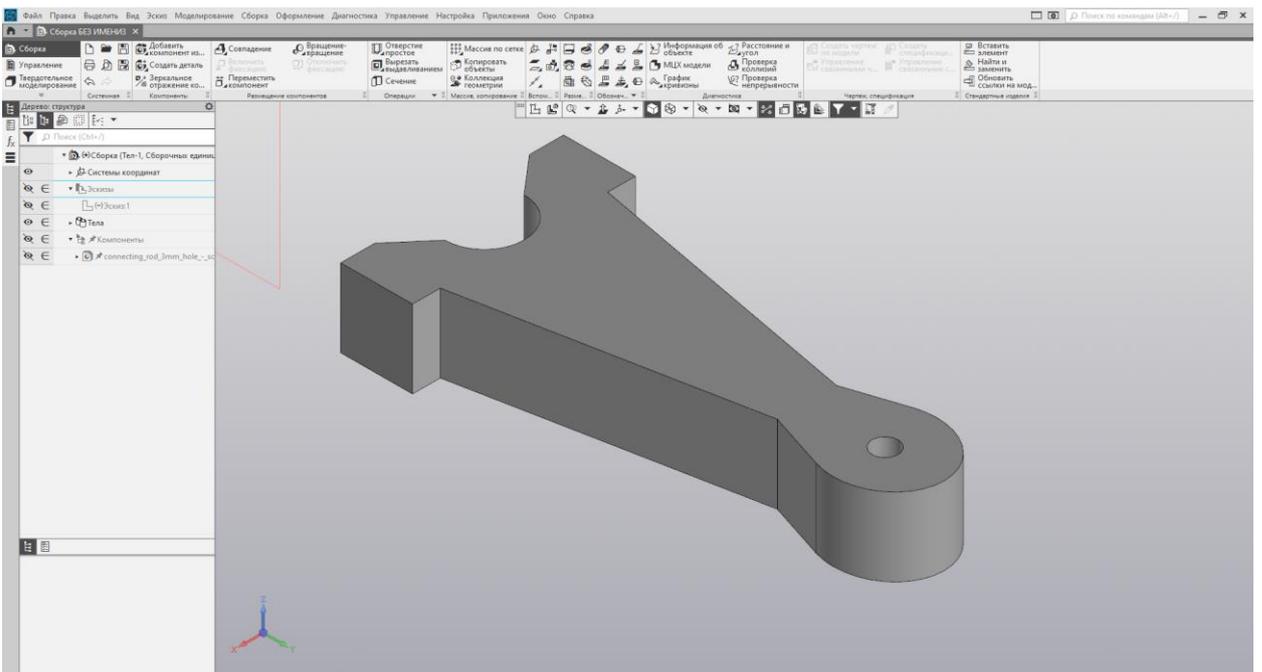


Рисунок 6 - Завершенная команда «Элемент выдавливания»

Выбрав поверхность на детали, и построив необходимый эскиз, с помощью команды «вырезать выдавливанием» отсекаем ненужные элементы (Рисунок 7 и 8).

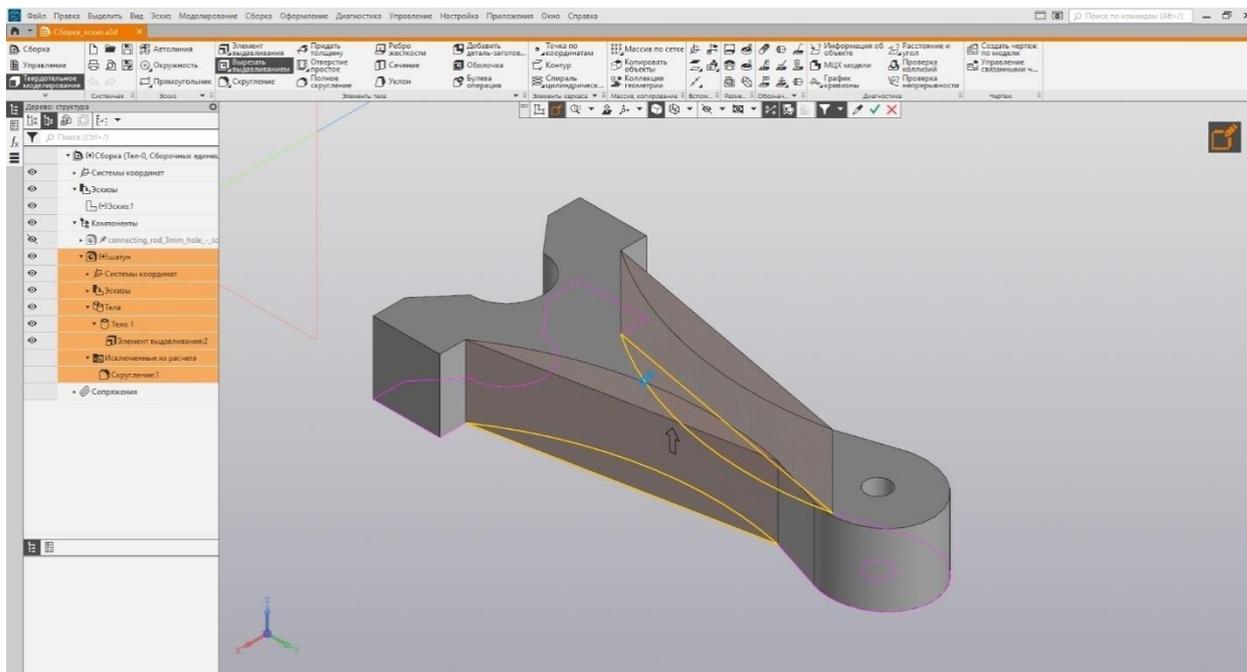


Рисунок 7 - Команда «Вырезать выдавливанием»

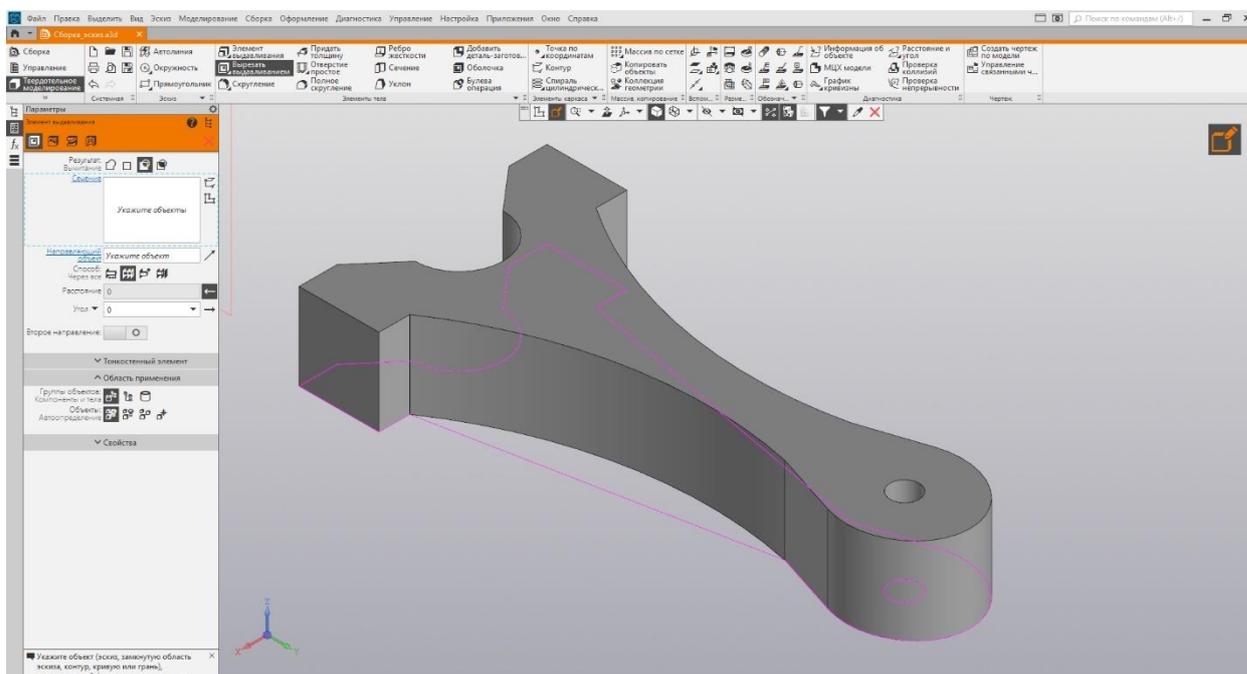


Рисунок 8 - Завершенная команда «Вырезать выдавливанием»

На углах модели допустимо использовать команду «Фаска» (Рисунок 9) и «Скругление» (Рисунок 10), это помогает избежать дополнительных трат на материалы.

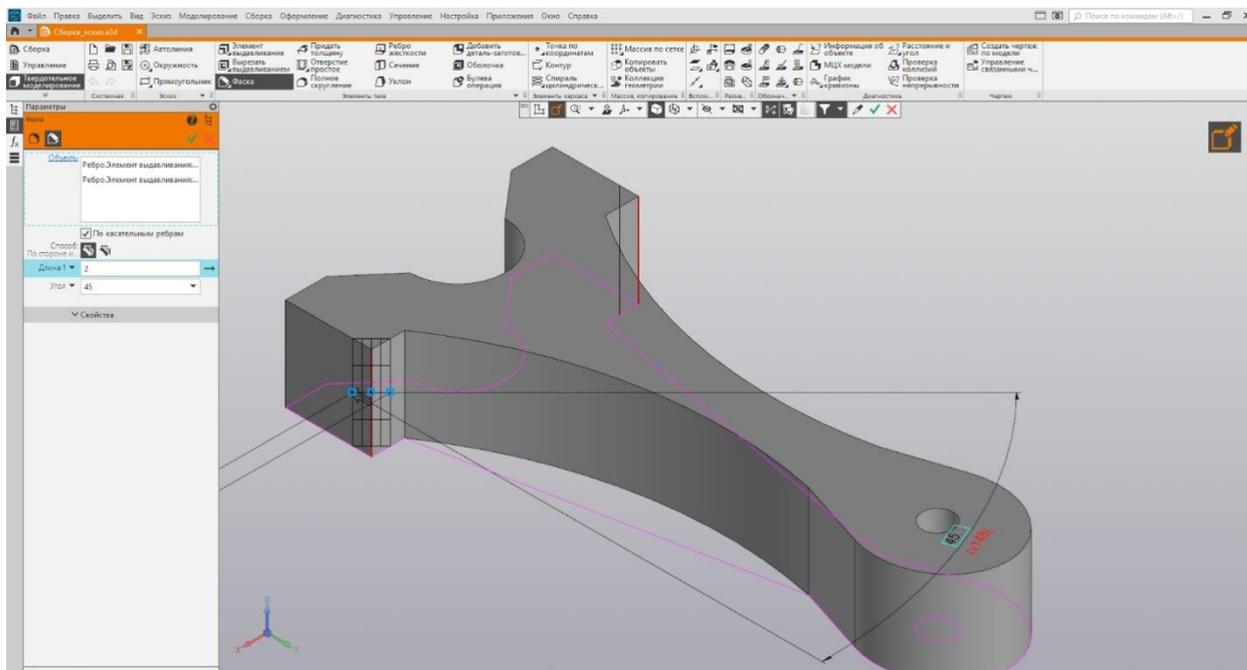


Рисунок 9 - Команда «Фаска»

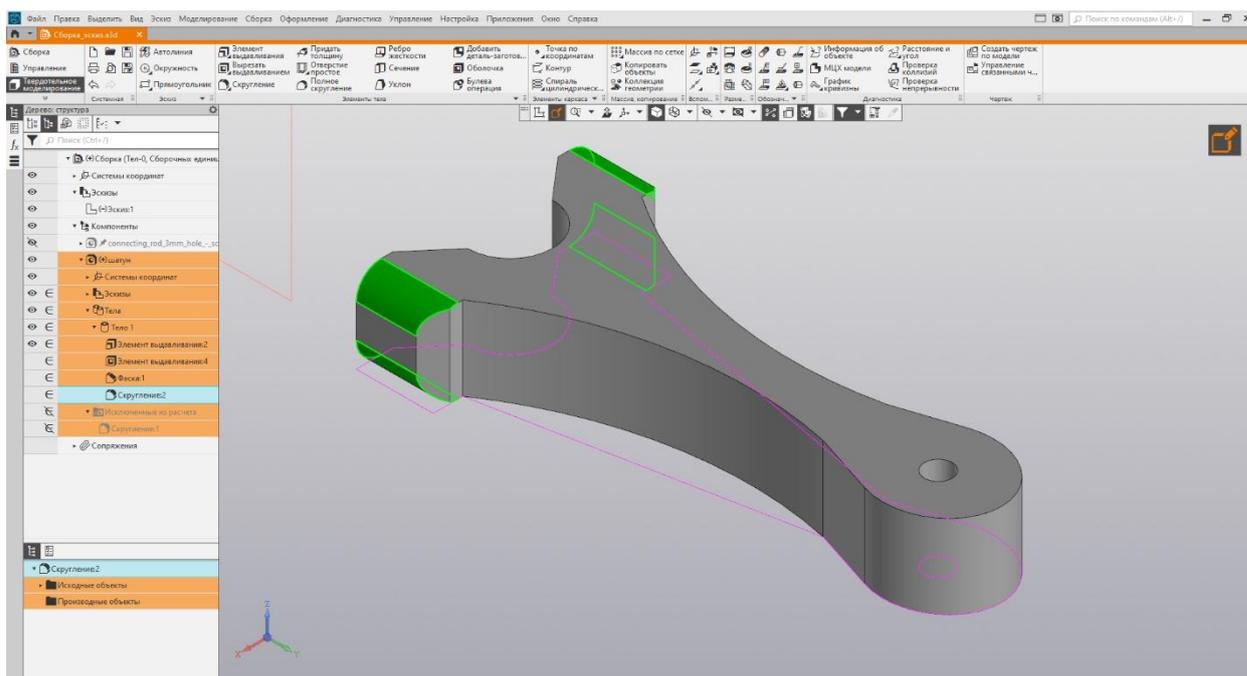


Рисунок 10 - Команда «Скругление»

Для создания отверстий в данной детали был выбран способ создания эскиза (Рисунок 11) и последующей операцией «вырезать выдавливанием» (Рисунок 12 и 13)

