

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)

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Проектирование и эксплуатация автомобилей с гибридными силовыми установками

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Разработка виртуальной лабораторной работы «Определение кинематических характеристик подвески типа «McPherson»

Обучающийся

М.В. Овечкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

доцент, канд. техн. наук, А.В. Зотов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультант

доцент, канд. филолог. наук, Н.В. Ященко

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Название выпускной квалификационной работы: «Разработка виртуальной лабораторной работы «Определение кинематических характеристик подвески типа «McPherson».

Выпускная квалификационная работа (ВКР) состоит из введения, 4 разделов, 43 рисунков, 5 таблиц, заключения и списка используемой литературы.

Целью данной ВКР является создание методики разработки виртуальной лабораторной работы.

Объектом ВКР является рассмотрение основных принципов работы подвески типа «МакФерсон».

Предметом ВКР является разработка программного обеспечения для моделирования и анализа кинематических характеристик подвески. Предлагаемая виртуальная лабораторная работа позволит студентам углубить свои знания в области автомобильной подвески и приобрести практические навыки работы с современными инженерными инструментами.

Введение определяет цель и актуальность работы, обосновывая ее важность. Первый раздел посвящён обзору конструкции, теоретической части о подвесках автомобилей и детально о подвеске типа «МакФерсон». Во втором разделе производится сравнительный анализ автомобильных подвесок. Третий раздел представляет собой 3D-моделирование стенда. Раздел 4 представляет собой методическое пособие по проведению лабораторной работы на основе разработанного стенда. В заключении подводятся итоги выпускной квалификационной работы. Список используемой литературы содержит информацию об источниках, на которых основана работа.

Работа представляет интерес для широкого круга читателей, в особенности студентам и специалистам в области автомобильной техники, которые проводят практические исследования на компьютере.

Abstract

The title of the graduation work is Development of a Virtual Laboratory Work 'Determination of Kinematic Characteristics of a "MacPherson" Strut Suspension.

The graduation work consists of an introduction, 4 sections, 43 figures, 5 tables, a conclusion, and a list of references.

The aim of this graduation work is to develop a methodology for creating virtual laboratory work.

The object of the graduation work is an examination of the fundamental principles of the MacPherson strut suspension.

The subject of the graduation work is the development of software for modeling and analyzing the kinematic characteristics of the suspension. The proposed virtual laboratory work will allow students to deepen their knowledge in the field of automotive suspension systems and acquire practical skills in working with modern engineering tools.

The introduction outlines the purpose and relevance of the work, justifying its importance. The first section provides an overview of suspension design, theoretical principles of automotive suspensions, and a detailed analysis of the MacPherson strut suspension. The second section presents a comparative analysis of different automotive suspension systems. The third section focuses on 3D modeling of the test bench. Section 4 provides a methodological guide for conducting the laboratory work based on the developed test bench. The conclusion summarizes the key findings of the graduation thesis. The list of references includes all sources used in the research.

This work is of interest for wide circle of readers, particularly students and professionals in the field of automotive engineering who conduct computer-based practical research.

Содержание

Введение.....	6
1 Независимые подвески автомобилей: McPherson.....	8
1.1 Подвеска автомобиля. Общие сведения	8
1.2 Классификация подвесок	9
1.3 Подвеска типа «МакФерсон».....	10
1.4 Принцип работы и устройство подвески МакФерсон.....	12
1.5 Преимущества и недостатки подвески МакФерсон	14
1.6 Кинематические параметры подвески	15
2 Сравнительный анализ подвесок автомобиля.....	17
2.1 Выбор наиболее значимых технологических параметров подвесок для комплексного анализа.....	17
2.2 Подбор моделей подвесок для проведения анализа на основе информации из доступных источников	17
2.3 Выбор наиболее перспективного прототипа.....	23
3 3D-моделирование подвески в САД-системе КОМПАС 3D.....	28
3.1 Подготовка к сканированию	28
3.2 Сканирование	34
3.3 Моделирование в КОМПАС 3D	39
4 Методические указания к лабораторной работе «Определение кинематических характеристик подвески типа «МакФерсон»»	47
4.1 Цель работы	47
4.2 Теоретическая часть.....	47
4.3 Программа работы	49
4.4 Описание Лабораторной установки	49
4.5 Принцип работы стенда.....	50
4.6 Указания и пояснения к выполнению работы	54
4.7 Содержание отчёта.....	55
4.8 Вопросы для самоконтроля.....	55

Заключение	56
Список используемой литературы	57

Введение

«Современный автопром постоянно ставит перед инженерами сложные задачи, связанные с улучшением управляемости, комфорта и безопасности транспортных средств. Одним из ключевых факторов, определяющих эти характеристики, является конструкция подвески. Именно она во многом влияет на поведение автомобиля на дороге, поэтому её грамотная настройка и оптимизация крайне важны как для производителей, так и для потребителей» [15].

«Сегодня 3D-моделирование стало неотъемлемой частью различных сфер деятельности, включая машиностроение, архитектуру, медицину и индустрию развлечений. Эта технология позволяет создавать цифровые прототипы, проводить виртуальные тесты и оптимизировать процессы проектирования. Благодаря развитию вычислительных технологий появилась возможность исследовать параметры подвески без изготовления физических образцов. Виртуальные лаборатории становятся эффективным инструментом как для обучения, так и для прикладных исследований в автомобилестроении.» [17].

«Традиционные лабораторные стенды, безусловно, полезны в учебном процессе, однако они требуют значительных затрат, занимают много места и не всегда доступны для всех студентов. В отличие от них, виртуальные лабораторные работы, основанные на компьютерном моделировании, предоставляют альтернативу – интерактивную цифровую среду для экспериментов. Такой подход обладает рядом преимуществ: доступностью, гибкостью и возможностью многократного повторения опытов» [17].

Целью данной работы является создание виртуального лабораторного стенда для анализа кинематических характеристик подвески автомобиля. В качестве объекта исследования выбрана «подвеска типа «МакФерсон» – распространённая конструкция, изучение которой играет важную роль в проектировании ходовой части автомобиля» [20].

В рамках бакалаврской работы решаются следующие задачи:

- изучить теоретические основы работы автомобильных подвесок и методы экспериментального исследования их характеристик;
- разработать модель лабораторного стенда для определения углов развала и схождения передней подвески;
- создать программное обеспечение для виртуальной лабораторной работы, включающее графический интерфейс и модуль имитации работы подвески;
- провести тестирование и оценить эффективность разработанного решения.

«В ходе исследования рассматриваются принципы работы подвески типа «МакФерсон», разрабатывается ПО для моделирования и анализа её кинематики, а также проводятся практические эксперименты в виртуальной среде.

Результаты работы могут быть полезны как студентам и преподавателям, изучающим автомобильную технику, так и специалистам в области автомобилестроения, желающим углубить свои знания и получить практические навыки в анализе и настройке подвесок» [20].

1 Независимые подвески автомобилей: McPherson

Подвеска автомобиля. Общие сведения

«Подвеска автомобиля – это сложная и многокомпонентная система, которая играет ключевую роль в обеспечении комфорта, управляемости и безопасности во время движения. Она состоит из множества компонентов, таких как пружины, амортизаторы, рычаги и стабилизаторы поперечной устойчивости» [1], каждый из которых выполняет свою функцию для смягчения ударов и вибраций, возникающих при движении по неровной дороге. Основные функции подвески включают обеспечение комфорта за счет поглощения ударов и снижения уровня шума, передаваемого от дороги в салон автомобиля, улучшение управляемости путем поддержания контакта колес с дорогой и обеспечения стабильности при рулении, повышение безопасности через равномерное распределение веса автомобиля и улучшение тормозных характеристик, а также поддержание «геометрии колес для равномерного износа шин и эффективного управления.

Основные компоненты подвески включают в себя пружины, поглощающие удары, обеспечивая комфортную езду, амортизаторы, гасящие колебания и предотвращающие чрезмерное раскачивание автомобиля, рычаги, соединяющие колеса с кузовом и обеспечивающие их правильное положение и движение, и стабилизаторы поперечной устойчивости, уменьшающие крен автомобиля при прохождении поворотов и улучшающие управляемость и устойчивость» [1].

Современные автомобили часто оснащаются активными или полуактивными системами подвески, которые автоматически регулируют жесткость амортизаторов в зависимости от условий дороги и стиля вождения, используя датчики и электронные системы управления для настройки параметров подвески в реальном времени. Это позволяет

адаптировать подвеску к различным дорожным условиям и стилям вождения, обеспечивая оптимальный комфорт и управляемость.

Подвеска автомобиля играет ключевую роль в обеспечении безопасности и комфорта, и её правильное функционирование критически важно для общего состояния автомобиля. Регулярное обслуживание и проверка подвески поддерживают её в хорошем состоянии и обеспечивают безопасность и комфорт во время движения, а также продляют срок службы автомобиля и улучшают его общую производительность.

Классификация подвесок

«Подвески можно разделить на две основные категории: зависимые и независимые.

Зависимые подвески характеризуются тем, что колеса на одной оси связаны между собой жесткой балкой или осью, это означает, что движение одного колеса влияет на другое» [1]. Они могут использовать листовые рессоры, винтовые пружины или комбинацию этих элементов вместе с амортизаторами и часто встречаются в грузовых автомобилях, внедорожниках и старых моделях автомобилей благодаря своей простоте и надежности.

Независимые подвески позволяют каждому колесу на оси двигаться независимо от других, улучшая управляемость и комфорт, так как каждое колесо может адаптироваться к неровностям дороги индивидуально. Они часто используются в передней части современных автомобилей и могут включать различные конструкции, такие как подвеска МакФерсон, двойные поперечные рычаги и многорычажные системы. Рассмотрим каждую из них немного подробнее:

- подвеска МакФерсон – одна из самых распространенных передних подвесок, сочетающая амортизатор и пружину в одном блоке, простая

в конструкции и обеспечивающая хороший баланс между комфортом и управляемостью;

- «система двойных поперечных рычагов использует два рычага для крепления колеса, позволяя более точно контролировать его движение и обеспечивая лучшую управляемость и устойчивость, но требуя больше места;
- многорычажная подвеска использует несколько рычагов для крепления колеса, что позволяет еще более точно контролировать его движение и обеспечивает отличную управляемость и комфорт» [2].