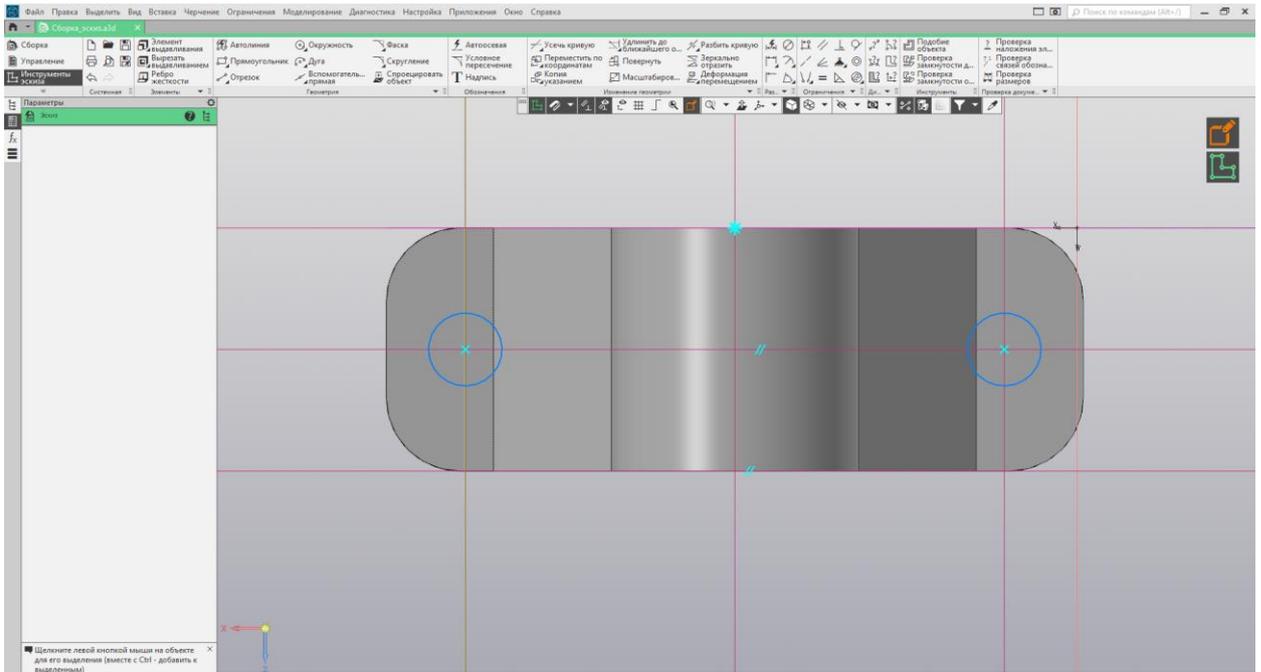


Рисунок 11 - Эскиз отверстий

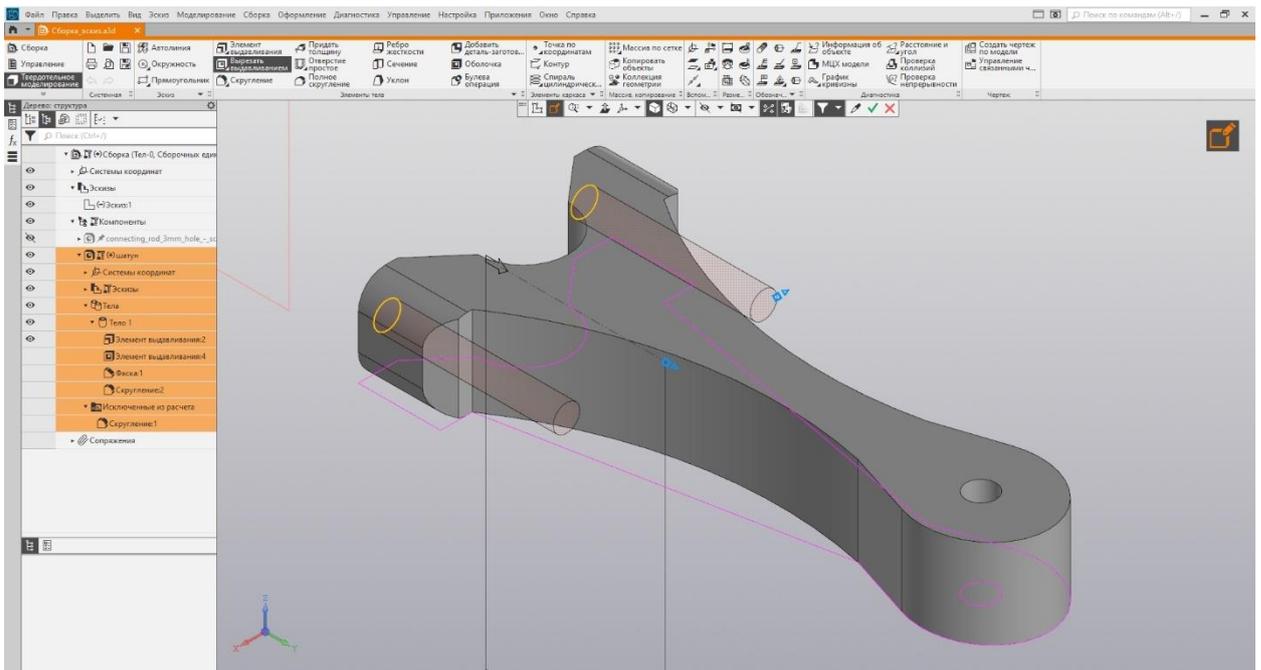


Рисунок 12 - Вырезание отверстий

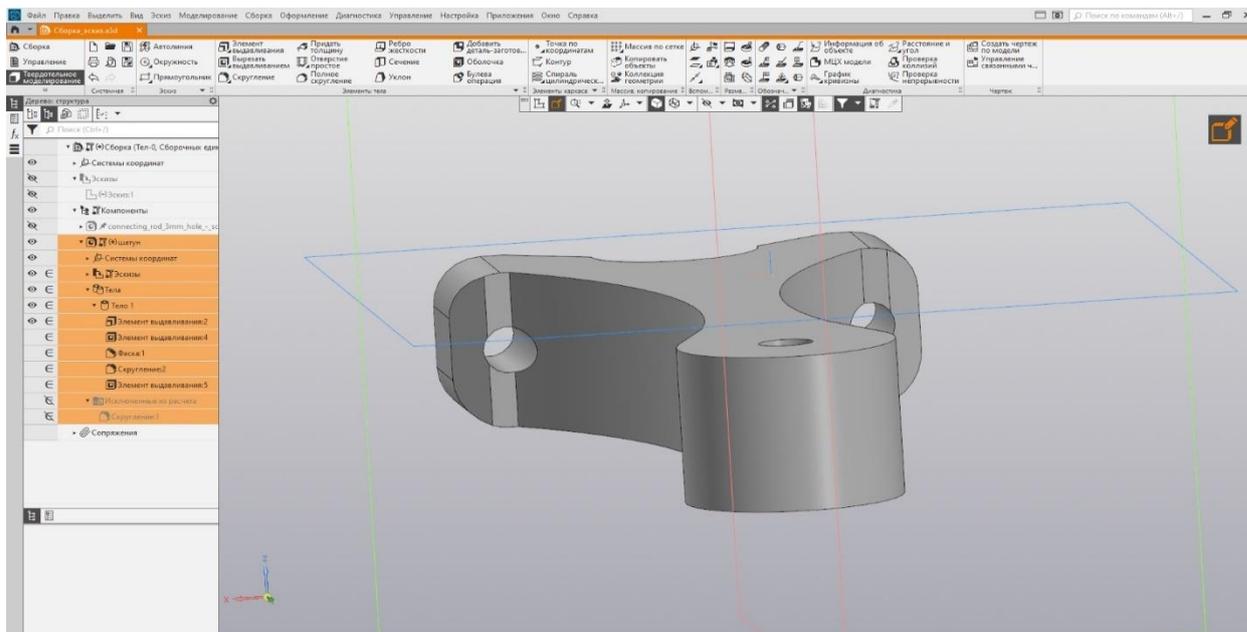


Рисунок 13 - Вид детали с вырезанными отверстиями

Для повышения жесткости шатуна и экономии пластика. Было принято решение сделать ребра жёсткости. Сделав сложный эскиз (Рисунок 14)

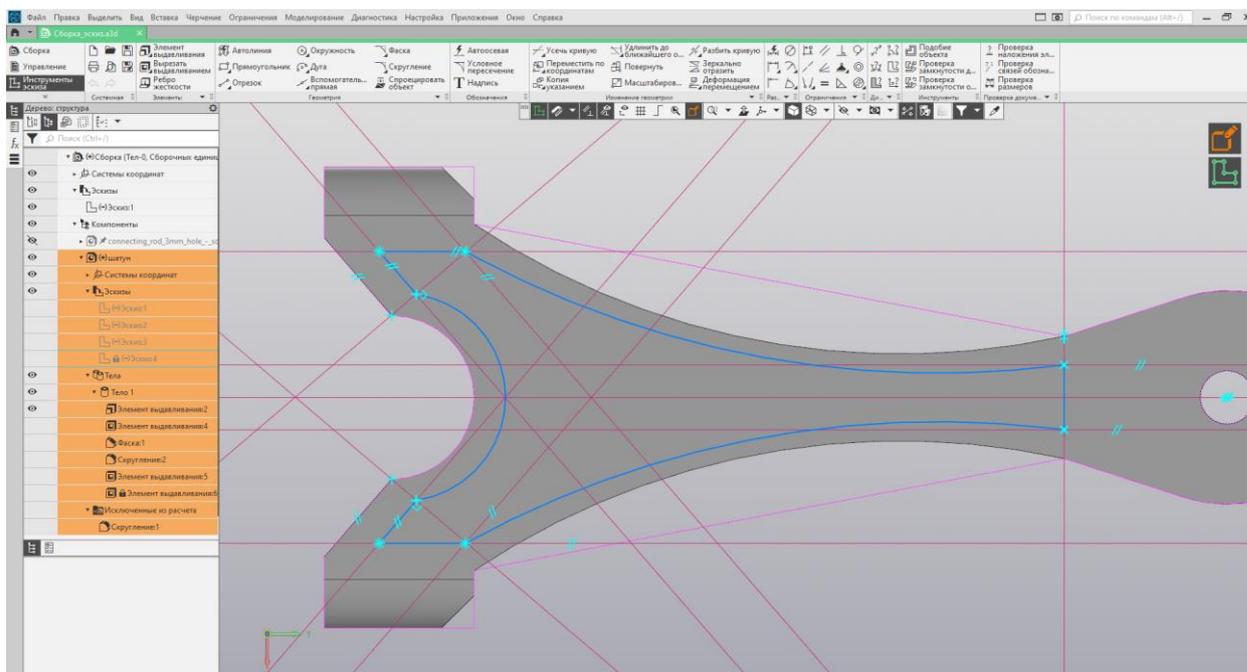


Рисунок 14 - Создание эскиза для ребер жесткости

с помощью операции «вырезать выдавливанием» нужно изменить угол наклона действия (Рисунок 15), для более плавного перехода между поверхностями.

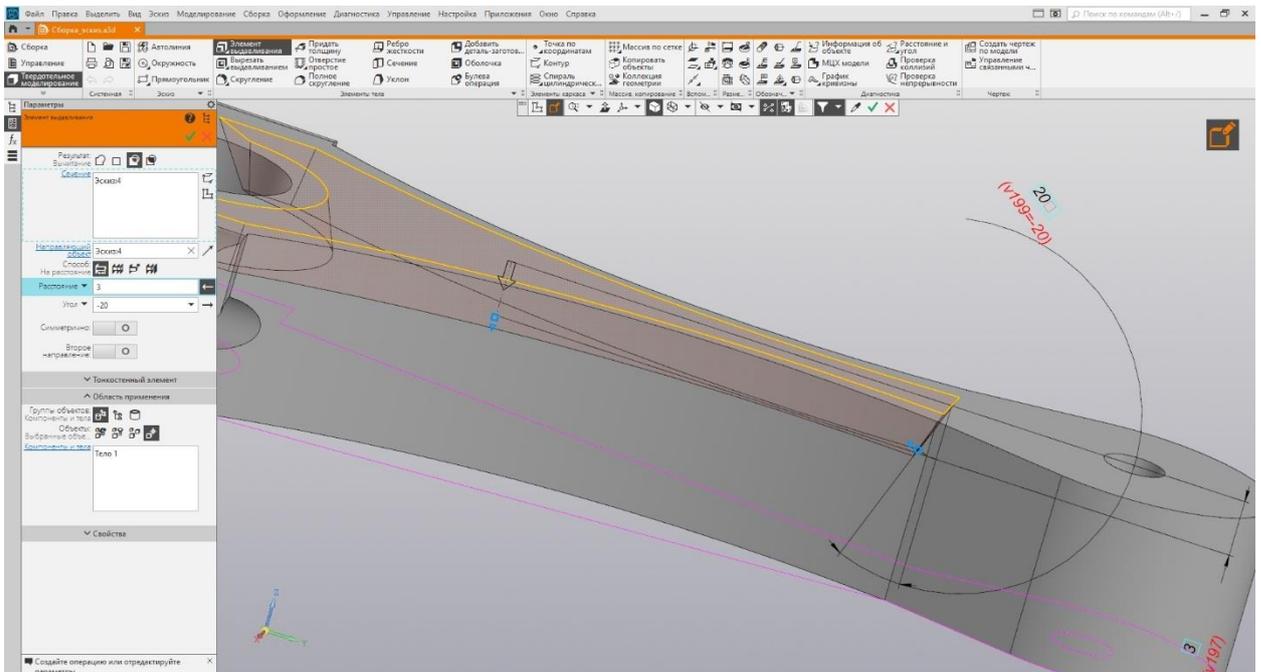


Рисунок 15 - Выбор угла наклона действия

Используя функцию «вспомогательная геометрия» и создав среднюю плоскость между противоположными поверхностями (Рисунок 16), необходимо использовать команду «зеркальный массив» для дублирования необходимого тела (Рисунок 17).

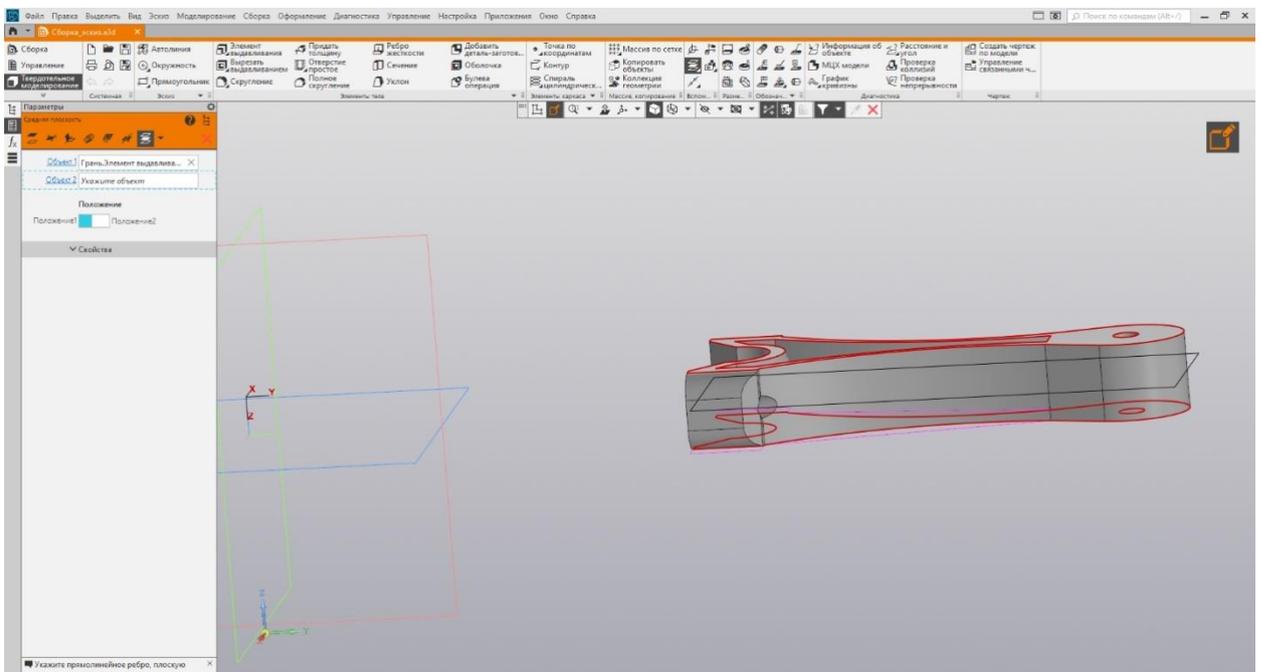


Рисунок 16 - Построение средней плоскости командой «Вспомогательная геометрия»

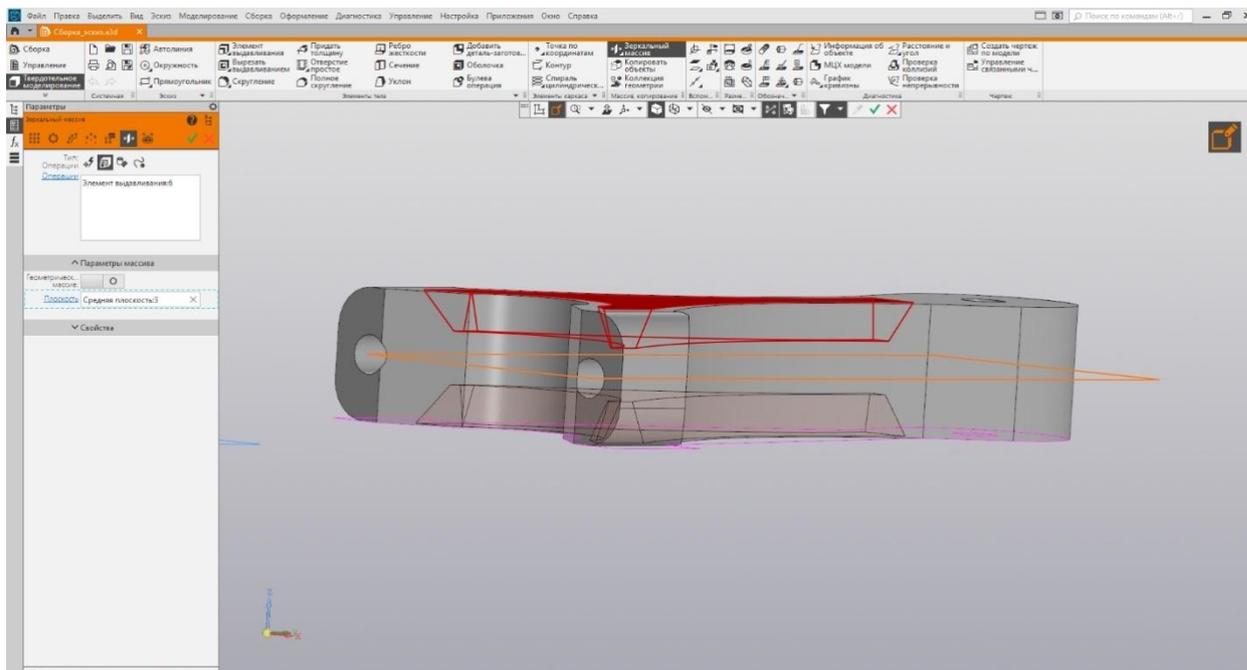


Рисунок 17 - Команда «Зеркальный массив»