Зависимые подвески просты и надежны, но менее комфортны по сравнению с независимыми, которые обеспечивают лучший комфорт и управляемость, но могут быть более сложными и дорогими в производстве и обслуживании.

Подвеска типа «МакФерсон»

Эрл С. МакФерсон был назначен главным инженером проекта Chevrolet Light Car в 1945 году. Он был ответственен за разработку нового, более компактного автомобиля для послевоенного рынка, что привело к созданию Chevrolet Cadet.

Cadet был готов стать прорывным автомобилем, и три прототипа, построенные к 1946 году, демонстрировали широкий спектр инноваций. Одной из них была революционная новая независимая подвеска, включающая то, что сейчас известно как стойка Макферсон. Cadet должен был стать первым серийным автомобилем со стойками МакФерсон, но проект был отменен в 1947 году и никогда не пошел в коммерческое производство. Это было в значительной степени из-за опасений GM относительно прогнозируемых марж прибыли Cadet. После того, как проект Cadet был отложен, разочарованный МакФерсон покинул GM, чтобы присоединиться к Ford. Патенты были поданы в 1947 году (U.S. patent

2,624,592 для GM) и в 1949 году (U.S. patent 2,660,449 для Ford), причем последний патент цитирует разработки Guido Fornaca из FIAT в середине 1920-х годов.

Новый дизайн стойки МакФерсон мог быть вдохновлен и другими более ранними разработками. Подвеска стойки предвоенного Stout Scarab могла быть влиянием, и длинноходовые стойки в шасси самолетов были хорошо известны к тому времени. Французский Cottin-Desgouttes использовал аналогичный дизайн, хотя и с менее сложными листовыми рессорами, но передняя подвеска Cottin-Desgouttes, в свою очередь, была вдохновлена дизайном 1904 года американского инженера J. Walter Christie.

МакФерсон разработал стойку для всех четырех колес, но обычно она используется только для передней подвески, где «она обеспечивает поворотный шарнир рулевого управления, а также крепление подвески для колеса. Первым серийным автомобилем, использующим стойки МакФерсон, часто ошибочно называют французский Ford Vedette 1949 года, но он был разработан до МакФерсон с независимой передней подвеской на основе рычагов и верхней винтовой пружины» [2]. Только в 1954 году, после того как завод Vedette был куплен Simca, переработанный Simca Vedette перешел на использование передних стоек.

«К сороковым годам 20-го века была изобретена независимая подвеска на двойных поперечных рычагах, которая за счет своей универсальной функциональности снискала популярность у инженеров того времени» [2]. Выбирая геометрию размещения рычагов, была возможность жёстко настраивать её установочные параметры, что позволяло подстраивать её под ту местность, где будет эксплуатироваться автомобиль. В те же года группа инженеров трудилась «над созданием нового бюджетного автомобиля Chevrolet, среди них был Эрл Стили МакФерсон. На прототип этого автомобиля, который назывался Cadet, он предложил установить усовершенствованный вариант подвески на двойных поперечных рычагах. Усовершенствование заключалось в замене верхнего рычага с шаровой

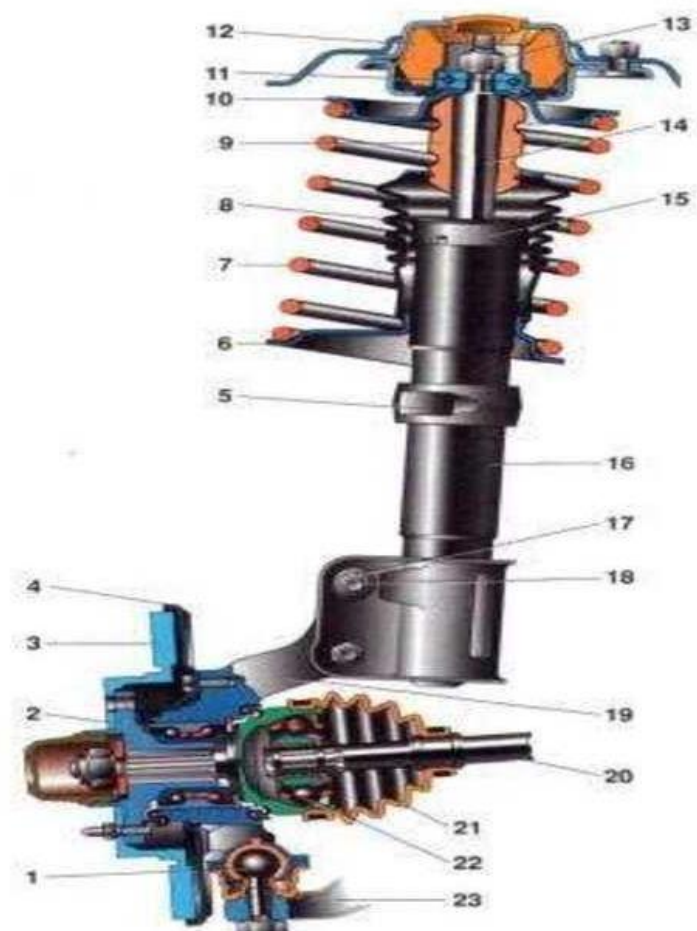
опорой и амортизатора на амортизаторную стойку, которая сочленялась с поворотным шарниром, закрепленном на брызговике. В результате конструкция получалась более компактной, легкой и имеющей меньше деталей, чем подвеска на двойных поперечных рычагах» [3].

Хотя «разработка модели Cadet была свёрнута, в компании Ford отнеслись к новой подвеске с большим вниманием. Первым серийным автомобилем, на котором использовалась подвеска МакФерсона, стал Ford Vedette 1948 года выпуска. Также впоследствии эта подвеска устанавливалась на модели Ford Zephyr и Ford Consul. Затем этот вид подвески с некоторыми доработками стали устанавливать на модели других производителей. Широкое применение подвеска МакФерсона получила в 1970-х годах» [3]. Opel Senator, практически весь модельный ряд BMW второй половины 70-х — начала 90-х годов и другие, а также многие американские модели. Audi 100, в восьмидесятые годы подвеска «МакФерсон» стала использоваться и на больших и сравнительно дорогих автомобилях.

Принцип работы и устройство подвески МакФерсон

«В подвеске МакФерсона каждое колесо самостоятельно справляется с ударами и кочками на дороге. На данный момент это самый популярный вариант для переднеприводных автомобилей» [5].

В совокупности узлов и деталей выделяют главные составляющие подвески МакФерсона на автомобиле (рисунок 1).



«1 – шаровая опора, 2 – ступица, 3 – тормозной диск, 4 – защитный кожух, 5 – поворотный рычаг, 6 – нижняя опорная чашка, 7 – пружина подвески, 8 – защитный чехол телескопической стойки, 9 – буфер сжатия, 10 – верхняя опорная чашка, 11 – подшипник верхней опоры, 12 – верхняя опора стойки, 13 – гайка штока, 14 – шток, 15 – опора буфера сжатия, 16 – телескопическая стойка, 17 – гайка, 18 – эксцентриковый болт, 19 – поворотный кулак, 20 – вал привода переднего колеса, 21 – защитный чехол шарнира, 22 – наружный шарнир вала, 23 – нижний рычаг» [5].

Рисунок 1 – Схема подвески

Стойка МакФерсон использует рычаг или значительную компрессионную связь, стабилизированную вторичной связью, которая обеспечивает точку крепления для ступицы или оси колеса. Нижняя система рычагов обеспечивает как боковое, так и продольное расположение колеса. Верхняя часть ступицы жестко закреплена на нижней части внешней части стойки. Она скользит вверх и вниз по внутренней части, которая простирается вверх непосредственно к креплению в кузове автомобиля. Линия от верхнего крепления стойки до нижнего шарового шарнира на

рычаге управления дает наклон оси рулевого управления. Ось стойки может быть наклонена внутрь от оси рулевого управления вниз, чтобы освободить место для шины, что заставляет низ следовать по дуге при рулении.

«Стойка МакФерсон выиграла от внедрения конструкции несущего кузова, так как ее конструкция требует значительного вертикального пространства и прочного верхнего крепления, которые может обеспечить конструкция несущего кузова» [6]. Конструкция несущего кузова также распределяет напряжения подвески.

Стойка обычно несет как винтовую пружину, на которой подвешен кузов, так и амортизатор, который обычно выполнен в виде картриджа, установленного внутри стойки. Стойка также может иметь рулевой рычаг, встроенный в нижнюю внешнюю часть. Вся сборка очень проста и может быть предварительно собрана в блок. Кроме того, устранение верхнего рычага управления позволяет увеличить ширину моторного отсека, что полезно для небольших автомобилей, особенно с поперечно установленными двигателями, как у большинства автомобилей с передним приводом. Сборка может быть дополнительно упрощена, если необходимо, путем замены стабилизатора поперечной устойчивости на радиусный рычаг. По этим причинам она стала почти повсеместной у производителей с низкой стоимостью. Кроме того, она предлагает простой метод установки геометрии подвески.

Многие современные версии заменяют нижний рычаг управления на рычаг. Стабилизатор поперечной устойчивости является необязательным и, если присутствует, крепится шарнирным стержнем к пружине-амортизатору или шарнирным или эластомерным стержнем к рычагу.

Преимущества и недостатки подвески МакФерсон

Плюсы подвески:

- малая масса поддрессоренных элементов,

- относительная дешевизна изготовления,
- лучшая компенсация сил реакции дороги,
- «упорный подшипник качения, нижний рычаг и шаровой шарнир обладают большим запасом износостойкости» [7].

Минусы подвески:

- «подвеска МакФерсон обладает большими ходами подвески, чем та же конструкция с двойными поперечными рычагами, а это негативно сказывается на управляемости автомобилем;
- передача сил реакции от дороги тут приходится на брызговик крыла, который является не самой надежной конструкцией;
- неразборная конструкция современных амортизационных стоек;
- ухудшение работы подвески из-за возникающего между штоком и направляющей трения;
- низкий уровень изоляции от шумов, исходящих от дорожного покрытия;
- худшая, чем у подвески с двойными поперечными рычагами, компенсация продольного крена» [7].