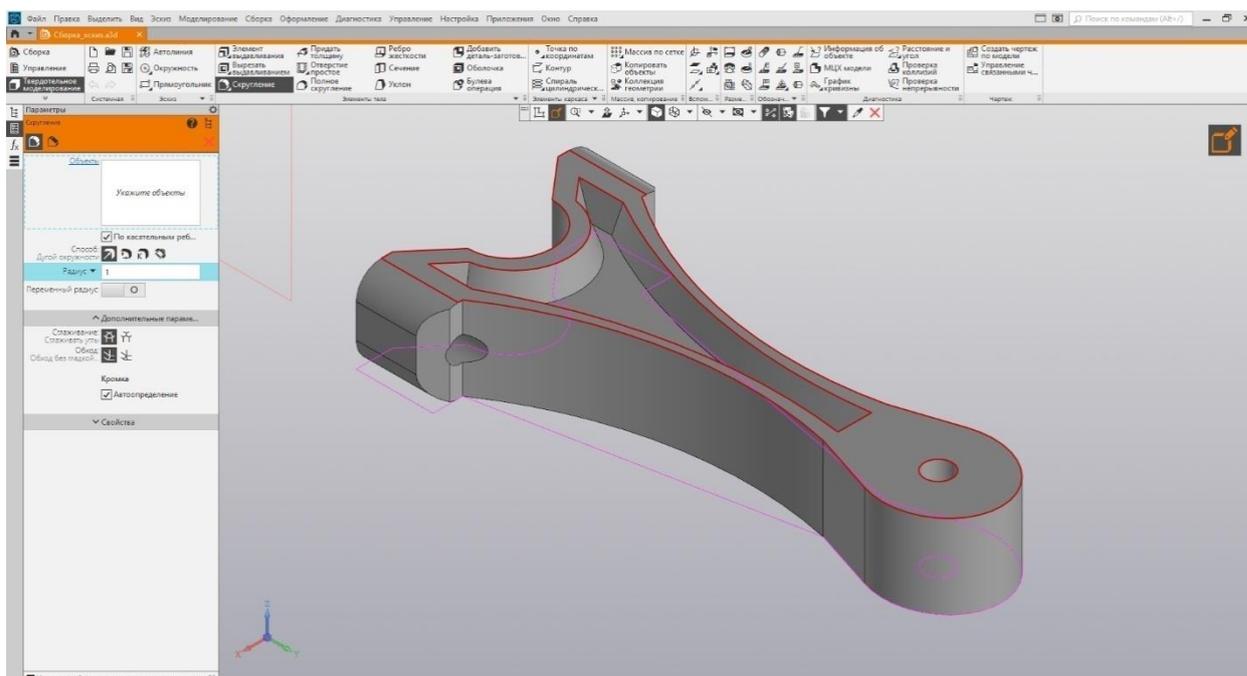


Рисунок 18 - Выделение всей обрабатываемой плоскости скруглением

Для распределения нагрузки по более широкой области и эффективного способа сделать деталь более прочной и способной выдерживать большие нагрузки необходима галтель. При помощи команды «скругление» в выделения обрабатываемой плоскости можно выделить всю поверхность

(Рисунок 18 и 19), таким образом по всем ее граням будет выполнена галтель (Рисунок 20). Повторное нажатие на выделенную грань отменит на ней операцию.

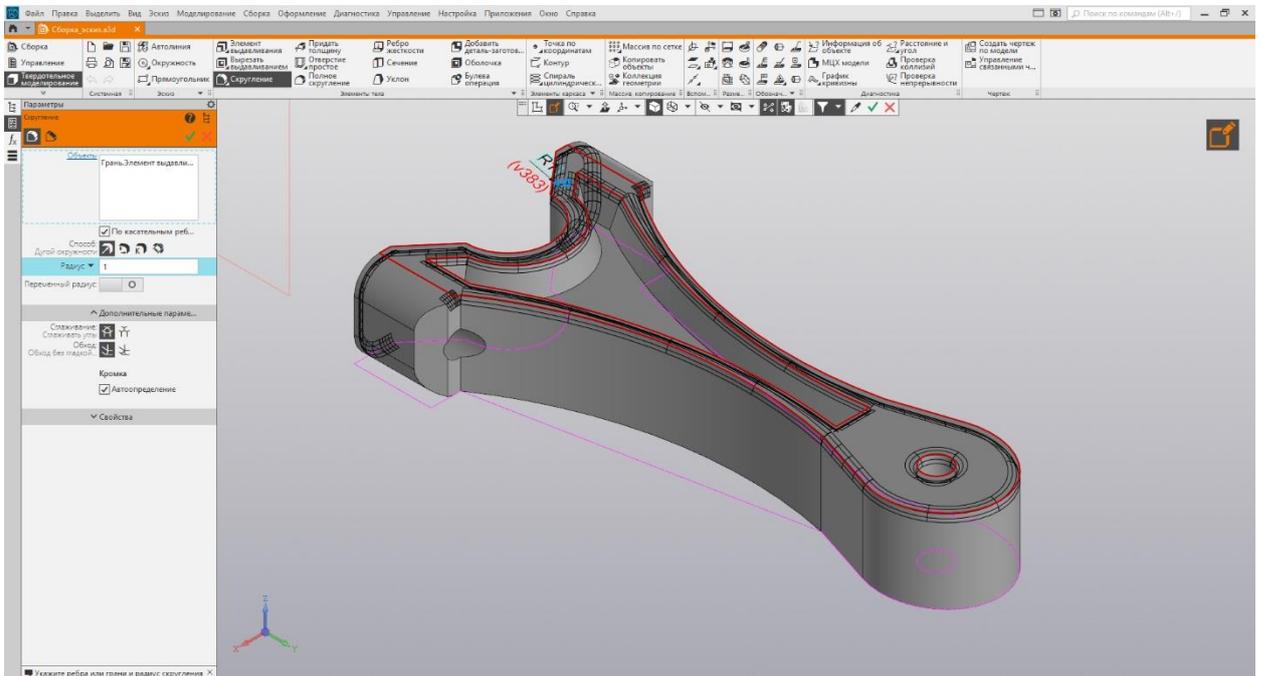


Рисунок 19 - Выделенные красным грани, которые будут скруглены

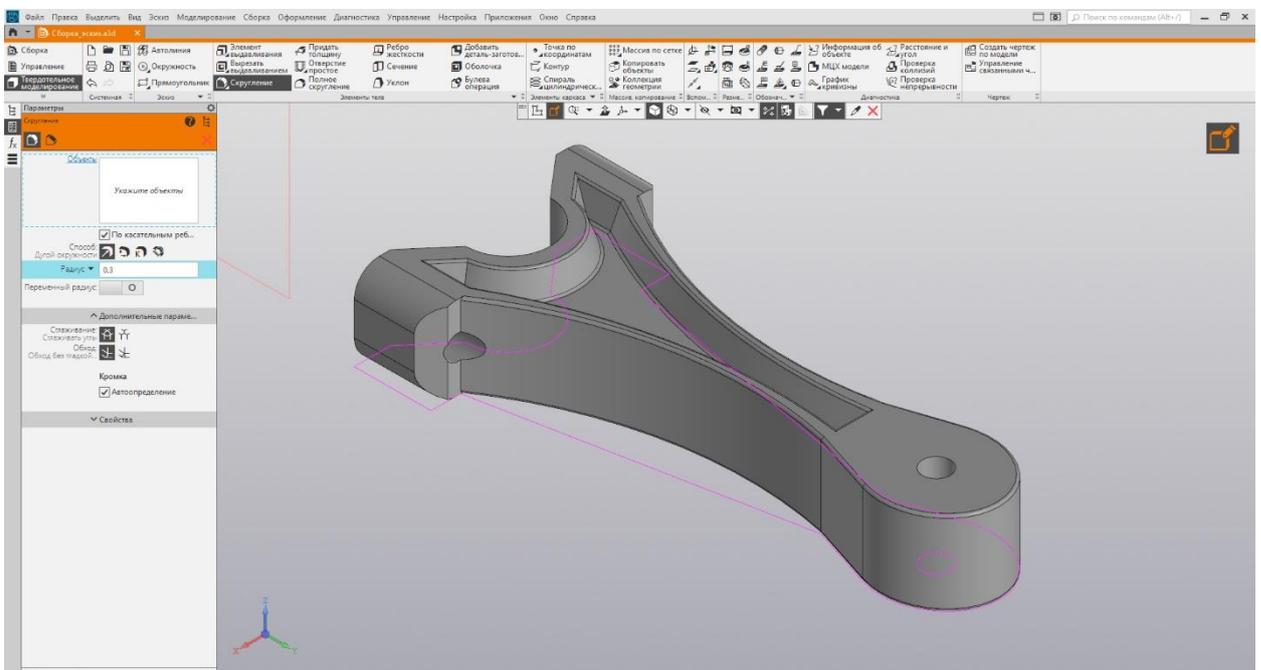


Рисунок 20 - Деталь с галтелью

По такому же принципу выполняются остальные детали (Рисунок 21, 24, 25).

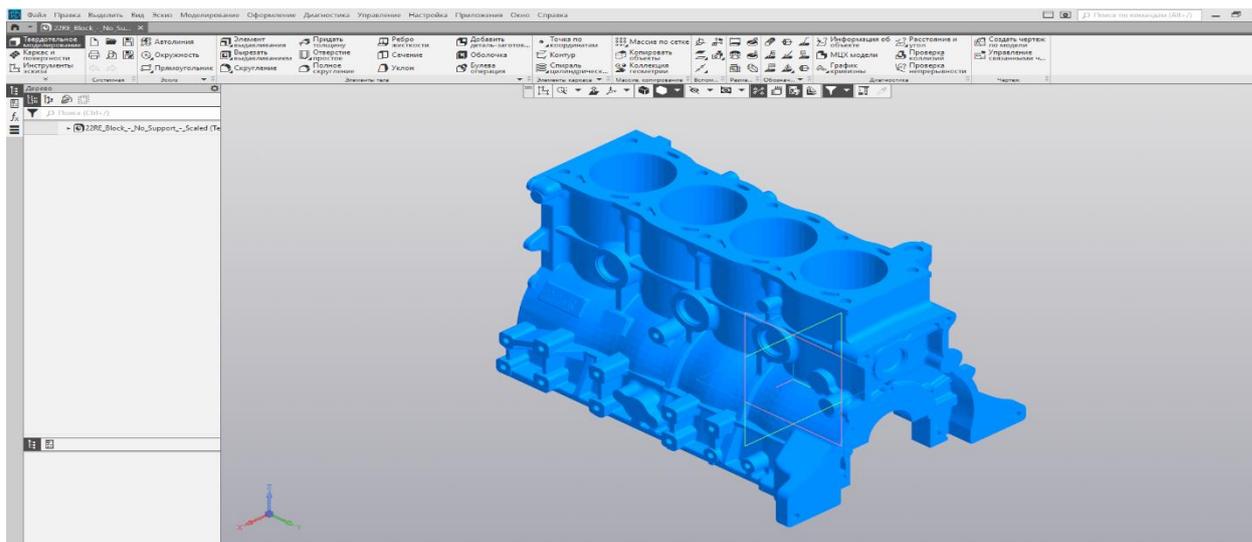


Рисунок 21 - Готовый блок цилиндров

По частям, создаем коленчатый вал (Рисунок 22 и 23). Следует разбить коленвал на части, для удобства сборки, печати и возможности использовать подшипники. Так как крупные части или модель целиком, принтер не распечатает. Подшипники нужны для плавного взаимодействия деталей и узлов. Конечным этапом будет являться объединение всех деталей в одну сборку. А также создание чертежа, с двигателя, и снятие полученных размеров. Взамен шеек коленчатого вала и поршневых пальцев используются болты.

Вывод: стенд в сборе включает ДВС, сцепление, КПП, подставки, напечатанные на 3D-принтере. Фотографии готового стенда представлены в приложении А.