Кинематические параметры подвески

Кинематические параметры подвески автомобиля играют ключевую роль в определении его управляемости, комфорта и общей производительности. Кинематика подвески включает в себя изучение движения колес и их взаимодействие с кузовом автомобиля, что позволяет инженерам оптимизировать конструкцию подвески для достижения наилучших характеристик. Основные кинематические параметры:

- «угол развала (Camber Angle) – это угол наклона колеса относительно вертикальной оси. Изменение угла развала при крене

автомобиля может влиять на сцепление шин с дорогой и, следовательно, на управляемость.

- угол схождения (Toe Angle) – это угол между продольной осью автомобиля и плоскостью вращения колеса. Изменение угла схождения может влиять на устойчивость автомобиля при движении по прямой и в поворотах.
- угол кастера (Caster Angle) – это угол продольного наклона оси поворота колеса относительно вертикали, если смотреть на автомобиль сбоку. Он влияет на устойчивость автомобиля на прямой, самоцентрирование руля и управляемость» [8].

Кинематические параметры подвески могут значительно влиять на производительность автомобиля. Например, изменение положения точек крепления верхних рычагов подвески может позволить автомобилю двигаться быстрее в поворотах за счет улучшения управляемости и устойчивости. Однако такие изменения могут также влиять на другие аспекты поведения автомобиля, такие как комфорт и износ шин.

Для оптимизации кинематических параметров подвески часто используются методы моделирования и симуляции. Например, моделирование четверти автомобиля позволяет инженерам анализировать динамическое поведение подвески и прогнозировать усталостную долговечность её компонентов. Это помогает определить оптимальные параметры, такие как жесткость пружин, коэффициенты демпфирования, жесткость шин и подрессоренная масса.

«В качестве вывода по главе можно отметить высокую актуальность разработки виртуальной лабораторной работы по определению кинематических характеристик подвески МакФерсон, а именно углы развала и схождения» [8].

Сравнительный анализ подвесок автомобиля

Выбор наиболее значимых технологических параметров подвесок для комплексного анализа

«Для достижения высокой степени достоверности аналитических исследований необходимо выбрать не менее 5-6 наиболее значимых характеристик. Значимость каждой характеристики определяется для каждого типа подвески в отдельности и в каждой конкретной ситуации может быть разной» [9].

Основные показатели подвесок:

- стоимость производства,
- вес,
- сложность конструкции,
- надежность,
- комфорт и плавность хода,
- настройка и адаптивность.

Подбор моделей подвесок для проведения анализа на основе информации из доступных источников

«На современном уровне технологического и экономического развития на рынке производственного оборудования для предприятий автомобильного транспорта имеется множество предложений автосервисного оборудования, различающихся по ценовым категориям, эксплуатационным и технологическим требованиям, а также уровнем характеристик качества и надежности.

Для анализа подвесок используем доступные материалы сети «Интернет», сайты компаний, специализирующихся на производстве автомобильных подвесок, электронные версии учебников из ЭБС ТГУ,

каталоги оборудования и т.д.

Подберем несколько подходящих для наших целей моделей подвесок.»
[9], начнём с подвески типа «МакФерсон» (рисунок 2).



Рисунок 2 – Подвеска «МакФерсон»

Разберём наиболее значимые параметры:

Стоимость производства: обычно ниже по сравнению с другими типами подвесок благодаря своей простоте и меньшему количеству компонентов. Это делает её популярной для массового производства автомобилей среднего и низкого ценового сегмента. Усреднённая стоимость на рынке около 70000 рублей. Переведём в десятибалльную шкалу условного оценивания для удобства, где 10 – это 0 рублей, а 1 – самая высокая стоимость из диапазона цен на серийные автомобильные подвески на рынке, 220000 рублей. Данные числовые значения указаны примерно, так как из-за множества факторов невозможно точно назвать среднее значение цен на автомобильные подвески. Итого 7,1/10.

Вес: обычно легче по сравнению с другими типами подвесок благодаря своей упрощенной конструкции. Например, общий вес элементов ниже по сравнению с системой на двух рычагах, примерно 8 кг. По аналогии со стоимостью производства, переведем в десятибалльную шкалу, где 10 – это 0кг, а 1 одно из наибольших значений веса из диапазона на серийные автомобильные подвески на рынке - 20кг. Соответственно, получаем 6,4/10.

Сложность конструкции: Самая простая среди рассматриваемых типов подвесок. Она состоит из одного нижнего рычага и амортизационной стойки, что делает её более компактной и легкой в производстве и обслуживании. Эта простота также способствует её популярности в массовом производстве автомобилей среднего и низкого ценового сегмента. Для возможности сравнения дадим оценку по десятибалльной шкале, где 10 – это недостижимый идеал, а 1 – максимальная условная сложность конструкции, 9/10.

Надёжность: подвеска МакФерсон известна своей надёжностью и долговечностью благодаря простоте конструкции и меньшему количеству компонентов, что снижает вероятность поломок. Она имеет увеличенный ресурс верхних опор стоек за счет усиленных брызговиков. Для того, чтобы впоследствии сравнить подвески, так же будем использовать десятибалльную шкалу оценивания, где 10 – это недостижимый идеал, а 1 – максимальная условная ненадёжность конструкции, 8/10.

Комфорт и плавность хода: подвеска МакФерсон обеспечивает средний уровень комфорта и плавности хода. Однако, вибрации при езде по некачественному дорожному покрытию сильнее передаются на кузов автомобиля, чем при конкурирующих вариантах - 5/10.

Настройка и адаптивность: подвеска МакФерсон имеет ограниченные возможности настройки из-за своей простой конструкции. Она состоит из одного нижнего рычага и амортизационной стойки, что делает её менее гибкой в плане регулировок - 5/10.

Продолжим рассматривать подходящие модели подвесок, следующая -

подвеска на двойных поперечных рычагах (рисунок 3).



Рисунок 3 – Подвеска на двойных поперечных рычагах

Стоимость производства: более высокая по сравнению с подвеской МакФерсон из-за более сложной конструкции и большего количества компонентов. Такие подвески часто используются в автомобилях высокого класса, спортивных и представительских моделях, где важны точность управления и комфорт. Усреднённое значение около 130000 рублей. Переведём в десятибалльную шкалу – 4,7/10.

Вес: более тяжелая по сравнению с подвеской МакФерсон из-за наличия двух рычагов и более сложной конструкции. Вес примерно 12кг. В десятибалльной шкале это 4,6/10.

Более сложная по сравнению с подвеской МакФерсон. Она включает два рычага (верхний и нижний), что увеличивает её сложность, но обеспечивает лучшую управляемость и комфорт. Такие подвески часто используются в автомобилях высокого класса, спортивных и представительских моделях. По десятибалльной шкале - 6/10.

Надёжность: подвеска на двойных поперечных рычагах также

считается надежной, но её конструкция более сложная, что может увеличивать вероятность поломок по сравнению с подвеской МакФерсон. Она обеспечивает лучшую управляемость и комфорт, но требует более тщательного обслуживания, поэтому 7/10.

Комфорт и плавность хода: Подвеска на двойных поперечных рычагах обеспечивает лучшую плавность хода по сравнению с подвеской МакФерсон. Она лучше поглощает неровности дороги и обеспечивает более плавный ход. Такие подвески часто используются в автомобилях высокого класса, спортивных и представительских моделях, где важны точность управления и комфорт - 8/10.

Настройка и адаптивность: подвеска на двойных поперечных рычагах обладает большей гибкостью в настройках по сравнению с подвеской МакФерсон. Она включает два рычага (верхний и нижний), что позволяет лучше регулировать параметры подвески, такие как развал, кастер и углы крена. Это делает её более адаптивной к различным условиям эксплуатации и требованиям водителя. 7/10.

Разберём ещё одну модель подвески - многорычажная подвеска (рисунок 4).



Рисунок 4 – Многорычажная подвеска

Стоимость производства: Самая высокая среди перечисленных типов подвесок из-за сложной конструкции и большого количества рычагов. Такие подвески обеспечивают наилучшие характеристики управляемости и комфорта, но их производство и обслуживание обходятся дороже. Усреднённое значение около 190000 рублей. Также переводим это значение в десятибалльную шкалу – 2,2/10.

Вес: Самая тяжелая среди перечисленных из-за использования нескольких рычагов (обычно от 4-х и более на каждом колесе). Вес примерно 18кг. При переводе в десятибалльную шкалу получаем 1,9/10.

Сложность конструкции: Самая сложная среди перечисленных типов подвесок. Она состоит из множества рычагов (обычно от 4-х и более на каждом колесе), что делает её более сложной в производстве и обслуживании. 3/10 по десятибалльной шкале.

Надёжность: многорычажная подвеска, хотя и обеспечивает наилучшие характеристики управляемости и комфорта, является самой сложной в обслуживании и ремонте. Она состоит из множества рычагов, что увеличивает вероятность поломок и требует более частого и дорогостоящего обслуживания. Однако, при правильном уходе и своевременном обслуживании, она может быть очень долговечной. Закономерные 6/10.

Комфорт и плавность хода: обеспечивает наивысший уровень комфорта и плавности хода. Позволяет лучше адаптироваться к неровностям дороги и обеспечивает наилучшие характеристики управляемости и комфорта. Такие подвески часто используются в автомобилях высокого класса и спортивных моделях - 9/10.

Настройка и адаптивность: многорычажная подвеска обладает наибольшими возможностями для настройки и адаптации. Она состоит из множества рычагов (обычно от 4-х и более на каждом колесе), что позволяет более точно регулировать параметры подвески и адаптироваться к различным условиям эксплуатации. Это делает её самой адаптивной среди рассматриваемых типов подвесок. 9/10

«Значения наиболее значимых характеристик по моделям подвесок внесем в таблицу 1, таким образом, подготовив материал для дальнейшего анализа.» [10].

Таблица 1 – Значения наиболее значимых характеристик по моделям подвесок

Выбранные характеристики, единицы измерения	Модельный ряд подвесок		
	МакФерсон	Двойные поперечные рычаги	Многорычажная
1 Стоимость производства, усл. ед./10	7,1	4,7	2,2
2 Вес, усл. ед./10	6,4	4,6	1,9
3 Сложность конструкции, усл. ед./10	9	6	3
4 Надёжность, усл. ед./10	8	7	6
5 Комфорт и плавность хода, усл. ед./10	5	8	9
6 Настройка и адаптивность усл. ед./10	5	7	9

Выбор наиболее перспективного прототипа

«Существуют два наиболее часто используемых метода выбора оборудования: графический метод, основанный на замерах площади циклограмм каждого оборудования и экспертный метод, дополнительно учитывающий значимость каждого показателя. Идеальным считается вариант, когда 1 модель оборудования лидирует по результатам анализа каждым из вышеперечисленных методов. В противном случае возможен дополнительный анализ по ранее не учитываемым показателям (расходы на монтаж, расходы на доставку, стоимость периодического обслуживания и т.д.)» [19].

«Достоверная оценка качества технологического оборудования может быть произведена только при учете всех групп показателей качества, что требует определенной формализации процесса оценки. Если единичные

показатели качества P_i могут быть выражены количественно, то их уровень может быть соотнесен со значением показателя, принятого за базу P_{i0} (обычно это показатель хорошо зарекомендовавшего себя оборудования, в полной мере соответствующего современным требованиям).

Когда увеличение абсолютного значения единичного показателя качества приводит к улучшению качества, уровень показателя выражают отношением:

$$Y_i = P_i / P_{i0} \quad (1)$$

В противном случае, когда увеличение приводит к ухудшению качества оборудования, уровень качества выражают отношением:

$$Y_i = P_{i0} / P_i \quad (2)$$

Таким образом, улучшение качества всегда приводит к росту уровня качества по рассматриваемому показателю» [19].

«Для построения циклограммы воспользуемся автоматизированным графическим редактором, что позволит в значительной степени облегчить процесс подсчета площади, в ФГБОУ ВО ТГУ имеется действующая лицензия на графическую среду «КОМПАС», обновляемую ежегодно. Из общей точки отсчета через равные угловые интервалы отложим число лучей, соответствующее количеству наиболее значимых параметров. Предварительно рассчитаем относительные значения параметров, которые необходимо отложить на лучах циклограммы. Расчеты будем проводить относительно показателей подвески на двойных поперечных рычагах, используя выражения (1) и (2).

Откладываем отрезки на лучах в одинаковом масштабе, получая вершины циклограммы. Получившиеся точки необходимо соединить

ломаной замкнутой линией. Для наглядности многоугольники соответствующие разным моделям оборудования строим с применением разного типа и цветовой гаммы линий.

Графический анализ наиболее значимых показателей оборудования представлен на циклограмме (рисунок 5). Номера лучей соответствуют номерам показателей по часовой стрелке. Для базового оборудования циклограмму допускается не строить, однако площадь ее определяется аналогично и в процессе сравнительного анализа оно участвует на общих условиях» [11].

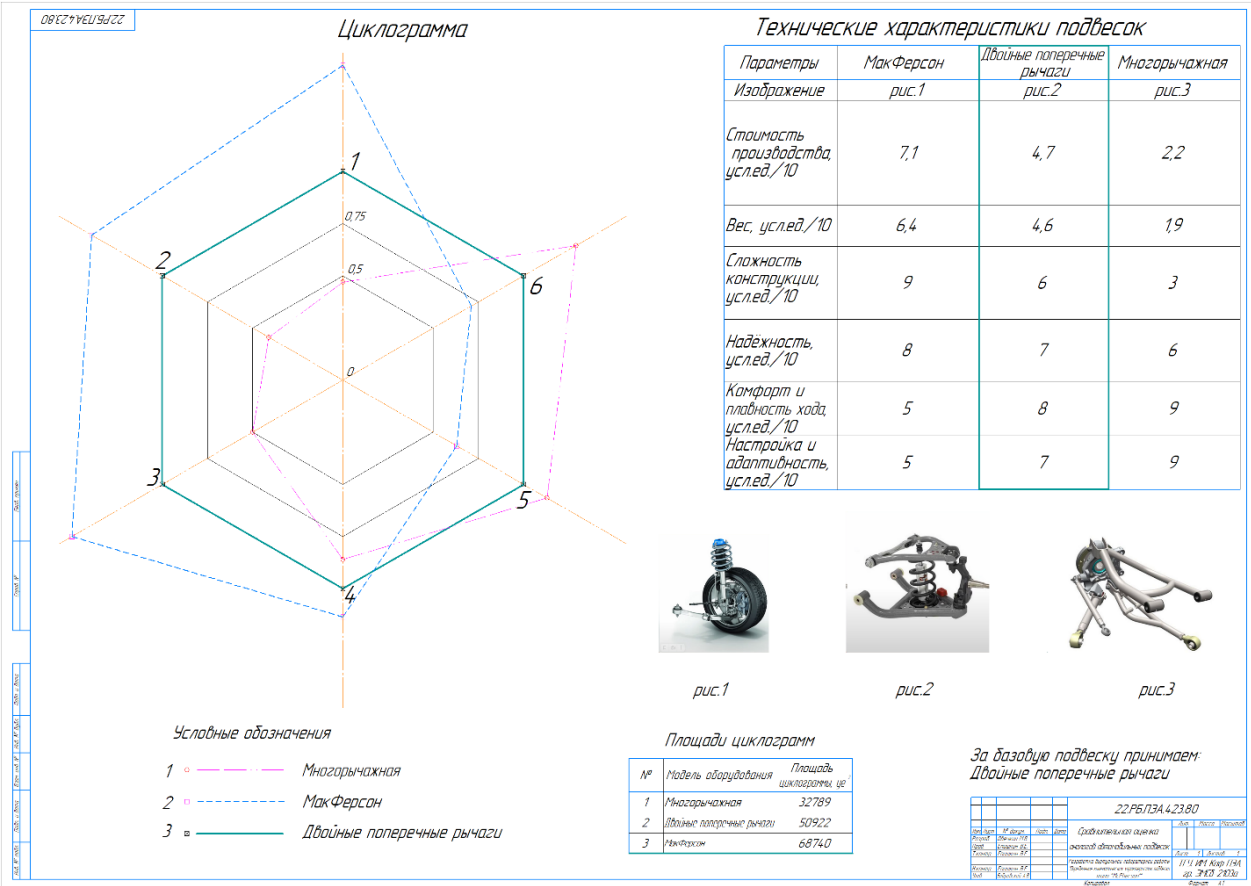


Рисунок 5 – Графический анализ наиболее значимых показателей оборудования методом циклограмм

«Результаты подсчета фактической площади полученных фигур с применением инструмента программы «Измерение площади с ручным

вводом границ многоугольника» занесем во второй столбец таблицы 2. В качестве условных единиц измерения используем мм²» [12].

Таблица 2 – Итоги графического метода анализа аналогов

Модели стендов-аналогов	Площадь, мм ²
Многорычажная	32789
Двойные поперечные рычаги	50922
МакФерсон	68740

«По результатам измерений максимальная полученная площадь – 68740 мм². Следовательно, можно сделать логичный вывод о наличии существенных преимуществ у подвески типа МакФерсон среди всей модельной линейки.

Повысим достоверность анализа, проведя его еще и экспертным методом» [12].

«Роль эксперта на себя возлагает сам исполнитель проекта, при необходимости консультируясь с руководителем выпускной квалификационной работы или внешними экспертами. При выборе оборудования данным методом экспертом на основе собственного опыта определяется весомость каждого параметра (степень значимости) в паспорте оборудования C_i . с учетом конкретных требований производственного процесса ТО и Р автомобилей, габаритов помещения, особенностей конструкции производственного здания и т.д.» [19].

«Уровень показателя качества по каждому параметру с учетом его весомости определяется выражением:

$$П_i = \frac{C_i \cdot Y_i}{100}, \quad (3)$$

Лучшим признается то оборудование, которое наберет наибольшую

сумму оценок.
$$P_{\Sigma i} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot Y_i}{100} \gg [19].$$

«Утвержденная форма протокола для типового анализа оборудования с привлечением квалифицированных экспертов размещена в таблице 3» [12].

Таблица 3 – Заполненная форма протокола экспертного анализа оборудования по комплексу показателей

Выбранные характеристики, единицы измерения	С, %	Р ₁₀ (Двойные поперечные рычаги)	Оценочные значения показателей по подвескам модельного ряда					
			МакФерсон			Многорычажная		
			Р ₁	У ₁	П ₁	Р ₁	У ₁	П ₁
1 Стоимость производства, усл. ед./10	20	4,7	7,1	1,51	0,302	2,2	0,47	0,094
2 Вес, усл. ед./10	10	4,6	6,4	1,39	0,139	1,9	0,41	0,041
3 Сложность конструкции, усл. ед./10	5	6	9	1,5	0,075	3	0,50	0,025
4 Надёжность, усл. ед./10	30	7	8	1,14	0,342	6	0,86	0,258
5 Комфорт и плавность хода, усл. ед./10	25	8	5	0,63	0,157	9	1,13	0,283
6 Настройка и адаптивность усл. ед./10	10	7	5	0,71	0,071	9	1,29	0,129
Резльтирующий показатель:	...	1	...	...	1,086	...	...	0,830

«Далее сравним итоговые суммарные показатели оценок $P_{\Sigma i}$ приведенные в последней строке таблицы 3. Максимальное число – 1,086. Следовательно, можно сделать логичный вывод о том, что выявлено наличие существенных преимуществ у подвески типа МакФерсон среди всей модельной линейки» [13].

Подготовка к сканированию

Для упрощения создания виртуальной CAD модели подвески было принято решение отсканировать один из самых сложных элементов – поворотный кулак.