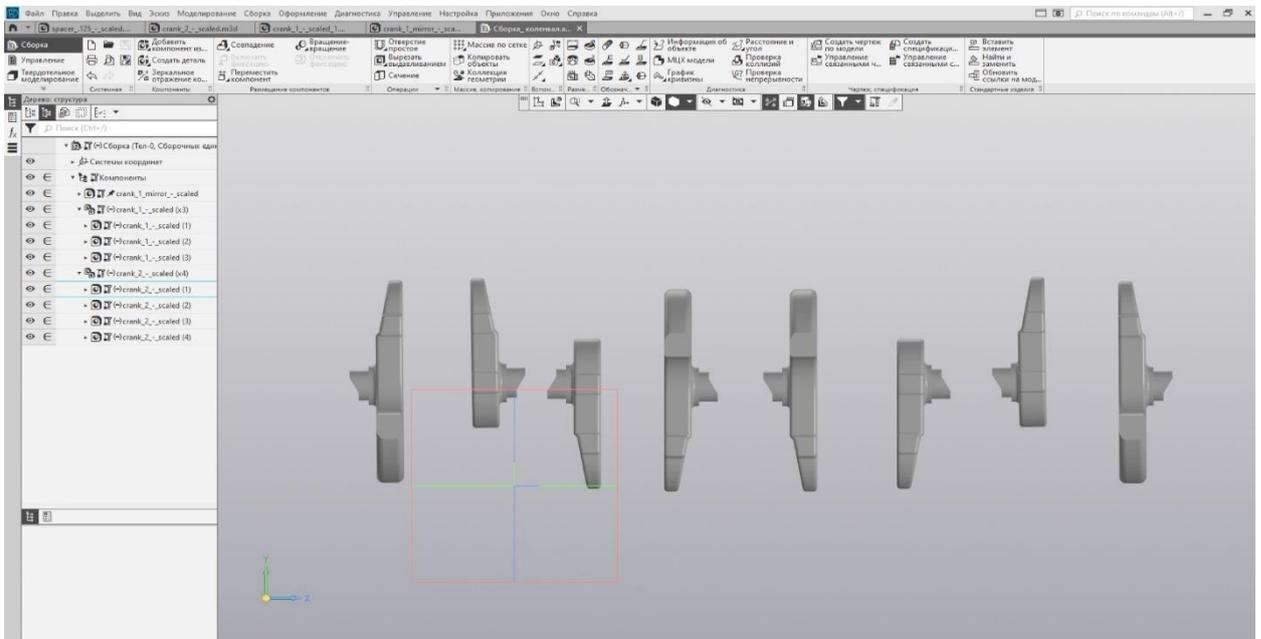


Рисунок 22 - Части коленчатого вала. Вид сбоку

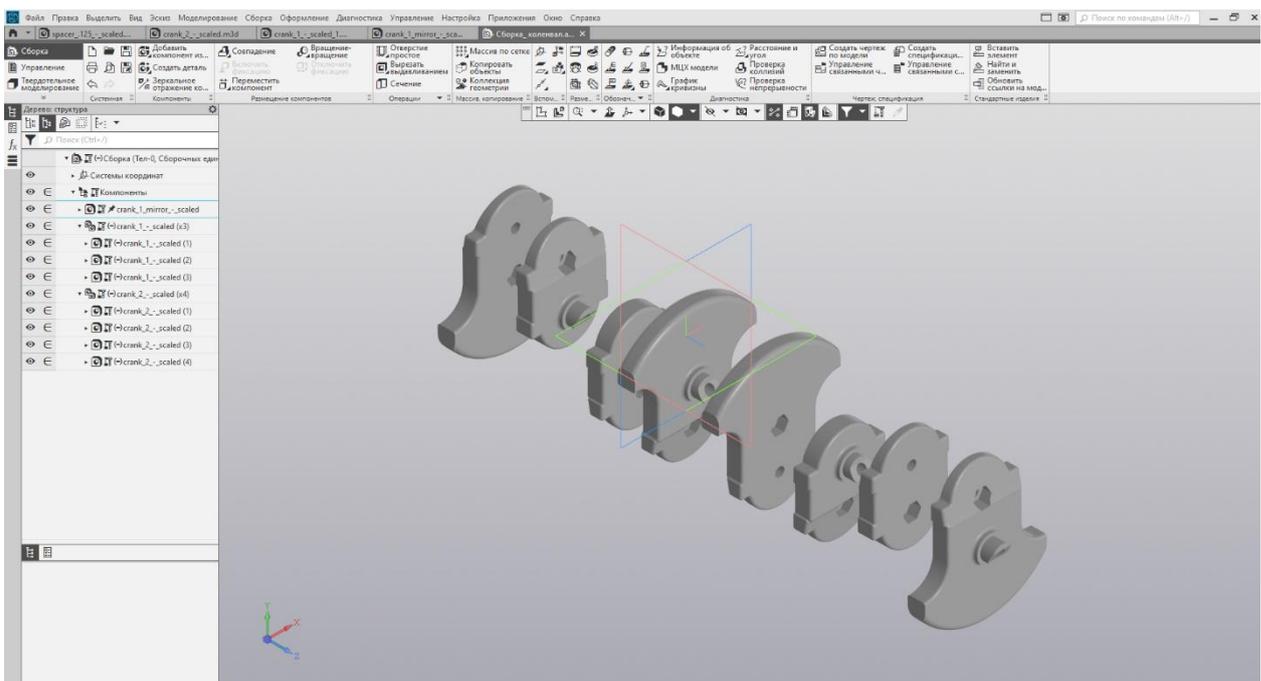


Рисунок 23 - Части коленчатого вала. Изометрический вид

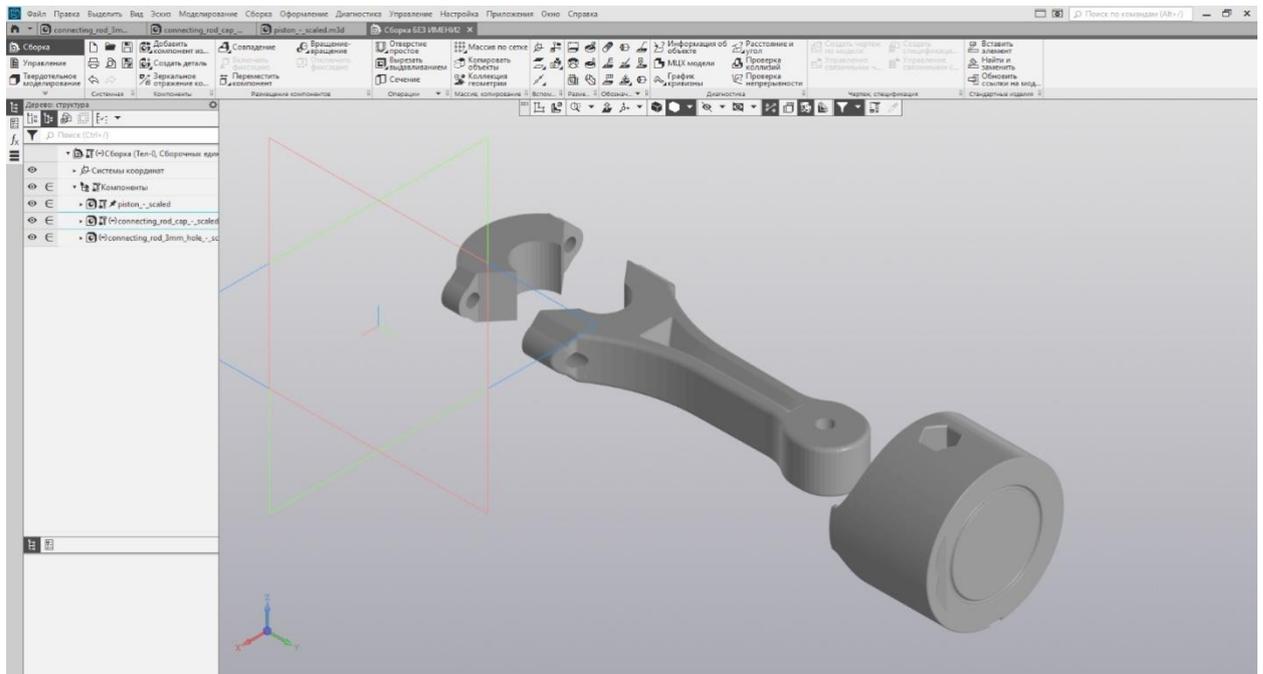


Рисунок 24 - Детали поршня. Изометрический вид

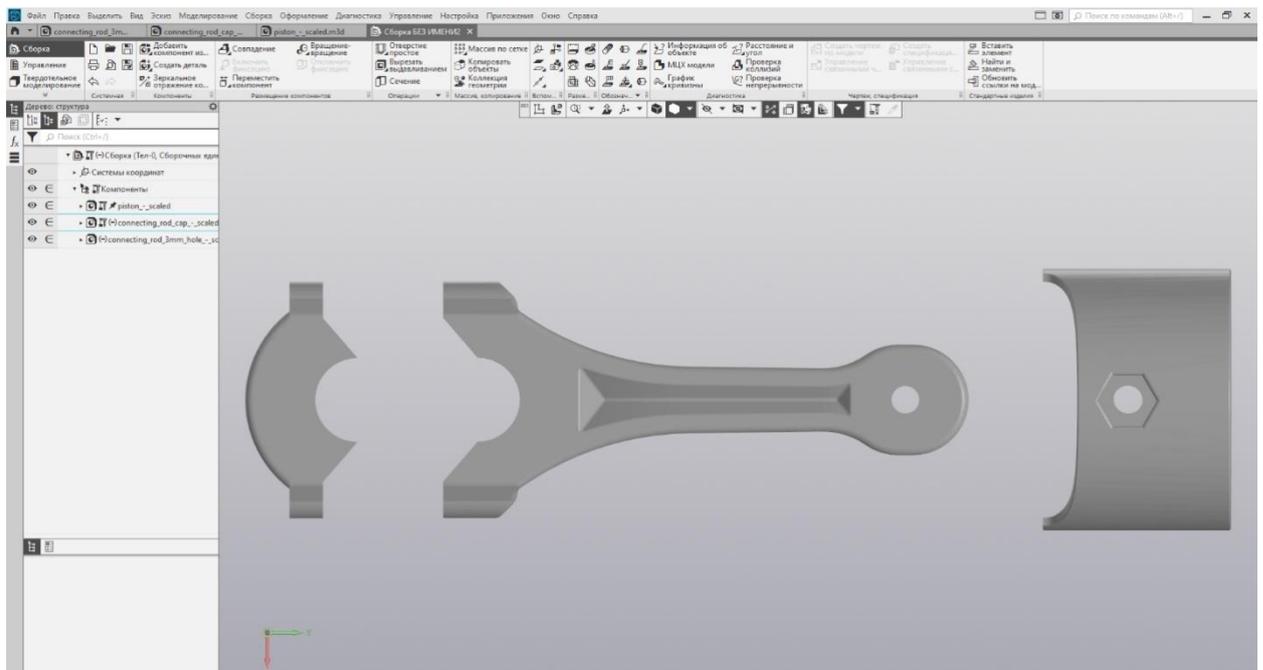


Рисунок 25 - Детали поршня. Вид сверху

## **4 МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ «ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА МКПП НА РАЗНЫХ ПЕРЕДАЧАХ»**

### **4.1 Цели работы**

Ознакомление на практике с конструктивными особенностями механической коробки передач. Определение передаточного числа каждой передачи.

### **4.2 Теоретическая часть**

#### **4.2.1 Устройство механической коробки переключения передач**

Механическая коробка переключения передач – это редуктор, предназначенный для передачи вращательного движения от коленчатого вала двигателя к ведущим колесам, с возможностью увеличения крутящего момента с уменьшением скорости за счет изменения передаточных чисел. Если воспринимать буквально, то это блок или корпус с интегрированными в нем ряда шестерен (Рисунок 26) при помощи которых изменяется крутящий момент и скорость между приводными устройствами.

Необходимость в данном типа устройства характеризуется узким диапазоном работы двигателя внутреннего сгорания. Внедрение в конструкцию автомобиля коробки переменных передач решило несколько вопросов эксплуатации, такие как:

—Плавный старт с места, за счет увеличения крутящего момента и уменьшения скорости вращения на ведущих колесах.

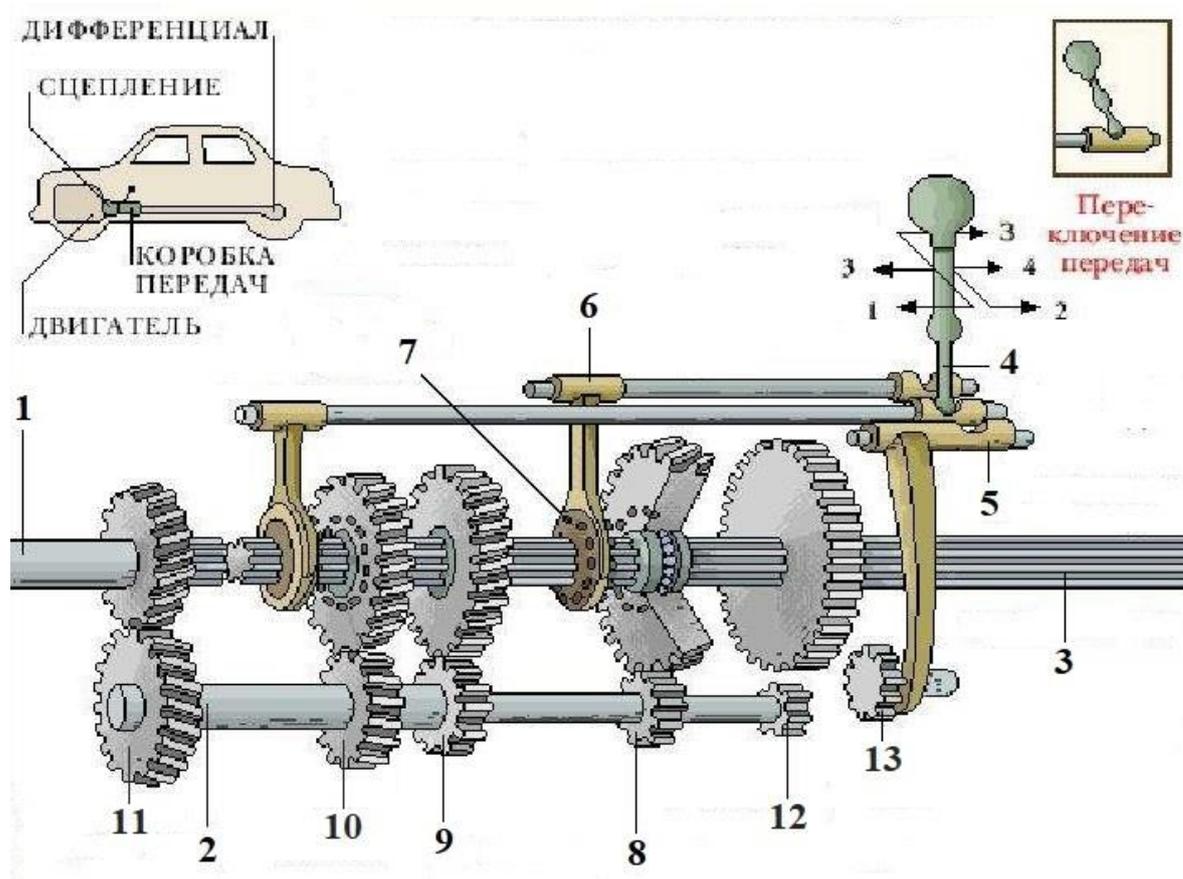
—Экономичность движения на высоких скоростях, за счет увеличения скорости оборотов ведущих колес относительно оборотов двигателя.

—Реализация заднего хода, путем внедрения в конструкцию промежуточной шестерни.

—Возможность отсоединения двигателя от трансмиссии для переключения передач.

—Возможность включения нейтральной передачи для работы двигателя без передачи момента на ведущие колеса.

—Обеспечение требуемой динамической характеристикой автомобиля и топливной экономичностью двигателя при разных условиях движения, нагрузки, скорости.



1 – входной (первичный) вал; 2 – промежуточный вал; 3 – выходной (вторичный) вал; 4 – рычаг переключения передач; 5 – шток переключения передач; 6 – вилка переключения передач; 7 – муфта переключения передач; 8 – шестерня 1-й передачи; 9 – шестерня 2-й передачи; 10 – шестерня 3-й передачи; 11 – шестерня 4-й передачи; 12 – шестерня задней передачи; 13 – промежуточная шестерня

Рисунок 26 – Устройство механической коробки переключения передач

Самая распространённая конструкция - коробка передач постоянного зацепления. Она имеет: картер; три вала (первичный, промежуточный и вторичный) с шестернями каждой передачи; дополнительный вал с шестерней заднего хода; синхронизаторы; механизм переключения передач с замковым и блокировочным устройством; рычаги переключения.

Картер является силовой конструкцией для основных узлов и деталей коробки передач. Он присоединяется к картеру сцепления, который, в свою очередь, прикреплен к двигателю. Так как при работе коробки передач на деталях возникают большие силы трения, в картер заливается трансмиссионное масло, для смазывания трущихся деталей, отводы тепла и продуктов износа.

Валы коробки передач расположены параллельно и вращаются в подшипниках, установленных в картере. На них установлены шестерни с различным числом зубьев, сочетание которых реализует изменение крутящего момента. Первичный вал через сцепление передает крутящий момент с двигателя на промежуточный вал. Вторичный вал примыкает к хвостовику первичного вала через подшипник, что дает отсутствие фиксированной связи и возможность свободного вращения относительно друг друга.

Синхронизаторы обеспечивают плавное, бесшумное и безударное включения передач, путем уравнивания угловых скоростей вращающихся шестерен.

Механизм переключения передач служит для смены передач в коробке и управляется водителем с помощью рычага из салона авто. При этом замковое устройство не позволяет включаться одновременно двум передачам, а блокировочное устройство удерживает передачи от самопроизвольного выключения.

#### 4.2.2 Принцип изменения крутящего момента в коробке передач.

При включенной нейтральной передаче все шестерни, кроме необходимых для заднего хода, постоянно находятся в зацеплении (см. рисунок 27).



Рисунок 27 – Нейтральная передача

Шестерни на выходном валу свободно вращаются вокруг него, а шестерни промежуточного вала зафиксированы. Момент не передается на ведущие колеса.

На первой передаче, блокируется шестерня на выходном валу находящаяся в сцеплении с самой маленькой шестерней промежуточного вала (с наименьшим количеством зубцов), передавая привод через самую большую шестерню на входном валу, обеспечивая высокий крутящий момент и низкую скорость для трогания с места (см. рисунок 28).

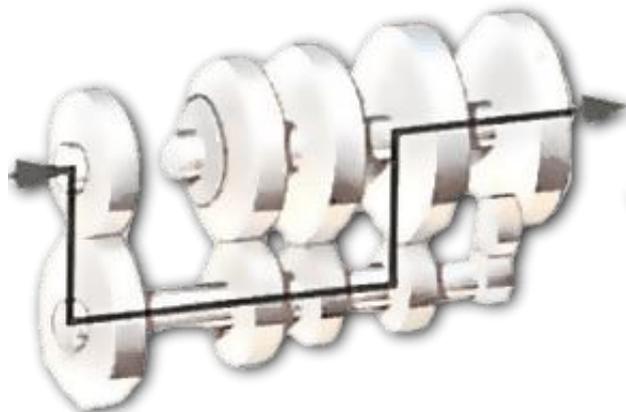


Рисунок 28 – Первая передача

На второй и на третьей передаче разница в диаметрах шестерен на двух валах уменьшается, что приводит к увеличению скорости движения и меньшему увеличению крутящего момента (см. рисунок 29).

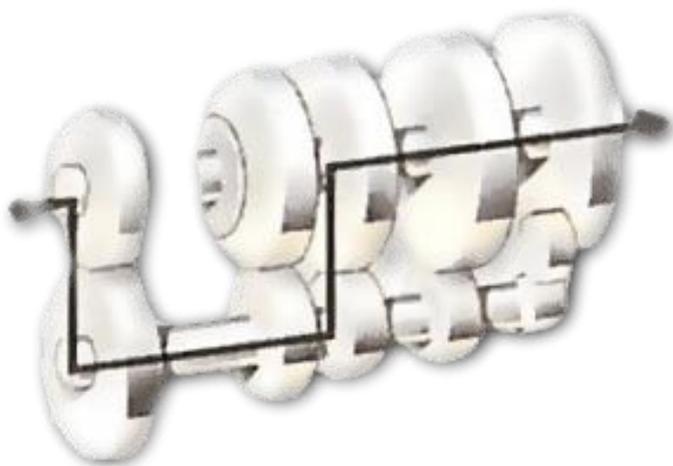


Рисунок 29 – Вторая и третья передача

На четвертой передаче входной вал и выходной вал заблокированы вместе, обеспечивая «прямую передачу»: один оборот карданного вала равен каждому обороту коленчатого вала. Нет увеличения крутящего момента (см. рисунок 30).

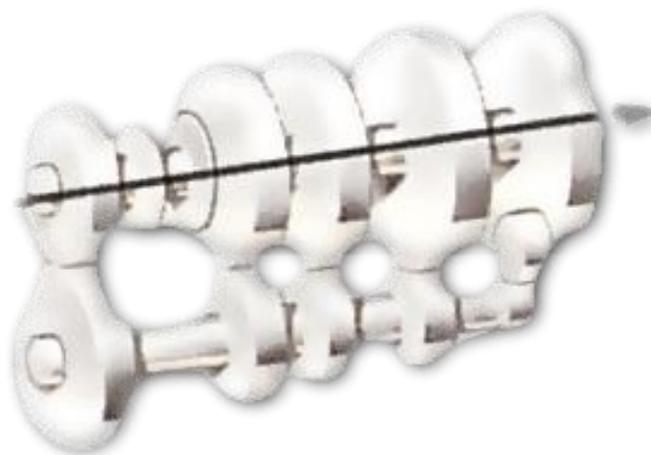


Рисунок 30 – Четвертая (прямая) передача

Для реализации реверсивной передачи, промежуточная шестерня входит в зацепление между шестернями промежуточного и выходного валах,

заставляя выходной вал реверсировать направление вращения (см. рисунок 31). Передача заднего хода обычно не синхронизирована.