«Поворотный кулак является связующим звеном между рычагами подвески и колесом, обеспечивая возможность поворота управляемых колес. Это цельнометаллическая деталь, к которой крепится ступица, тормозной суппорт, рычаги подвески и рулевые наконечники. Поворотный кулак может крепиться к верхнему и нижнему рычагу подвески.

Рулевое колесо соединено с подвеской и колесами через поворотный кулак, ножка которого соединяет руль с остальной частью машины, что позволяет водителю направлять транспортное средство. При помощи шаровых опор поворотное крепление и рулевая втулка крепится к поворотному кулаку. Когда водитель поворачивает колесо, движение передается вниз по рулевому валу на рулевой механизм» [13].

«Поворотные кулаки бывают самых разных форм и размеров. Их конструкции различаются с учетом всех видов приложений и типов подвески. Они делятся на два основных типа. Один – со ступицей, другой вид – со шпинделем.

Распространенной конструкцией поворотного кулака почти для всех автомобилей является "прямой крест". Они выглядят одинаково, но различаются по размеру. Поворотные кулаки изготавливаются из стали. Это самый распространенный материал, используемый в производстве поворотного кулака. Автомобильный поворотный кулак передает все силы от колеса к шасси транспортного средства, поэтому должен быть прочным.

Поворотные кулаки обладают длительным сроком службы и, как правило, более долговечны, чем другие автомобильные части, к которым они

прикреплены. Повреждения поворотного кулака могут возникнуть во время аварийного столкновения авто. Замененный поворотный кулак должен быть идеально совместимым с другими частями.» [20].

Было произведено ознакомление со стендом подвески типа «МакФерсон» (рисунок 6), чтобы произвести сканирование поворотного кулака, который находился в его системе.



Рисунок 6 – Стенд подвески типа «МакФерсон»

Для последующего сканирования поворотного кулака (рисунок 7), его было необходимо отсоединить от креплений стенда и очистить все поверхности от загрязнений.



Рисунок 7 – Поворотный кулак

Далее, было ознакомление со сканером и его характеристиками и подключение его к компьютеру через специальный донгл-ключ для запуска ПО, входящий в комплект (рисунок 8). Кроме этого, в составе было: противоударный кейс, в составе было: противоударный кейс, 3D сканер с кабелем 5 м (рисунок 9), папка с калибровочной пластиной, блок питания к сканеру, гарантийный талон, лист с регистрационными данными на портале Scanform.



Рисунок 8 – Комплектация сканирующего устройства



Рисунок 9 – Подключение сканера

Таблица 4 – Технические характеристика сканера

Разрешение, мм	от 0,15	Формат выходных данных	.ply, .stl, .txt
Точность (погрешность измерения), мм	0,040	Накапливаемая погрешность измерений, мм/м	0,040 + 0,070
Скорость измерений, т/с	1100000	Источник света	5 параллельных лазерных линий
Глубина резкости, мм	250	Класс лазера	2 (безопасный для глаз)
Рабочая температура, °C	От +5 до +40	ПО	Scanform (собственной разработки)
Рабочая влажность (без конденсата), %	10-90	ОС	Windows 11, 10, 8, 7 – 64 bit
Интерфейс подключения донгль-ключа	1 * USB 2.0 / 3.0 / 3.1		2 * USB 3.0 разветвитель с доп. питанием
Компьютеры	На базе процессора Intel или AMD, не ранее 2016 года выпуска	Минимальное количество ядер процессора	2
Минимум оперативной памяти компьютера	16 ГБ		

Таблица 5 – Габаритные характеристики сканера

Размер (L/H/W), мм	Вес устройства, г	Зона сканирования	Диапазон размеров объекта, м	Расстояние до объекта при сканировании (рекомендуемое), мм
173*94*298	950	250*350	0,1 - 4	370

Ключевые особенности сканера:

- «сканер можно направлять в любую точку объекта под любым углом, он сканирует в движении. Нет необходимости использовать штатив. Легче сканировать в тесных пространствах. Легче сканировать углубления» [13].;

- возможность сканирования глянцевых и черных поверхностей без использования матирующего спрея;
- «калибровка осуществляется в течение 1-2 минут и позволяет получать стабильную повторяемость и воспроизводимость измерений в любых условиях. Пластина выполнена из композитного материала с минимальным коэффициентом теплового расширения (углепластика).» [13].

После ознакомления с оборудованием, специальные магнитные метки (рисунок 10), необходимые для сканирования, были нанесены на все поверхности поворотного кулака (рисунок 11).



Рисунок 10 – Магнитные метки



Рисунок 11 – Подготовленный к сканированию поворотный кулак

После того как было произведено ознакомление с оборудованием и все необходимые приготовления были завершены, можно было переходить к следующему этапу.

Сканирование

Для начала вручную была произведена настройка и калибровка сканера (рисунок 12). Для этого нужно было повторять движения, показанные на экране, относительно специального калибровочного листа, который находился в документации сканера (рисунок 13).

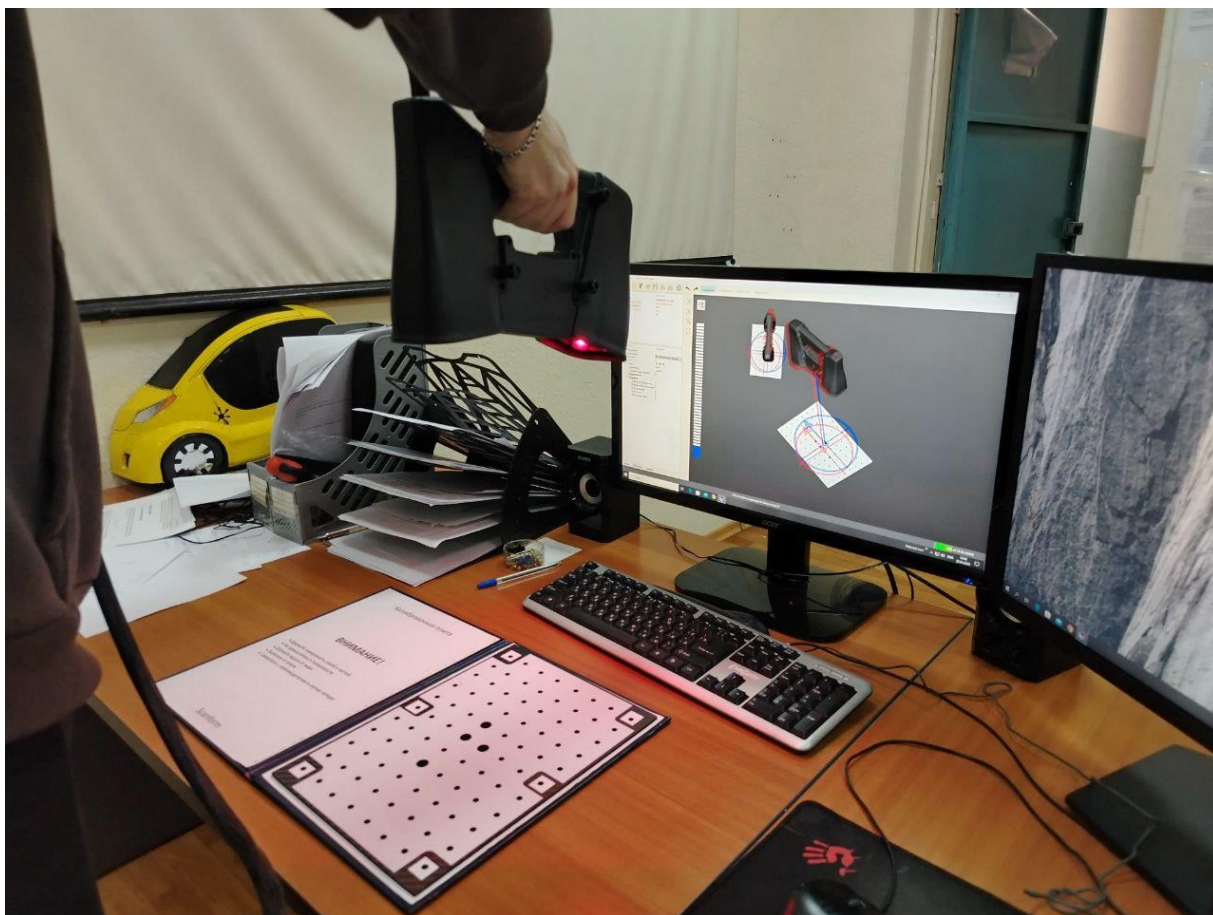


Рисунок 12 – Калибровка сканирующего оборудования

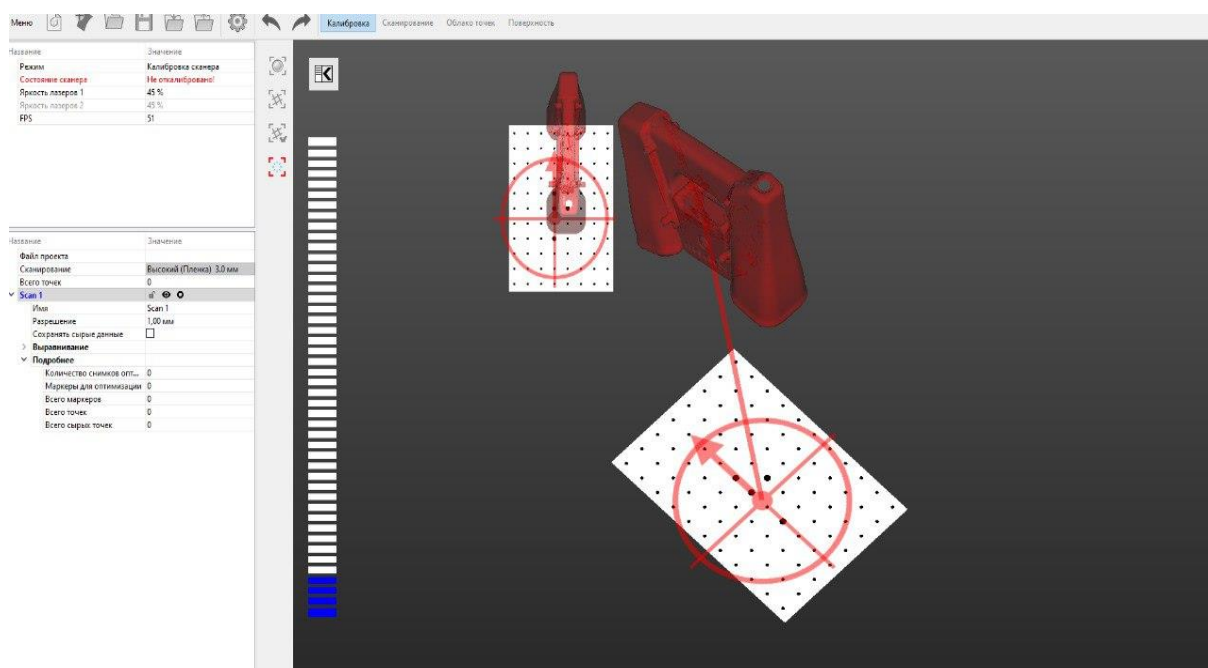


Рисунок 13 – Программная инструкция калибровки

После успешной калибровки, первым этапом сканирования был программный поиск предварительно прикреплённых магнитных меток (рисунок 14). Это было необходимо для того, чтобы программа могла определять положение сканера в пространстве, относительно каждого края сканируемой детали.

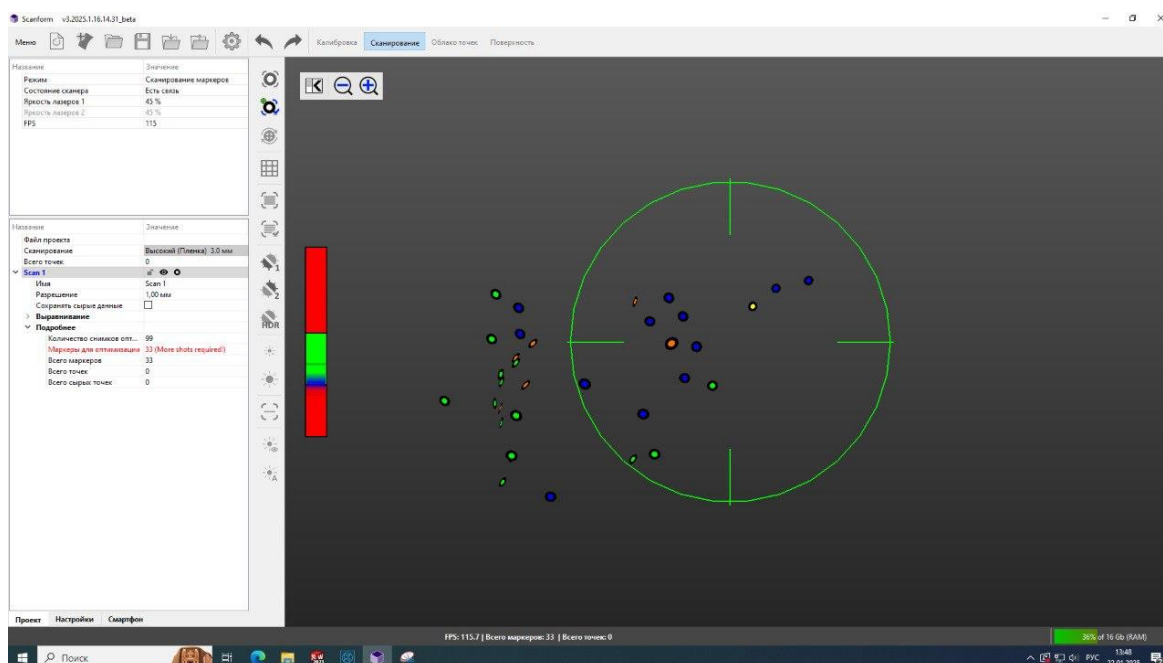


Рисунок 14 – Программный поиск точек сканирования

После того, как в программе отобразилось достаточное количество точек, в режиме сканирования, поступательными движениями производилось сканирование всей доступной области детали (рисунок 15). Деталь в свою очередь нельзя было перемещать или переворачивать, пока не закончился процесс сканирования видимой области.



Рисунок 15 – Процесс сканирования поворотного кулака

По мере сканирования, в программе всё больше прорисовывались очертания детали (рисунок 16).

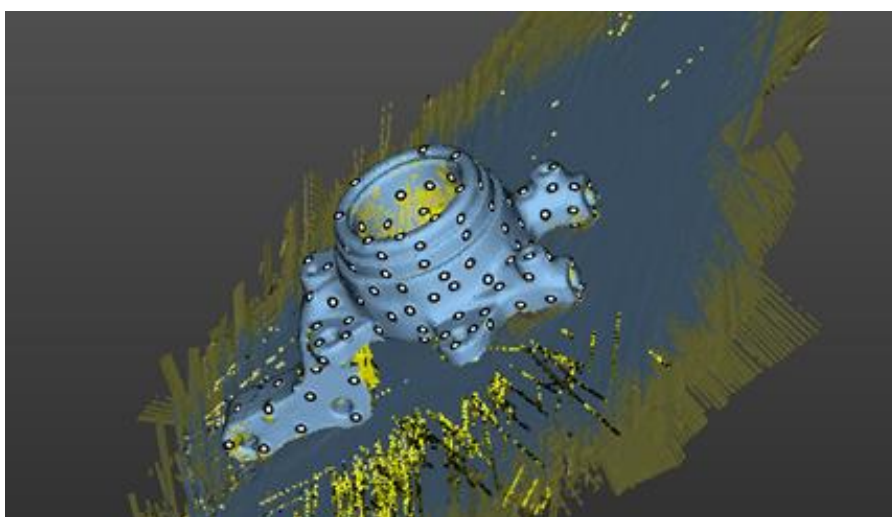


Рисунок 16 – Промежуточный результат сканирования поворотного кулака

После того как сканирование видимой части детали было завершено, далее было необходимо деталь перевернуть и отсканировать оборотную сторону (рисунок 17). Данное сканирование необходимо для создания 3D модели, которая будет передавать основные формы и размеры детали, с помощью которых будет намного проще создать новую 3D модель в любой CAD программе.

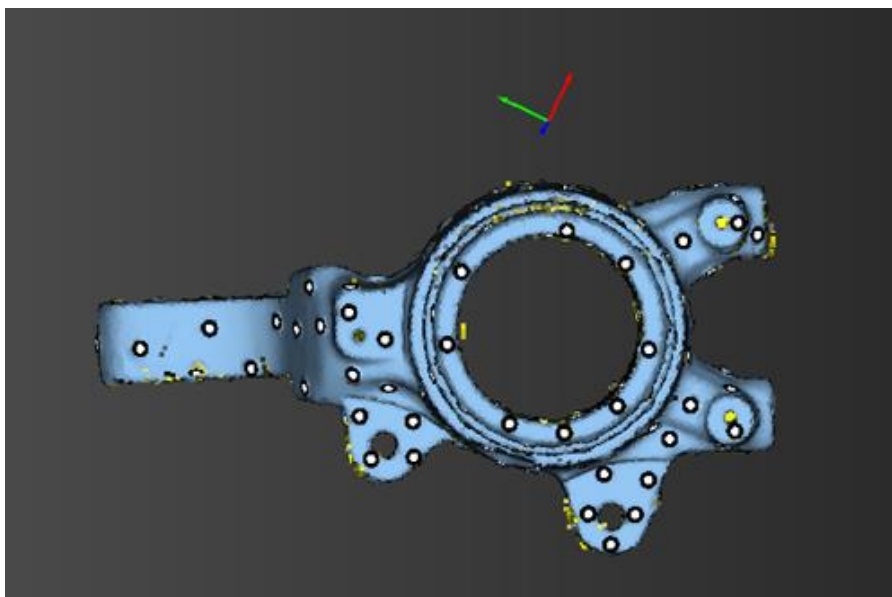


Рисунок 17 – Отсканированная оборотная сторона поворотного кулака

После того как деталь была отсканирована со всех сторон, она была объединена в одну общую 3D модель и преобразована в `stp` формат (рисунок 18).

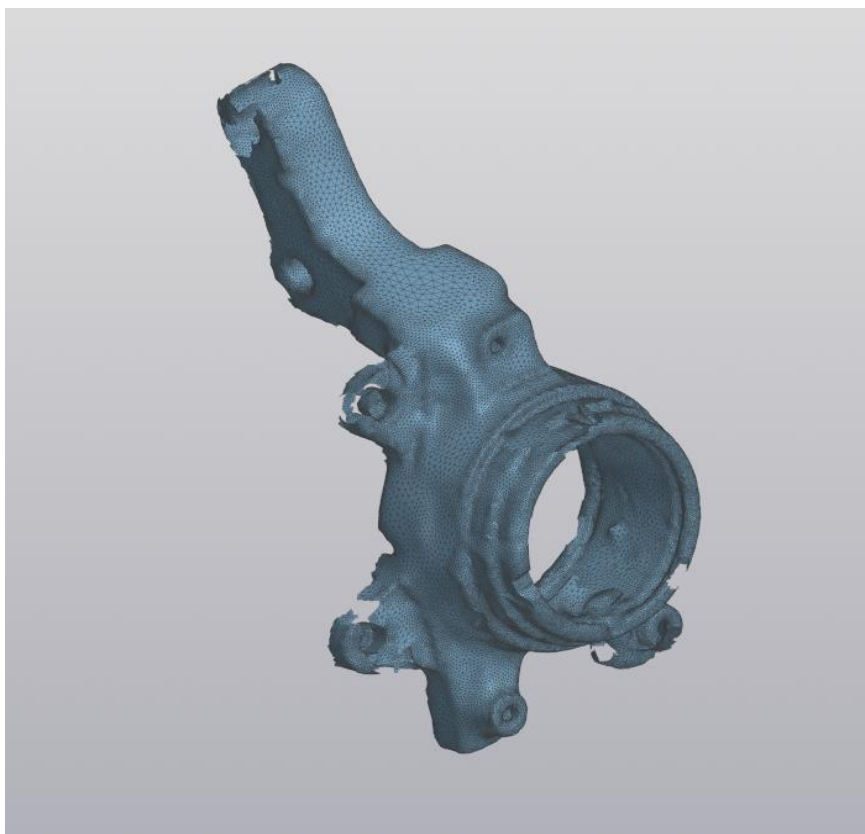


Рисунок 18 – Результат сканирования поворотного кулака

В процессе сканирования были получены ценные навыки «обратного инжиниринга».