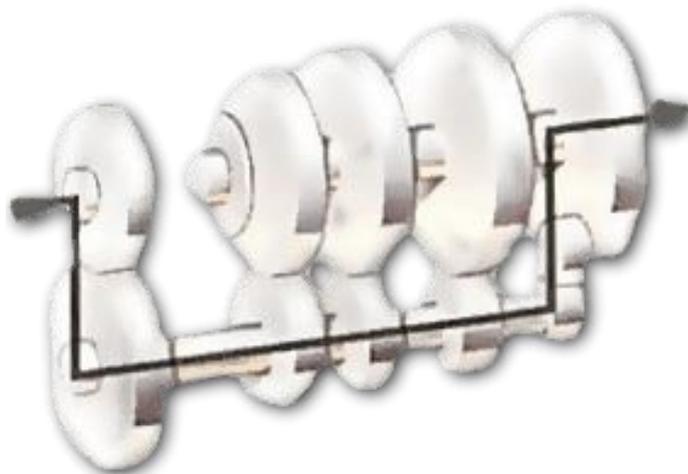
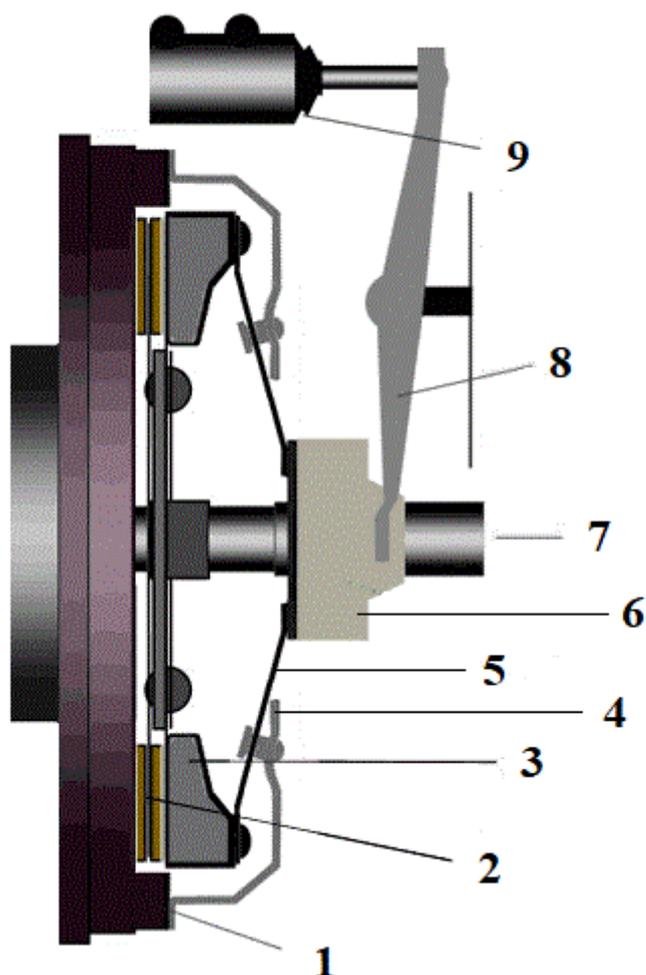


Рисунок 31 – Задняя передача

#### 4.2.3 Устройство сцепления

Для передачи крутящего момента от двигателя к трансмиссии служит сцепление. Оно является неотъемлемой частью механической коробки передач, осуществляющее кратковременное прекращение и плавное возобновление передачи момента, для переключения передачи без последствий для агрегатов и плавного старта автомобиля. Так же сцепление предохраняет агрегаты трансмиссии от резких ударов и толчков. Сцепление включает в себя: маховик; нажимной диск; ведомый диск; выжимной подшипник с муфтой выключения; привод и вилку. Основные детали сцепления представлены на рисунке 32.



1 – маховик; 2 – ведомый диск; 3 – нажимной диск; 4 – кожух сцепления; 5 – диафрагменная пружина; 6 – выжимной подшипник с муфтой выключения; 7 – входной вал КПП; 8 – вилка сцепления; 9 – привод

Рисунок 32 – Устройство сцепления

Маховик выполняет роль ведущего колеса сцепления, будучи установленным на коленчатом валу передает крутящий момент на ведомый диск. Под действием диафрагменной пружины, нажимной диск оказывает необходимое давление на ведомый диск для передачи крутящего момента, не допуская его проскальзывания. Нажимной диск закреплен в кожухе сцепления с помощью тангенциальных пластинчатых пружин, при выключении сцепления, они выполняют роль возвратных пружин. Диафрагменная пружина внешним своим диаметром упирается в нажимной диск, а внутренней частью в кожух сцепления и фиксируется на нем при помощи распорных болтов или опорного кольца. Кожух в свою очередь

прокручивается к маховику и прижимает ведомый диск, нажимную пластину и диафрагменную пружину к маховику. Ведомый диск имеет шлицевое соединение с первичным валом коробки, с возможностью перемещения по ним. Для обеспечения плавности включения сцепления, минимизации ударов и толчков на коробку передач, в ступице ведомого диска размещены демпферные пружины, служащими гасителями крутильных колебаний. Для обеспечения большего коэффициента сцепления, на ведомом диске на двух рабочих плоскостях установлены фрикционные накладки. Подшипник выключения сцепления служит передаточным узлом между приводом и сцеплением. Он расположен на первичном валу коробки передач и при нажатии педали, через привод и вилку сцепления, осуществляет непосредственное воздействие на диафрагменную пружину.

#### 4.2.4 Определение передаточного числа

Передаточное отношение в коробке передач является соотношением между скоростями вращения двух зацепления зубчатых колес. Поскольку каждая шестерня имеет разный диаметр, каждая из осей вращается с разной скоростью, когда они обе включены. Изменение передаточного числа эквивалентно изменению прилагаемого крутящего момента.

Передаточное число определяется двумя способами: приближенным и уточненным способом.

Приближенным способом передаточное число определяется отношением оборотов входного вала к выходному, то есть сколько сделает оборотов коленчатый вал за один оборот выходного вала КПП и рассчитывается по формуле:

$$U_{\text{пр}} = \frac{n_1}{n_2} = n_1; \quad (1)$$

где  $n_1$  - количество оборотов входного вала;  $n_2$  - количество оборотов выходного вала.

Для точного измерения передаточного числа конкретной передачи определяется количество зубьев зубчатых колес, находящихся в зацеплении, и определяют передаточные числа отдельных ступеней редуктора по формуле:

$$U_i = \frac{Z_{n+1}}{Z_n} \quad (2)$$

где  $Z_{n+1}$  – число зубьев ведомой шестерни;  $Z_n$  – число зубьев ведущей шестерни.

Общее передаточное число определенной передачи КПП определяется произведением передаточных чисел всех задействованных пар зубчатых колес:

$$U_T = U_1 \cdot U_2 \cdot U_3 \dots U_n. \quad (3)$$

где  $U_1$  – передаточное число ступени КПП;  $U_n$  – передаточное число пар шестерен в ступени КПП.

#### 4.3 Оборудование и материалы

Для выполнения лабораторной работы студентам выдают:

- 1) Методические указания,
- 2) Макет силового агрегата, изображенный на рисунке 33,

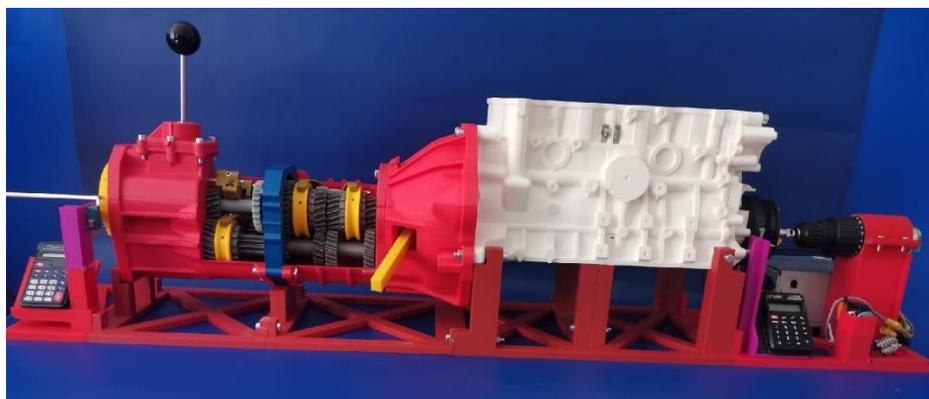
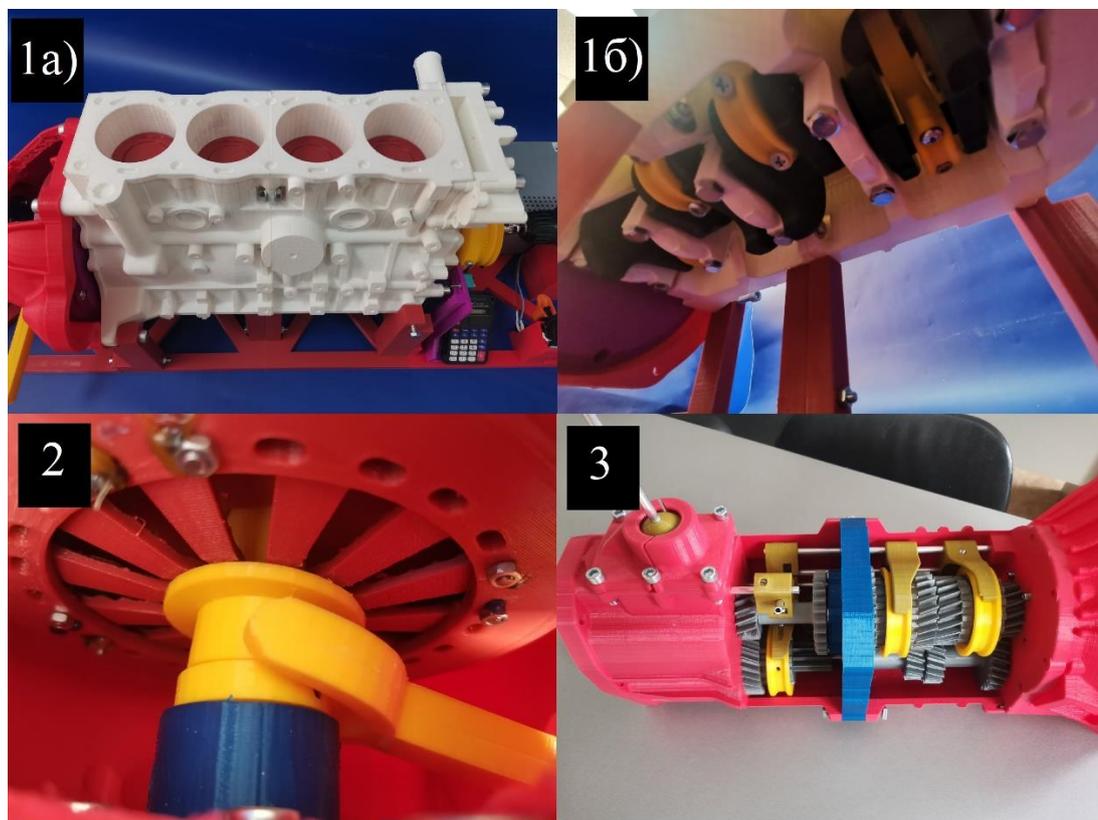


Рисунок 33 – Макет силового агрегата

3)Штангенциркуль.

#### 4.4 Устройство стенда

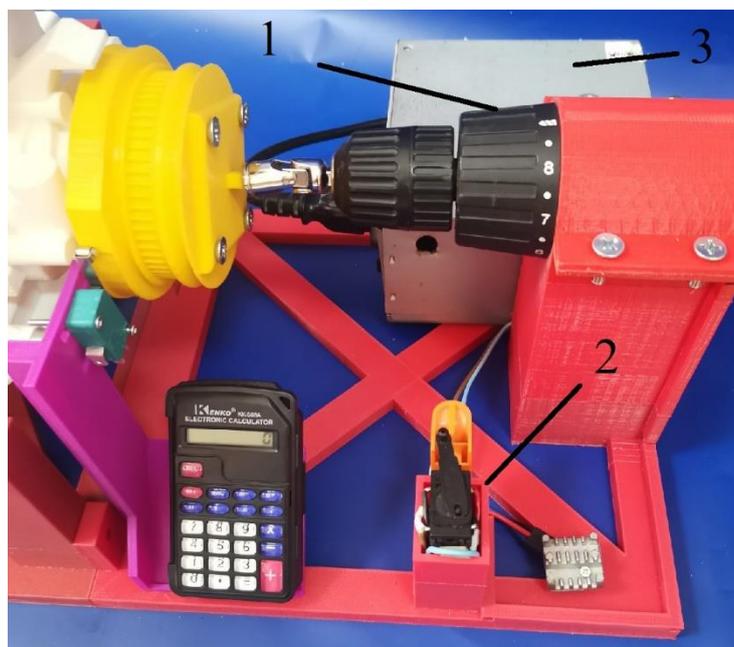
Стенд состоит из трех агрегатов, которые изображены на рисунке 34.



1а), 1б) – блок цилиндров с кривошипно-шатунным механизмом; 2 – сцепление; 3 – коробка передач

Рисунок 34 – Основные составляющие силового агрегата

Вращательное движение производится от электродвигателя, закрепленного на шкиве коленчатого вала через карданную передачу. Для его включения установлена кнопка с регулировкой оборотов в зависимости от усилия нажатия. За обеспечение установки необходимым током, а именно постоянным 12V, отвечает блок питания (см. рисунок 35).



1 – электродвигатель; 2 – кнопка пуска; 3 – блок питания

Рисунок 35 – Электродвигатель

Для облегчения подсчета оборотов на коленчатом валу и на выходном валу коробки передач используются концевые выключатели с считывающим устройством в виде калькулятора. Их расположения отображены на рисунке 36.



1 – концевые выключатели; 2 – считывающие устройства

Рисунок 36 – Считывающие устройство

Для осуществления переключения передач, используется ручка коробки передач, внешний вид и схема перемещения которой отображена на рисунке 37

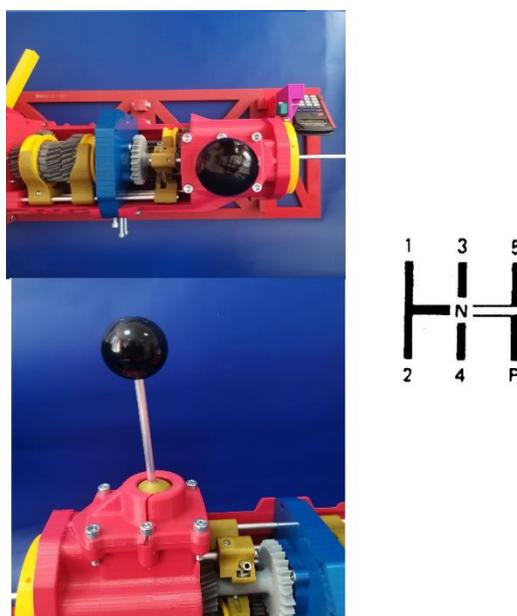


Рисунок 37 – Ручка коробки передач

При переключениях передач, появляется необходимость в отсоединении коробки передач от двигателя, для чего и служит сцепление. Осуществляется это путем перемещения вилки в соответствии с рисунком 38.

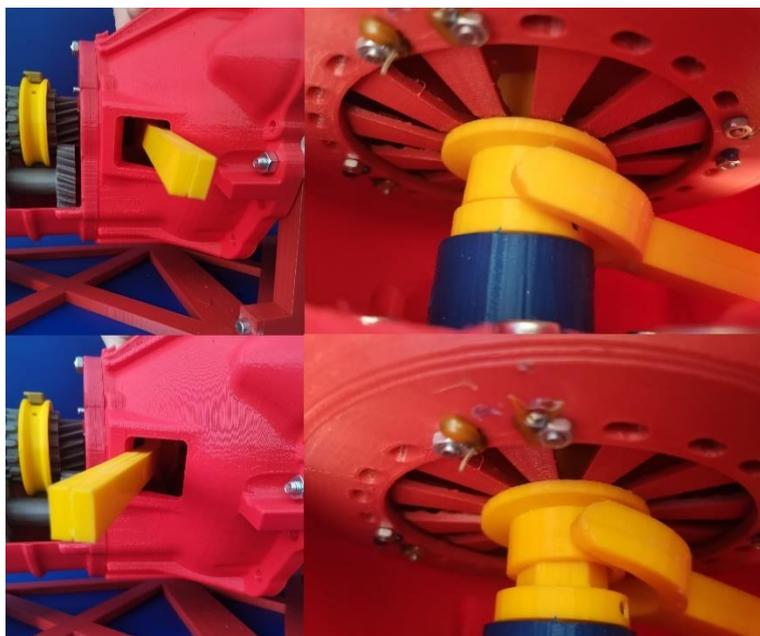


Рисунок 38 – Выключение сцепления

## 4.5 Порядок проведения работы

### 4.5.1 Определение передаточного числа приближенным способом

- 1) Включить стенд к сети 220V;
- 2) Включить нейтральную передачу, для этого необходимо выжать вилку сцепления и переместить рычаг КПП в нейтральное положение, при этом все муфты должны находиться по середине между шестернями скоростей (см. рисунок 39);

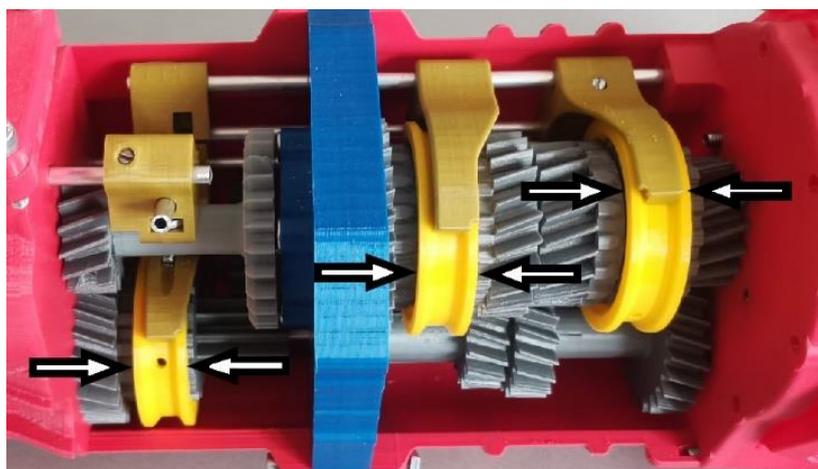
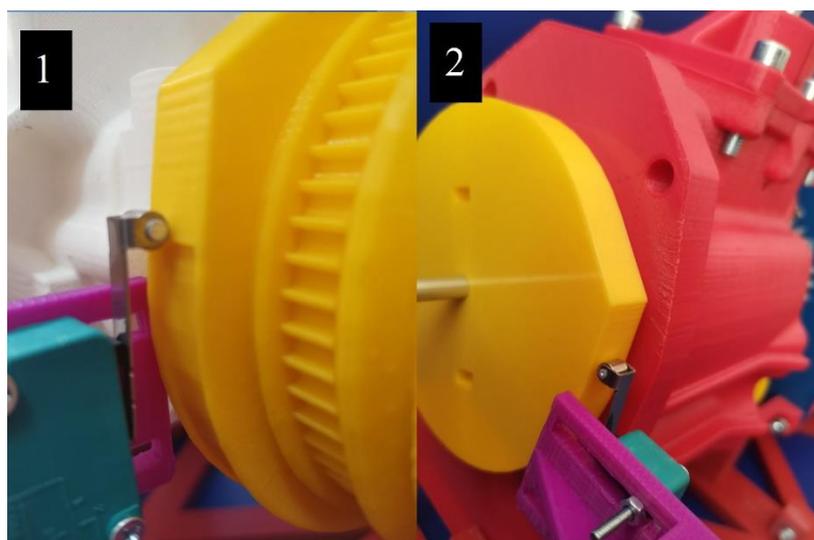


Рисунок 39 – Нейтральная передачи

- 3) Убедиться в совмещении нулевых отметок на шкиве коленвала и на выходном валу КПП (см. рисунок 40);



1 – метка на коленчатом валу; 2- метка на выходном валу коробки передач  
Рисунок 40 – Расположение меток считывающих устройств

4) Включить первую передачу, путем выжима сцепления и перемещения рычага КПП в первое положение по схеме. В таком положении муфта первой и второй передачи должна переместиться назад (зайти в зацепление с шестерней первой передачи, что продемонстрировано на рисунке 41);

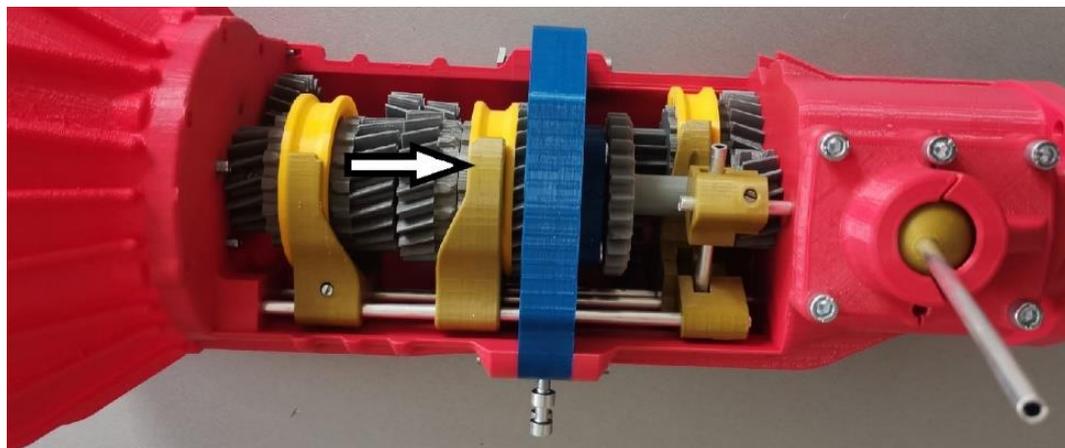


Рисунок 41 – Первая передача

- 1) На считывающих устройствах (калькуляторах) выполнить действие +1;
- 2) Нажать кнопку пуска для электродвигателя и удерживать до прохождения коленчатого вала 10 оборотов;
- 3) Снять показания с 2-го считывающего устройства и занести в таблицу 1;
- 4) При помощи формулы (1) рассчитать передаточное число I передачи. Результат занести в таблицу;
- 5) Продолжить измерения передаточного числа II, III, IV и V передачи в соответствии с пунктами 2 – 8. Перемещение муфт при переключении передач изображены на рисунке 42;

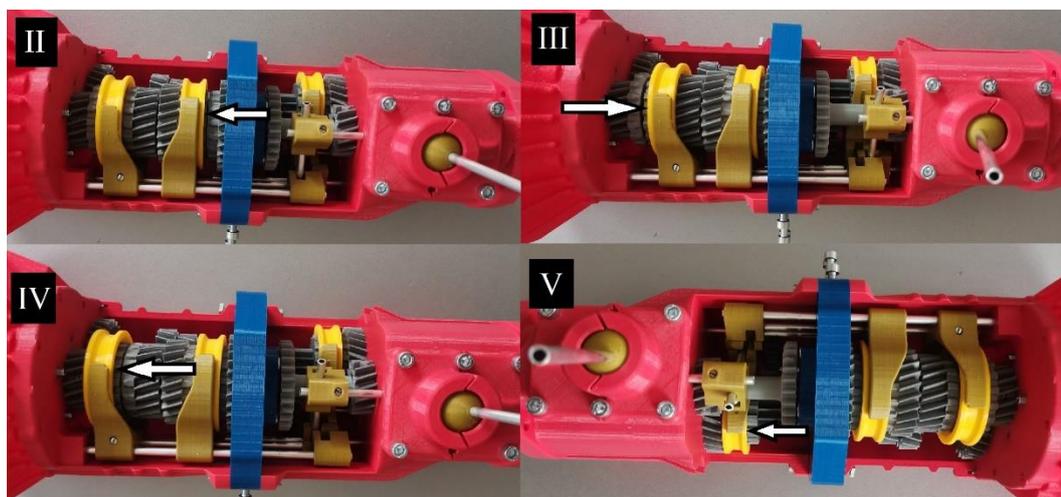


Рисунок 42 – Перемещения муфт при II, III, IV и V передачах

5) Для определения передаточного числа  $R$  передачи, при установке меток в нулевое положение отметку на выходном валу КПП необходимо совместить с другой стороны от концевого выключателя, как на рисунке 43. Дальнейшие действия выполнить в соответствии с пунктами 4 – 8. Перемещения муфт и промежуточная шестерни при включении задней передачи изображено на рисунке 44;



Рисунок 43 – Метка на выходном валу коробки передач при включении реверсивной передачи

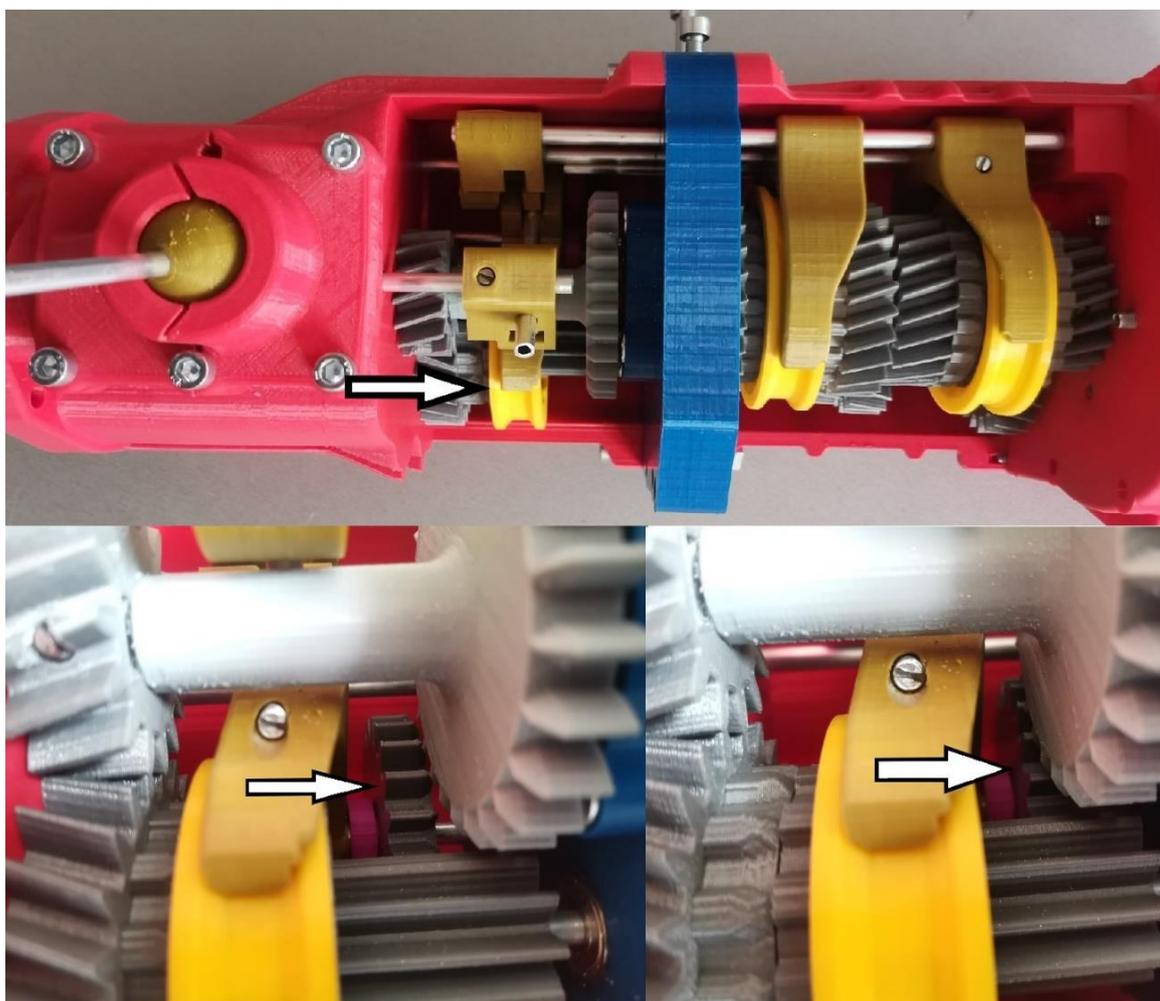


Рисунок 44 – Перемещение муфты и промежуточной шестерни при включении задней передачи

#### 4.5.2 Определение передаточного числа точным способом

- 1) Включить первую передачу, определить шестерни, задействованные в I передаче;
- 2) посчитать количество зубьев всех задействованных шестерёнчатых колес;
- 3) при помощи формулы (2) рассчитать передаточное число между пар задействованных шестерен, находящихся в зацеплении;
- 4) по формуле (3) рассчитать общее передаточное число I передачи, результаты записать в таблицу 1;
- 5) рассчитать передаточное число точным способом II, III, IV, V и R передачах в соответствии с пунктами 1 – 4.

#### 4.6 Содержание отчета

Отчет к лабораторной работе включает в себя:

- 1)Титульный лист,
- 2)Цель работы,
- 3)Таблица с результатами измерений и расчетов,

Таблица 1 – Результаты определений передаточных отношений каждой передачи.

Номер передачи	$U_{\text{пр}}$	$U_{\text{т}}$
I		
II		
III		
IV		
R		

где,  $U_{\text{пр}}$  – передаточное число, рассчитанное приближённым способом,

$U_{\text{т}}$  – передаточное число, рассчитанное точным способом.

- 4) Вывод.

#### 4.7 Контрольные вопросы

- 1) Назначение Коробки передач.
- 2) Определение передаточного числа.
- 3) Назначение сцепления.
- 4) Как реализовывается реверсивная скорость в коробке передач.

## **5 Безопасность и экологичность проекта**

### **5.1 Безопасность 3D-принтера**

Безопасность 3D-принтера включает несколько аспектов:

- Электрическая безопасность
- Механическая безопасность
- Опасность ожога
- Безопасность материалов
- Безопасность объекта печати

### **5.2 Электрическая безопасность**

При покупке 3D-принтера нужно проверить, соответствует ли источник питания всем требованиям маркировки CE и защищен ли он от короткого замыкания, перегрузки, перенапряжения и перегрева. Дополнительно в хотэнде принтера может быть тепловая защита от разгона. Использовать термopредохранитель в радиаторе, чтобы контролировать температуру и отключать всю мощность нагревателя в случае перегрева. Последнее, что бывает довольно редко, но полезно: датчик дыма, который питается отдельно от машины и отключает всю мощность обогревателя при обнаружении дыма.

### **5.3 Механическая безопасность**

3D-принтеры содержат много движущихся частей. К счастью, наиболее часто используемые в отрасли шаговые двигатели NEMA-17 не обладают достаточной мощностью, чтобы вызвать серьезные травмы. Тем не менее, в поисках безопасного 3D-принтера нужно иметь в виду, что движущиеся шестерни, которые не покрыты защитой, могут представлять потенциальный риск. Таким образом, можно ограничить поиск 3D-принтера, который имеет конструкцию закрытая камера печати.

### **5.4 Опасность ожога**

Существует потенциальный риск ожога, поскольку печатающая головка большинства 3D-принтеров может достигать температуры до 260 °C, а нагретый стол (не всегда входит в комплект) - до 100°C. Опять же,

полностью закрытая печатная камера — это то, что нужно, особенно когда у нее есть функция автоматического выключения при открытии дверцы.

### **5.5 Безопасность и материалы для 3D-печати**

Когда-то ABS был самым популярным материалом для 3D-печати. Инженеры любят его за его прочность, а дизайнерам нравится, потому что он легко полируется ацетоном. Его популярность в конечном итоге немного снизилась из-за исследований, которые показали, что выделяемые пары могут быть канцерогенными.

Можно использовать PLA. PLA — это биопластик, который считается относительно безопасным. Однако большая часть PLA, которая продается как нить для 3D-принтера, не является сырым, необработанным биопластиком. Чтобы сделать PLA пригодным для печати и визуально приятным, добавлены всевозможные химикаты.

### **5.6 Безопасность объектов 3D-печати**

Разъем для соединения деревянных частей мебели лучше всего напечатать его из сверхпрочного и эластичного материала, немного гибкого, как нейлон. Если же неправильно выбрать материал, слишком жесткий и хрупкий, деталь может не выдержать нагрузки и можно получить травму.

Если использовать объект в качестве столовых приборов, то нужно помнить, что в пластики есть микropopы и щели, в которые могут попасть бактерии и плесень. Если же использовать сертифицированный пластик, то на экструдере могут быть остатки старого пластика. Поэтому повторное использование такой посуды может быть опасно.

На более высоком уровне - такие отрасли, как аэрокосмическая и автомобильная промышленность, обращаются к 3D-печати в качестве замены традиционному производству. Переход от использования 3D-печати в качестве инструмента для создания прототипов к использованию ее в качестве конечного продукта может быть опасно. Обеспокоенность по поводу безопасности и стабильности компонентов, напечатанных на 3D-

принтере, означает разработку новых механизмов тестирования, чтобы доказать их безопасность и эффективность.

## **5.7 Исследование материалов для 3D-печати**

Настольные 3D-принтеры стали дешевле и дешевле, что сделало технологию доступной для создания прототипов и производства для компаний, любителей, университетов, школ и других производителей. Многие из этих пользователей будут использовать свой доступный по цене принтер в офисе, на личных рабочих столах и даже в спальне. Большинство пользователей не осведомлены о рисках для здоровья, возникающих при установке производственного оборудования в непромышленной среде с плохой вентиляцией. Таким образом, развитие настольной 3D-печати идет быстро, но, к сожалению, развитие знаний и внедрение безопасности 3D-печати отстают.