Моделирование в КОМПАС 3D

Благодаря полученной отсканированной модели поворотного кулака, процесс создания цифрового двойника был сильно упрощён (рисунок 19). Остальные детали подвески моделировались в программе КОМПАС 3D уже без предварительного сканирования (рисунок 20-33).

«КОМПАС-3D – это профессиональная САПР-система, предлагающая широкий функционал для параметрического моделирования. С ее помощью можно легко изменять размеры и форму модели, редактируя эскизы и операции. Программа обладает интуитивным интерфейсом с поддержкой русского языка и удобной структурой дерева построения.

Она обеспечивает совместимость с другими CAD-системами благодаря поддержке распространенных форматов обмена данными, таких как STEP, IGES, Parasolid, DWG и DXF. Встроенные библиотеки стандартных элементов ускоряют процесс проектирования, а автоматизированная генерация чертежей упрощает создание технической документации» [1].

«КОМПАС-3D активно используется в машиностроении для проектирования деталей и механизмов, в строительстве – для моделирования металлоконструкций и трубопроводов. Программа также востребована в образовании, помогая студентам осваивать инженерные дисциплины, и в сфере 3D-печати для подготовки моделей к аддитивному производству.

Благодаря поддержке национальных стандартов и локализованному интерфейсу, КОМПАС-3D остается популярным решением в странах СНГ, сочетая простоту освоения с профессиональными возможностями» [7].

«Процесс 3-D моделирования начинается с создания новой детали, после чего открывается интерфейс, включающий графическую область, панель инструментов и дерево построения.

Эскиз служит основой для будущей 3D-геометрии. Его создание предполагает выбор плоскости или грани модели, использование графических примитивов (отрезков, окружностей, сплайнов и др.), а также нанесение размерных и геометрических ограничений для обеспечения параметризации.

Для преобразования эскиза в объемное тело применяются операции выдавливания, вращения или кинематического построения по траектории. Это позволяет создавать разнообразные геометрические формы, от простых деталей до сложных конструкций.

После формирования базовой геометрии выполняются дополнительные операции: вырезание материала, создание фасок и скруглений, добавление отверстий, а также копирование элементов с помощью массивов» [1].

«КОМПАС-3D поддерживает гибкое управление параметрами модели, позволяя изменять размеры через дерево построения, использовать формулы

для автоматического пересчета геометрии и настраивать физические свойства материалов. Тем самым система предоставляет комплексное решение для проектирования, сочетающее удобство работы с мощным функционалом» [7].