Легко представить, что плавление термопласта сопряжено с загрязнением. Известно, что термическое разложение АБС оказывает токсическое действие. Также известно, что PLA безопаснее ABS. Обсуждая тему безопасности 3D-печати, важно учитывать ее побочные продукты. Терминология, используемая в промышленности, — это ультрадисперсные частицы (UFP) и летучие органические соединения (VOC). В исследованиях и измеряется воздействие этих компонентов во время экспериментов с настольными 3D-принтерами.

## **5.8 Выбросы и опасности ультрадисперсных частиц (UFP)**

Все 3D-принтеры для моделирования методом наплавления (FDM) испускают ультрадисперсные частицы. Эти частицы определяются как частицы диаметром менее 0,1 мкм. Вы их не видите, но, возможно, вы уже встречались с ними. При работе с 3D-принтером могут возникать головные боли, раздражение глаз или кожи. Это могло быть вызвано UFP. Эти частицы небольшого размера опасны для здоровья человека, поскольку они способны проникать через наши легкие в кровоток. UFP связаны с больничными выбросами при симптомах инсульта и астмы.

Настольные 3D-принтеры можно отнести к категории принтеров с высоким уровнем излучения

В отношении загрязнения настольных 3D-принтеров FDM проводится мало исследований. Тем не менее, есть некоторые исследования, которые уточняют тип загрязнения и потенциальные риски для здоровья. Типичная установка для оценивания 3D-печати содержит несколько 3D-принтеров в меблированном и вентилируемом офисном помещении, которое используется для обучения, тренингов и продаж 3D-принтеров населению. Размер и концентрация ультрадисперсных частиц измеряются на расстоянии 2 м от ближайшего настольного принтера. Во-первых, выполняется измерение фона, при котором не работает ни один 3D-принтер. Затем делается 25-минутная печать на 2 принтерах с использованием пластика PLA. PLA печатается при температуре сопла 200 градусов Цельсия. По истечении этого периода принтеры выключаются перед началом третьего измерения, в котором работают 2 принтера PLA и 3 принтера ABS. В конце, принтеры выключаются, чтобы измерить снижение концентрации частиц UFP с течением времени. На рисунке 45 показан результат их измерений.

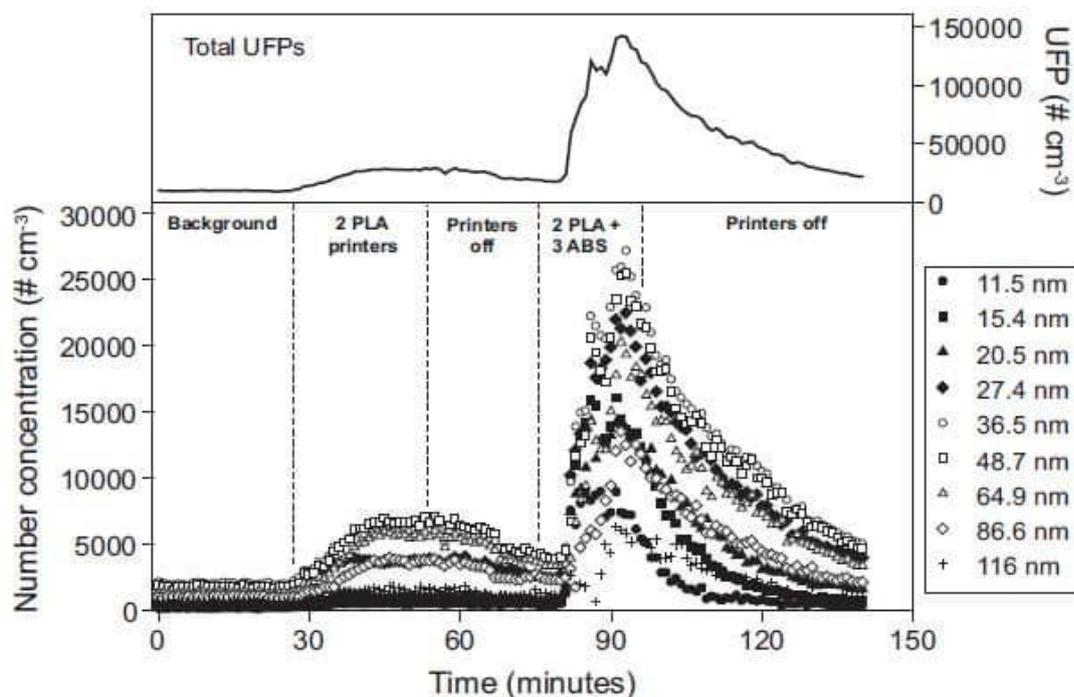


Рисунок 45 - Концентрации ультрадисперсных частиц (UFP) с разрешенным размером и общие (<100 нм) концентрации, измеренные в офисных помещениях во время кампании по отбору проб.

Интерпретация этих результатов может быть сложной, если вы не являетесь экспертом в этой области. Чтобы сделать это немного более интуитивно понятным, нужно сравнить эти значения с другими, более распространенными ситуациями. Эмиссия одного 3D-принтера с использованием исходного материала PLA составляет ( $1.9-2.0 \times 10^{10} \# \text{ min}^{-1}$ ). Что касается загрязнения UFP, это примерно похоже на непрерывное приготовление пищи на электрической сковороде ( $1.1-2.7 \times 10^{10} \# \text{ min}^{-1}$ ) без какой-либо вентиляции. При тестировании несколько марок материалов и 3D-принтеров. Можно сделать вывод, что 3D-печать FDM с PLA превышает стандарты безопасности, установленные Всемирной организацией здравоохранения: уровень формальдегида более  $0,1 \text{ мг/м}^3$  и уровень воздействия при вдыхании ацетальдегида (REL) более  $0,47 \text{ мг/м}^3$ .

Тот же 3D-принтер, использующий сырье ABS, излучает ( $1.8-2.0 \times 10^{11} \# \text{ min}^{-1}$ ), что похоже на приготовление пищи на гриле на газовых или электрических плитах при малой потребляемой мощности ( $1.2-2.9 \times 10^{11} \# \text{ min}^{-1}$ ). В соответствии с критериями, все 3D-принтеры, экспериментально

измеренные в этом исследовании, могут быть классифицированы как «высокопроизводительные» со скоростью излучения UFP более  $10^{10}$  частиц в минуту.

Химические вещества, которые выделяются при нагревании термопластов, являются известными или предполагаемыми раздражителями и канцерогенами, поэтому воздействие выбросов 3D-принтера должно быть сведено к минимуму. UFP пагубно влияют на здоровье человека. Это может, увеличить количество госпитализаций по поводу инсульта или вызвать симптомы астмы. Еще не все риски UFP хорошо известны и все еще изучаются.

### **5.9 Летучие органические соединения (ЛОС)**

ЛОС — это химические вещества с высоким давлением насыщенного пара при комнатной температуре. Это позволит им легко испаряться в воздухе. Сложность этих ЛОС заключается в том, что они не очень токсичны, а это означает, что возможные последствия для здоровья станут очевидными только через более длительный период времени. Это означает, что исследовать эти эффекты сложно: концентрации ЛОС обычно низкие, а симптомы, связанные с воздействием ЛОС, развиваются медленно.

Выбросы как PLA, так и ABS измеряются с помощью оценки воздействия. Микроскопия и химический анализ используются для определения высвобождаемых частиц. Печать PLA высвобождает частицы титана (рисунок 46). При 3D-печати с использованием ABS выделяются циклогексан, н-декан, тройной сополимер этилена, пропилена и диена, 1-деканол и изоциановая кислота.

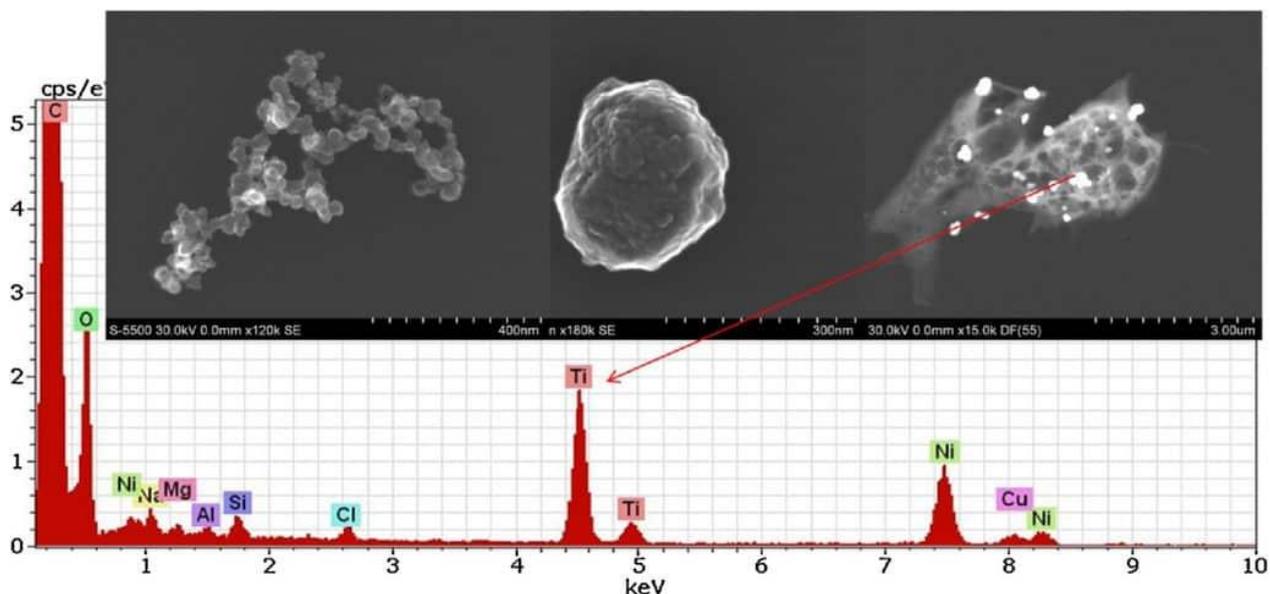


Рисунок 46 - Летучие органические соединения в PLA

### 5.10 Повышение безопасности при 3D-печати

Таблица 1 - Риски и методы их снижения при 3D-печати

Риски	Методы
<b>Повышайте осведомленность о рисках</b>	Следует проявлять осторожность при использовании обычного 3D-принтера. Сообщить потребителям о рисках и минимизировать время работы в непосредственной близости от 3D-принтера.
<b>Повысьте безопасность 3D-печати</b>	создать разрежение вокруг принтера FDM, которое будет выходить за пределы рабочей среды. Это позволит снизить, за счет воздушного потока, концентрации частиц.
<b>Минимизировать воздействие</b>	Использовать нижний предел рекомендуемой температуры печати, используемого материала. Использовать нити PLA, которые имеют более низкие выбросы UFP.

Потребители не осведомлены о рисках для здоровья, связанных с настольным 3D-принтером. Развитие настольной 3D-печати идет быстрыми темпами, но развитие безопасности 3D-печати отстает. Недавние исследования показывают, что настольные 3D-принтеры являются источниками высоких выбросов UFP и летучих органических соединений, которые связаны с серьезными рисками для здоровья. В настоящее время

существуют ограниченные официальные стандарты безопасности и инструкции по использованию и установке настольных 3D-принтеров, что означает, что риски для здоровья часто отсутствуют. Таким образом, самый безопасный и жизнеспособный вариант использования 3D-принтера — это направить частицы от пользователей, используя поток воздуха и разрежение.

## **Инструкция № \_\_\_\_\_**

### **по охране труда при работе с 3D–принтером**

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

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

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

- испарения пластика;
- температура;
- шум.

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

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

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

1.6. Обо всех выявленных во время работы неисправностях оборудования необходимо доложить руководителю, в случае поломки необходимо остановить работу до устранения аварийных обстоятельств. При

обнаружении возможной опасности предупредить окружающих и немедленно сообщить руководителю; содержать в чистоте рабочее место и не загромождать его посторонними предметами.

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

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

2.2. Проверить наличие и надёжность защитного заземления оборудования.

2.3. Проверить состояние электрического шнура и вилки.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3.7. Запрещается оставлять включенное оборудование без присмотра.

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

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

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

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

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

4.1. Отключить 3D–принтер от электросети, для чего необходимо отключить тумблер на задней части, а потом вытащить штепсельную вилку из розетки.

4.2. Снять и протереть столик 3D–принтера, остывший до комнатной температуры, чистой влажной тканью, либо промыть проточной водой и вытереть насухо. Установить столик обратно.

4.3. Убрать рабочее место. Обрезки пластика и брак убрать в отдельный пакет для переработки.

4.4. Тщательно проветрить помещение с 3D–принтером.» [16]

Вывод: работа на 3D-принтере должна осуществляться с соблюдением мер безопасности и правилами использования принтера.

## 6 Экономическое обоснование и эффективность проведения дипломной работы

Для того чтобы верно провести разработку стенда, необходимо организовать работу исполнителей, определить порядок проведения работ.

Обоснование дипломной работы определяется составлением плана работ, их последовательностью и трудоемкостью, а также в определении количества ответственных исполнителей и составлении графика выполнения работ. Для этого работы сформируем в этапы и стадии и составим таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Этапы проведения работ

№ стадии	Наименование стадии	№ этапа работ	Наименование этапа работ
I	II	III	IV
1	Обоснование темы исследования	1.1 1.2 1.3 1.4	Сбор информации по теме исследования; Составление обзора состояния вопроса по теме исследования; Предварительное технико-экономическое обоснование целесообразности проведения работы; Организационное обоснование стенда.
2	Теоретические исследования	2.1 2.2	Анализ исходных данных и источников информации; Составление частной методики для создания стенда;

Продолжение таблицы 6.1

		2.3	Теоретическое исследование ДВС, аддитивных технологий, материалов 3D-печати.
3	Разработка стенда ДВС, для лабораторных работ с использованием 3D - моделирования и аддитивных технологий	3.1 3.2 3.3 3.4	Разработка 3D-модели в САПР (КОМПАС-3D v19); Печать деталей стенда; Сборка стенда; Составление методического пособия для лабораторной работы;
4	Экономическая оценка стенда и безопасности жизнедеятельности по результатам работы	4.1 4.2 4.3	Расчет показателей экономической эффективности работы; Определение безопасности и экологичности технического объекта; Согласование результатов работы с руководителем дипломного проектирования.

После того, как составлен перечень работ, определяется время на их выполнение, количество исполнителей, а также длительность всех циклов выполнения каждого этапа и занесем результаты в таблицу 6.2

Таблица 6.2 - Этапы работы

№ этапа работ	Трудоемкость, чел/дни	Количество исполнителей	Длительность работ, дни
I	II	III	IV
1.1 Сбор информации по теме исследования;	5	1	5
1.2 Составление обзора состояния вопроса по теме исследования;	2	2	2
1.3 Предварительное технико-экономическое обоснование целесообразности проведения работы;	4	2	4
1.4 Организационное обоснование стенда.	4	1	4
2.1 Анализ исходных данных и источников информации;	2	2	2
2.2 Составление частной методики для создания стенда;	2	2	2
2.3 Теоретическое исследование ДВС, аддитивных технологий, материалов 3D-печати.	4	1	4

Продолжение таблицы 6.2

I	II	III	IV
3.1 Разработка 3D-модели в САПР (КОМПАС-3D v19); 3.2 Печать деталей станда; 3.3 Сборка станда; 3.4 Составление методического пособия для лабораторной работы;	8	1	8
4.1 Расчет показателей экономической эффективности работы;	2	2	2
4.2 Определение безопасности и экологичности технического объекта;	2	2	2
4.3 Согласование результатов работы с руководителем дипломного проектирования.	2	2	2

Таблица 6.3 – Исходные данные для расчета затрат на проведение НИР

Наименование затрат	Единицы измерения	Величина
1. Директивное время на дипломную работу	месяц	3
2. Среднемесячные оклады $Z_{итр.i}$		
- научный руководитель	руб.	35000
- студент	руб.	9100
3. Страховые взносы в фонды $K_{страх.}$ :		0,3
4. Стоимость 1 кВт/ч электроэнергии $\Pi_{эл.}$	руб.	4,32
5. Стоимость 1 кг PLA пластика	руб.	1300

В выполнении НИР принимали участие студент и руководитель, заработная плата которых рассчитывается, исходя из месячного оклада и количества времени, затраченного на НИР, представленные в таблице 6.3.

Таблица 6.4 – Заработная плата исполнителей

№ п/п	Должность	Количество исполнителей, чел.	Оклад, руб	Час. ставка, руб.	Количество отработанных часов, ч.	Сумма ЗП, руб.
1	Научный руководитель		35000	200	32	6400
2	Студент		9100	64	60	3840
ИТОГО					92	10240

Страховые взносы в фонды определяются в размере установленных процентов от общей суммы заработной платы руководителя.

$$Z_{страх.ф.} = Z_{зарпл.} \cdot K_{страх.} = 10240 \cdot 0,3 = 3072 \text{ рублей} \quad (6.1)$$

Затраты на электроэнергию определяются произведением часовой тарифной ставки на количество отработанных часов.

$$Z_{\text{эл.}} = C_{\text{эл.}} \cdot n = 4,32 \cdot 12,04 = 52 \text{ рублей} \quad (6.2)$$

Затраты на пластик определяются произведением массы детали на стоимость 1 кг пластика.

$$Z_{\text{пл.}} = C_{\text{пл.}} \cdot n = 1300 \cdot 1,35 = 1755 \text{ рублей}$$

Согласно проведенным расчетам, определяем суммарные затраты на выполнение работы и результаты сводим в таблицу 6.5

Таблица 6.5 – Суммарные затраты НИР

№ п/п	Наименование затрат	Сумма, руб.
1	Заработная плата исполнителей	10240
2	Страховые взносы в фонды	3072
3	Электроэнергия	52
4	Материалы (пластик+ крепёжные изделия+ подшипники)	1755+240+1200= =3195
	Итого	16559

Вывод: таким образом затраты на разработку стенда 3D-ДВС (заполнение 75%) с использованием технологии 3D-печати составили 16559 рублей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Аддитивные технологии, в целом, дают возможность производства мало затратных, общедоступных и широко применяемых деталей. Такой способ изготовления предметов весьма удобнее привычных нам методов производства. Удобство заключается в экономичном расходе материалов и средств, в минимальном затраченном времени и в практичности эксплуатации деталей, предназначенных для экспериментальных работ. Последнее заслуживает определенного внимания в данной работе, которая нацелена на изготовление стенда для проведения лабораторных работ, а он, в свою очередь, является объектом исследования в данной дипломной работе. Под стендом подразумевается модель силового агрегата автомобиля.

В ходе работы были изучены основы 3D-печати, которыми необходимо руководствоваться при работе, кроме того, изучена теоретическая часть и история создания и развития данной технологии. Также, были поэтапно изучены важнейшие принципы работы и устройства ДВС, основные составляющие силового агрегата автомобиля, а именно - двигатель, сцепление и коробка передач.

В настоящей дипломной работе конкретизируется направление исследования - конструкция ДВС. Главная задача данного механизма заключается в преобразовании тепловой энергии сгорания топлива в механическую энергию. На стенде можно подетально рассмотреть отдельные механизмы, для удобства они напечатаны на 3D принтере в разных цветах.

Таким образом, можно сделать вывод. С помощью напечатанного на 3D принтере стенда силового агрегата автомобиля, можно без особых усилий и лишних затрат, проводить на нем лабораторные, исследовательские и экспериментальные работы. Большим преимуществом использования именно такой технологии служит, прежде всего, экономия материальных средств, что немаловажно для любой организации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Electric Vehicles: Perspectives and Challenges [Электронный ресурс] / Nicola Armaroli, Filippo Monti, Andrea Barbieri. - Электрон. журн. — Florence: Firenze University Press, 2019.
2. Embracing Drones and 3D Printing in the Regulatory Framework. MRO Network. 10 January 2018.
3. Fleet Transition from Combustion to Electric Vehicles: A Case Study in a Portuguese Business Campus [Электронный ресурс] / Bruno Pinto, Filipe Barata, Constantino Soares, Carla Viveiros. - Электрон. журн. - Switzerland: Energies, 2020.
4. Harvard engineers create the first fully 3D printed heart-on-a-chip. 25 October 2016.
5. Modelling the Effect of Driving Events on Electrical Vehicle Energy Consumption Using Inertial Sensors in Smartphones [Электронный ресурс] / David Jiménez, Sara Hernández, Jesús Fraile-Ardanuy, и др. - Электрон. журн. - Switzerland: MDPI AG, 2018.
6. Nerush YM Transport logistics: textbook. for Acad. bachelor / Yu. M. Nerush, S. V. Sarkisov, 2016.
7. Pia, G. Pistons and engine testing [Text]/G.Pia.-Springer Vieweg, 2016.— P.295
8. Regulations Hinder Development of Driverless Cars [Электронный ресурс]: новости The New York Times
9. Аддитивное производство - Общие принципы - Терминология. ISO / ASTM 52900: 2015
10. Азими, Пархэм; Чжао, Дан; Пузе, Клэр; Crain, Neil E.; Стивенс, Брент (2 февраля 2016 г.). «Выбросы сверхмелкозернистых частиц и летучих органических соединений из имеющихся в продаже настольных трехмерных принтеров с несколькими нитями. Наука об окружающей среде и технологии.» 50 (3): 1260–1268. ISSN 0013-936X. PMID 26741485.

11. Б. Зелински, «Аддитивные изготовление и 3D печать две разные вещи»
12. Безопасна ли 3D-печать. Американская ассоциация промышленной гигиены. 3 мая 2017.
13. Безопасность 3D-печати» (PDF). Здоровье и безопасность окружающей среды Университета Карнеги-Меллона.
14. Джейн Берд (8 августа 2012 г.). «Изучение возможностей 3D-печати». FinancialTimes.
15. Европейское агентство по безопасности и охране здоровья (7 июня 2017 г.). «3D-печать и мониторинг рабочих: новая промышленная революция?».
16. Инструкция по безопасности и эксплуатации <https://3dtoday.ru/blogs/kirillll/instruction-on-labor-protection-when-working-with-the-3d-printer/>
17. Лам, Хьюго К.С.; Дин, Ли; Чжоу, Хонгэн (1 января 2019 г.). «Влияние внедрения 3D-печати на доходность акций: перспектива случайных динамических возможностей». Международный журнал операций и управления производством. 39(6/7/8): 935–961. DOI: 10,1108 / IJOPM-01-2019-0075. ISSN 0144-3577.
18. М. Ленстер, Вещи проходят мимо, в «Земля в опасности» (изд. Д. Воллхейма). Ace Books 1957, США, List\_of\_Ace\_SF\_double\_titles D-205, стр. 25, Standard Magazines Inc.
19. Меры контроля, важные для 3D-принтеров». Раунды исследований NIOSH. Национальный институт безопасности и гигиены труда США. Июнь 2016.
20. Мэтьюз, Ричард. «Предлагаемые новые правила для медицинских устройств, напечатанных на 3D-принтере, должны развиваться».
21. Немецкое социальное страхование от несчастных случаев (DGUV): R. Beisser, M. Buxtrup, D. Fendler, L. Hohenberger, V. Kazda, Y. vonMering, H. Niemann, K. Pitzke, R. Weiss: Вдыхание металлов в аддитивных процессах

(3D-печать). Gefahrstoffe - Reinhalt. Люфт 77 (2017) № 11/12.  
([https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2018\\_148.pdf](https://www.dguv.de/medien/ifa/de/pub/grl/pdf/2018_148.pdf))

22. Патент JP: S56-144478 - устройство для производства трехмерных фигур», выдан 10 ноября 1981 г.

23. Пелли, Джанет (26 марта 2018). «Выбросы трехмерных принтеров вызывают беспокойство и требуют оперативного контроля». Новости химии и машиностроения. 96 (13). ISSN 1520-605X. OCLC 244304576

24. После взрыва OSHA Министерства труда США ссылается на фирму по трехмерной печати, которая подвергала рабочих воздействию горючего металлического порошка и опасности поражения электрическим током». Администрация США по охране труда. 20 мая 2014.

25. Профессиональное воздействие углеродных нанотрубок и нановолокон». Национальный институт безопасности и гигиены труда США. 2013. DOI: 10,26616 / NIOSHPUB2013145.

26. Рот, Гэри А.; Стефаняк, Александр; Мурашов, Владимир; Ховард, Джон (4 мая 2019 г.). «Потенциальные профессиональные риски аддитивного производства». Журнал гигиены труда и окружающей среды. 16 (5): 321–328. DOI: 10.1080 / 15459624.2019.1591627. ISSN 1545-9624. PMC 6555134. PMID 30908118.

27. Рот, Гэри А.; Стефаняк, Александр; Мурашов, Владимир; Ховард, Джон (2 апреля 2019 г.). «Потенциальные опасности аддитивного производства». Научный блог NIOSH.

28. Слюсар, В. И. Фаббер-технологии: сам себе конструктор и фабрикант // Конструктор : журн. — 2002. — № 1.

29. Термодинамика: инженерный подход Юнуса А. Ценгала и Майкла А. Болеса

30. Туркевич, Леонид А.; Фернбэк, Джозеф; Остерберг, Пол (1 мая 2016 г.). «Потенциальная взрывоопасность углеродных наночастиц: отсеивание аллотропов». Горение и пламя. 167: 218–227. DOI: 10.1016 / j.combustflame.2016.02.010. PMC 4959120. PMID 27468178.

31. Учебный курс: Аддитивное производство. [tmg-muenchen.de](http://tmg-muenchen.de)

32. Хидео Кодама, "Автоматический метод изготовления трехмерной пластмассовой модели с фотоотверждающимся полимером", *Review of Scientific Instruments*, Vol. 52, No. 11, pp. 1770–73, ноябрь 1981 г.

33. Хидео Кодама, «Предпосылки моего изобретения 3D-принтера и его распространения», Патентный журнал Ассоциации патентных поверенных Японии, голос 67, номер 13, стр.109-118, ноябрь 2014 г.

34. Хидео Кодама, «Схема трехмерного отображения путем автоматического изготовления трехмерной модели», «Транзакции IEICE по электронике» (японское издание), том. J64-C, № 4, стр. 237–41, апрель 1981 г.

35. Эллы, Ричард (26 февраля 2019). «3D-печать: сначала прочтите это здесь».

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Фотографии стенда

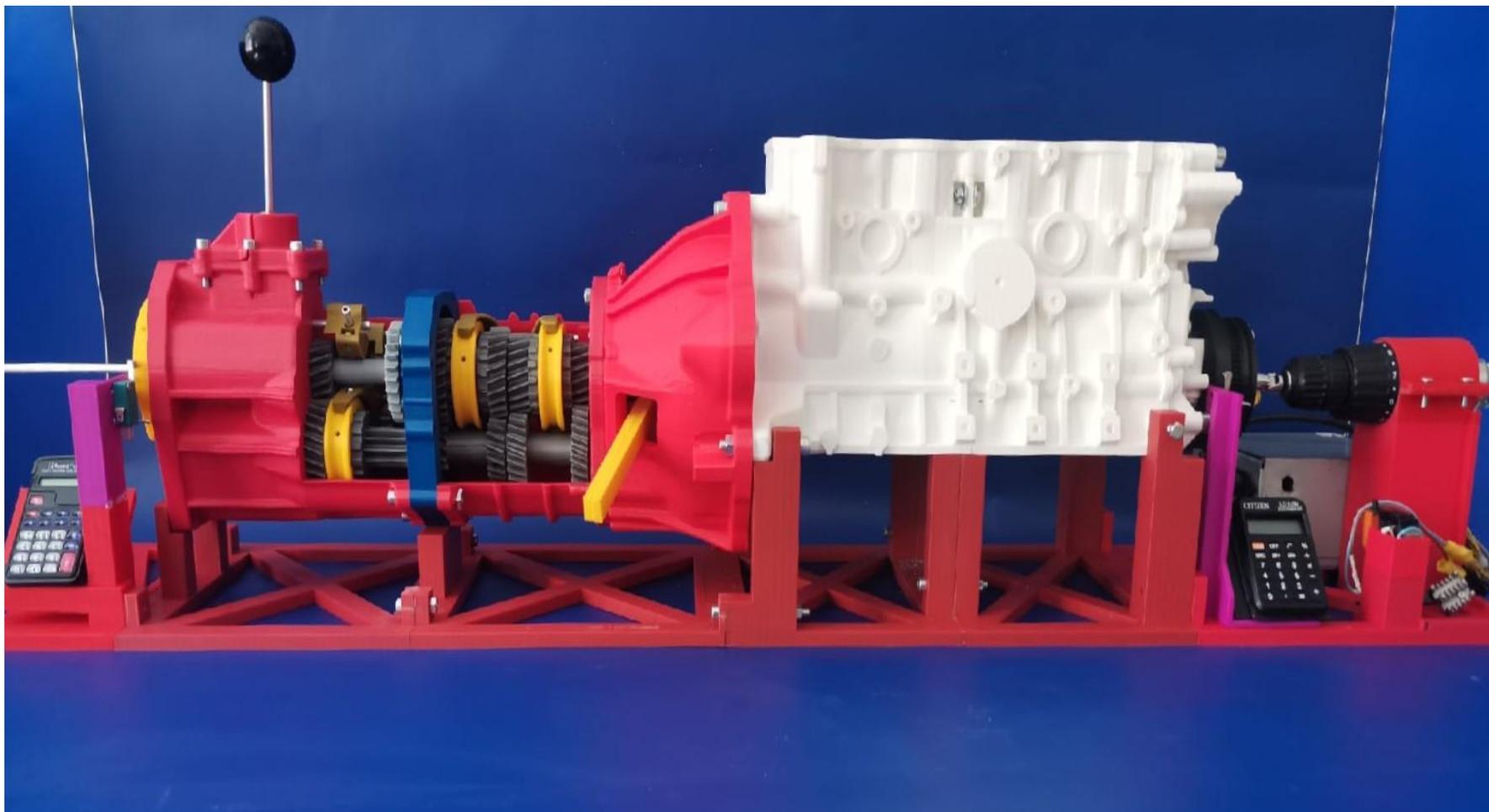


Рисунок А.1 – Стенд в сборе, вид сбоку

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А

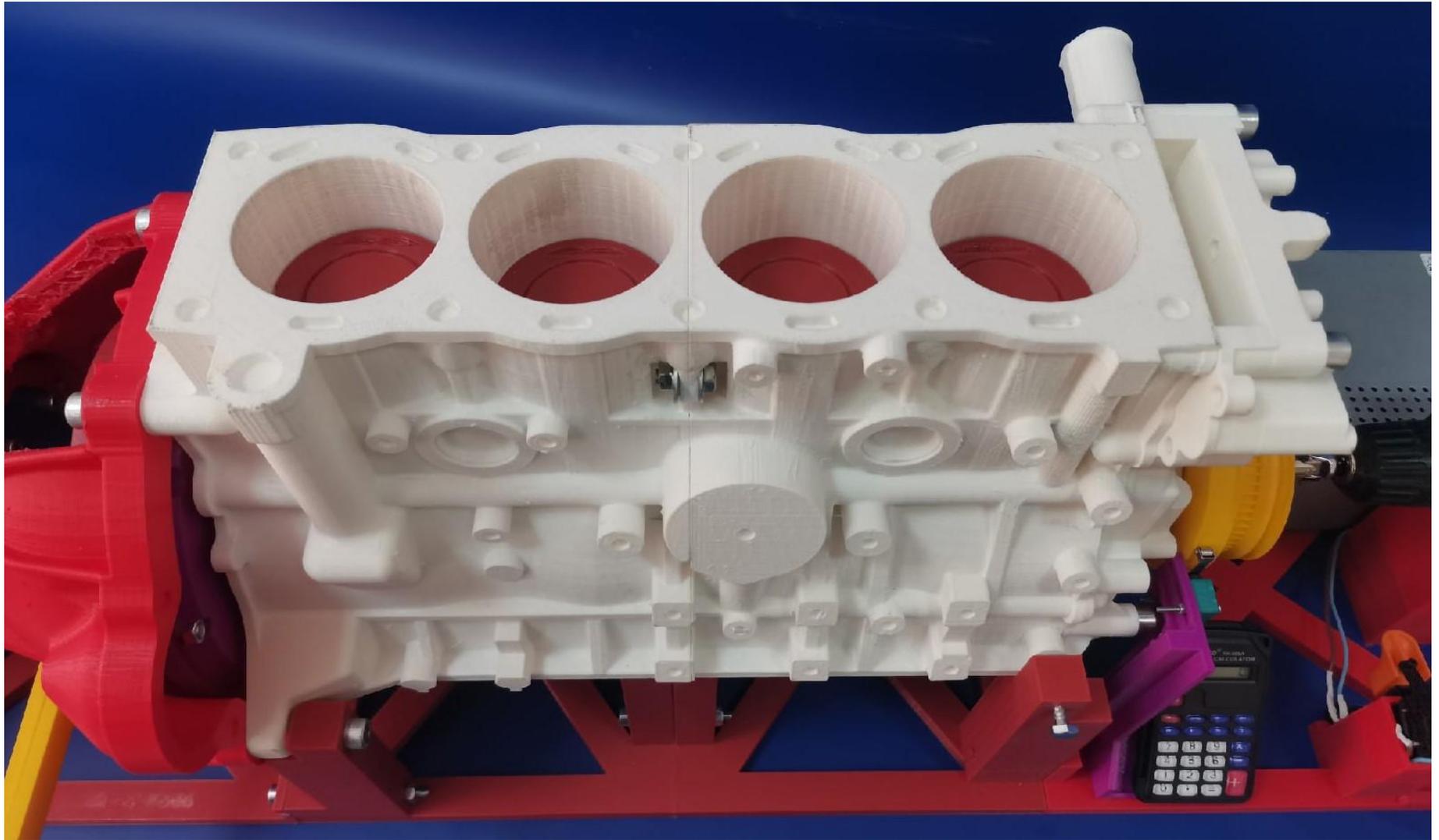


Рисунок А.2 – Блок цилиндров и поршни, вид сверху и сбоку

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ А



Рисунок А.3 – Кривошипно-шатунный механизм в сборе