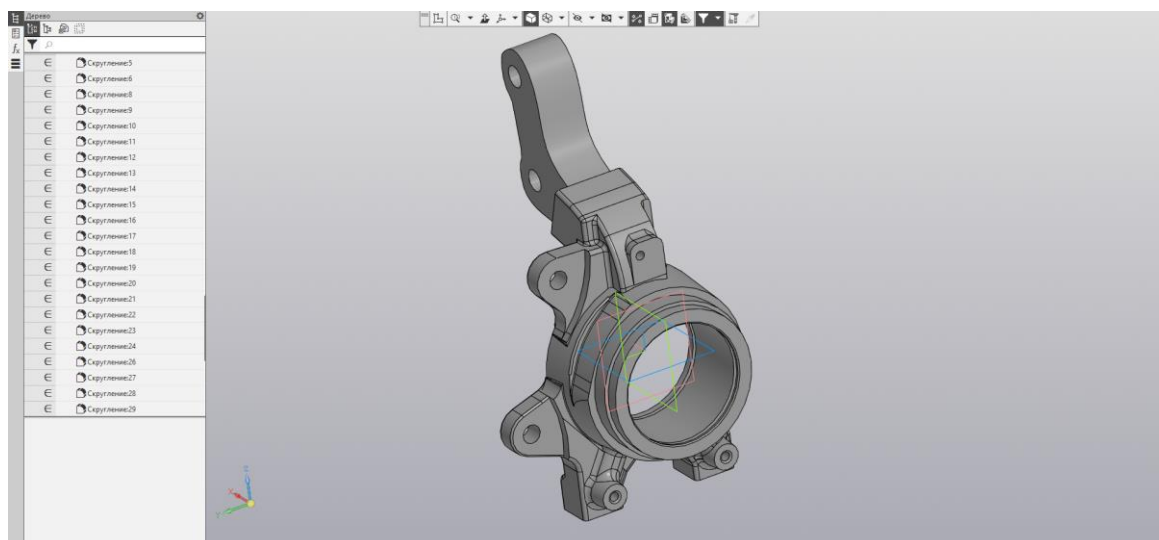


Рисунок 19 – Поворотный кулак

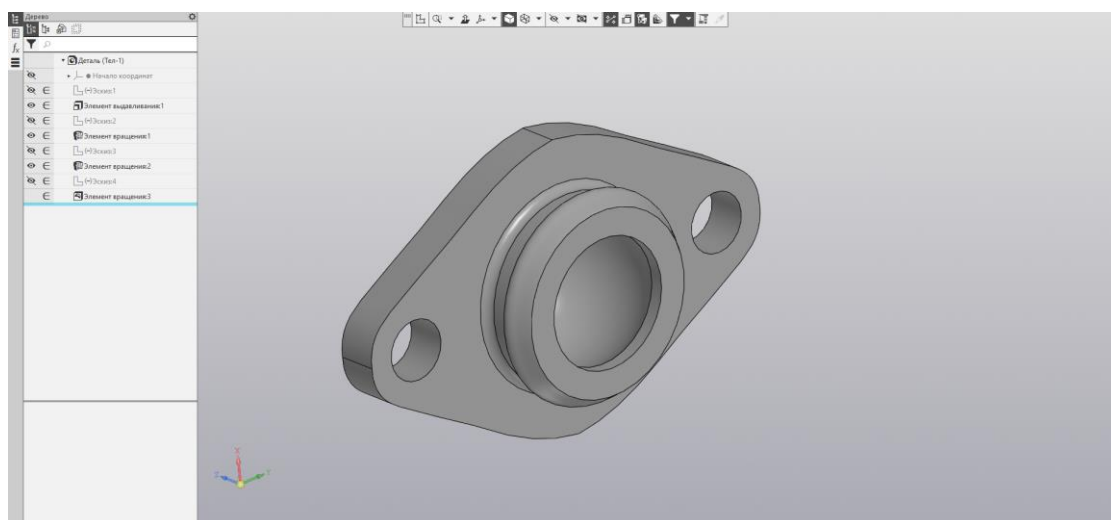


Рисунок 20 – Корпус шаровой опоры



Рисунок 21 – Палец шаровой опоры

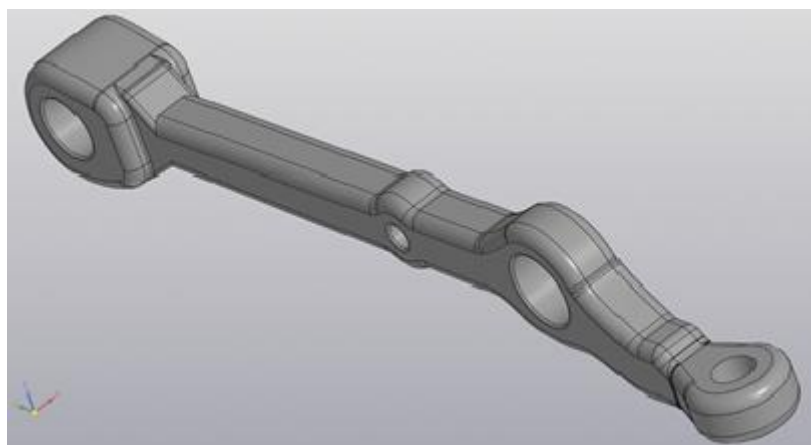


Рисунок 22 – Нижний рычаг

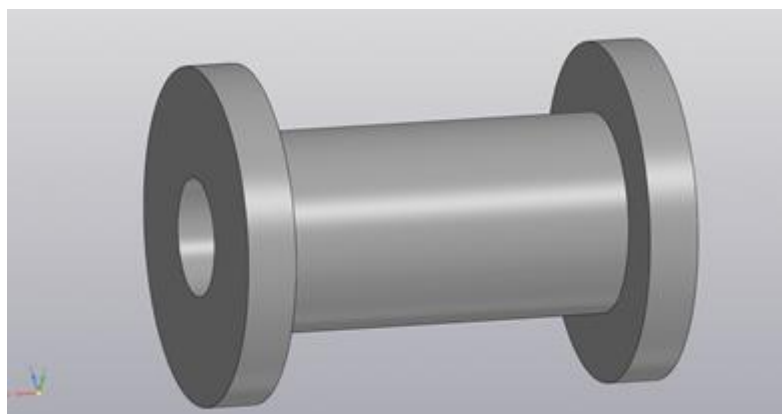


Рисунок 23 – Сайлентблок крепления нижнего рычага к кузову

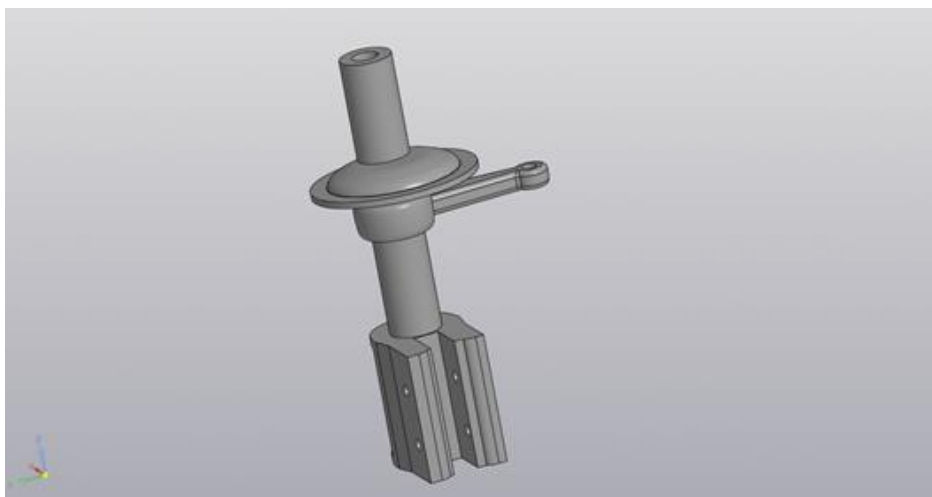


Рисунок 24 – Телескопическая стойка



Рисунок 25 – Шток

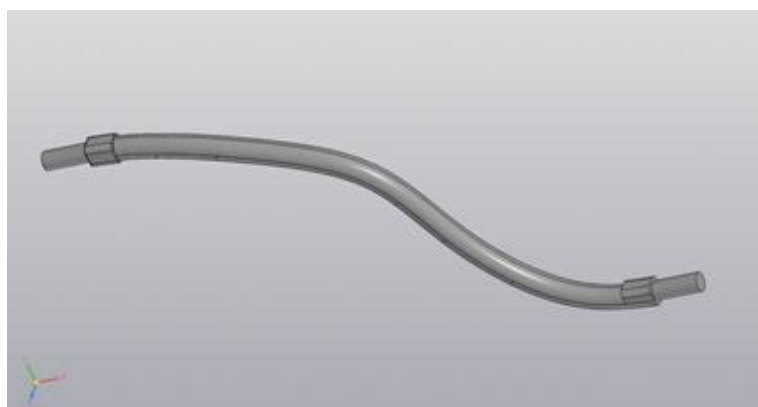


Рисунок 26 – Продольный рычаг

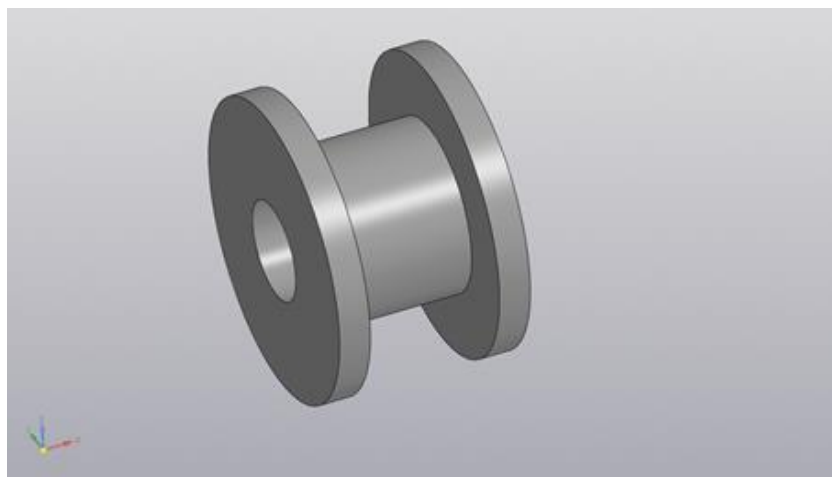


Рисунок 27 – Сайлентблок крепления продольного рычага к нижнему рычагу

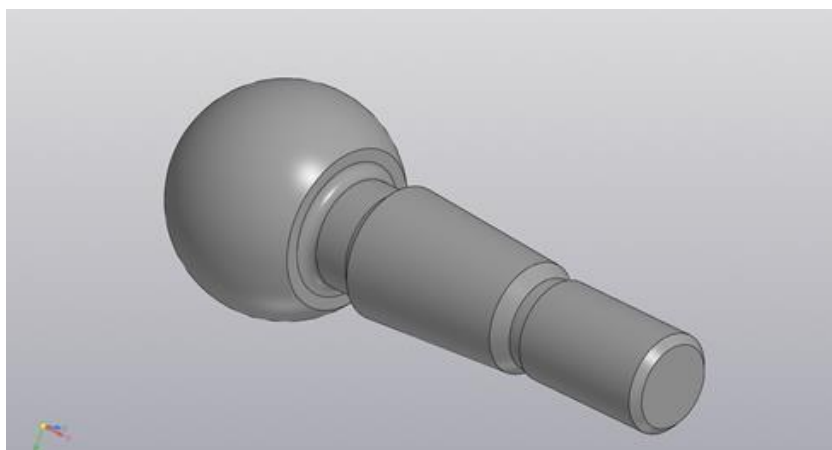


Рисунок 28 – Палец рулевого наконечника 1

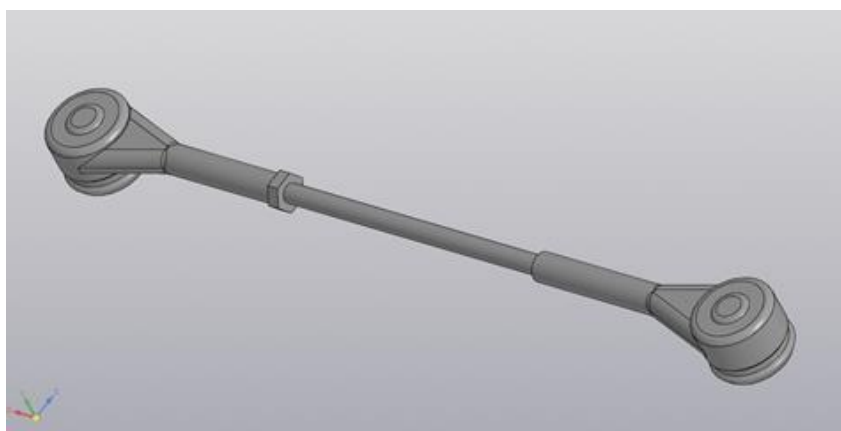


Рисунок 29 – Рулевой наконечник

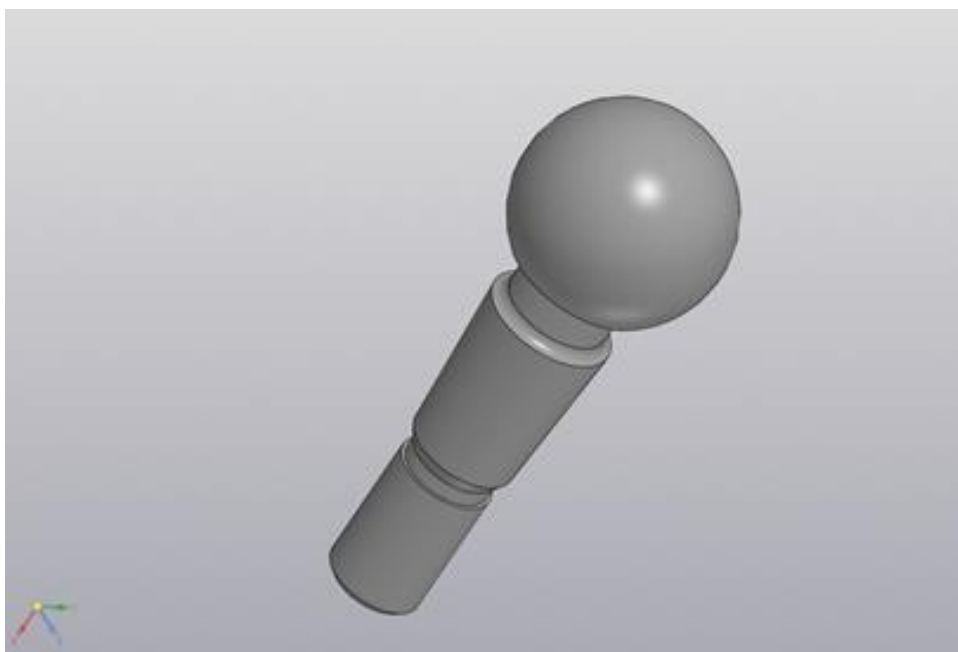


Рисунок 30 – Палец рулевого наконечника 2

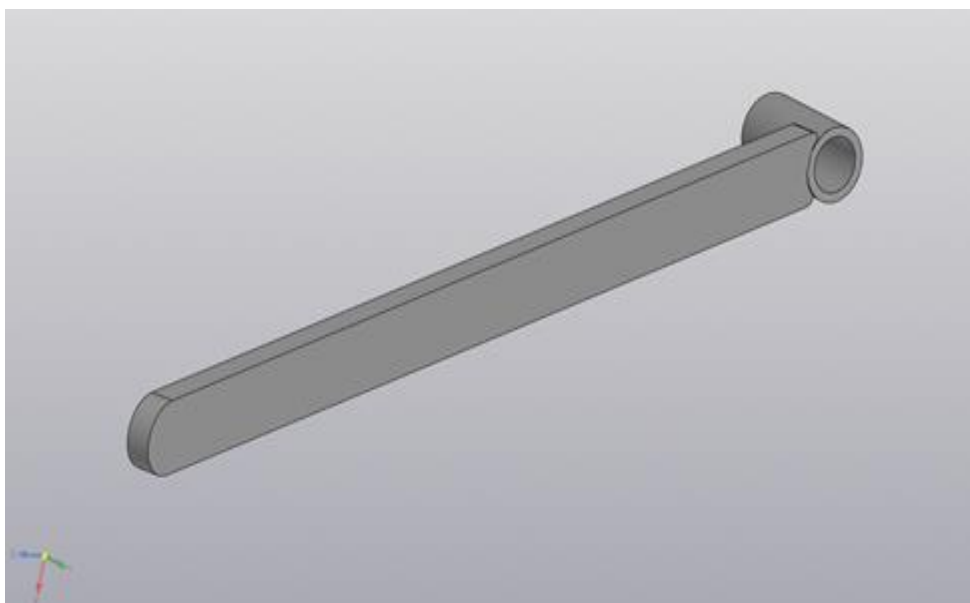


Рисунок 31 – Рычаг управления стендом

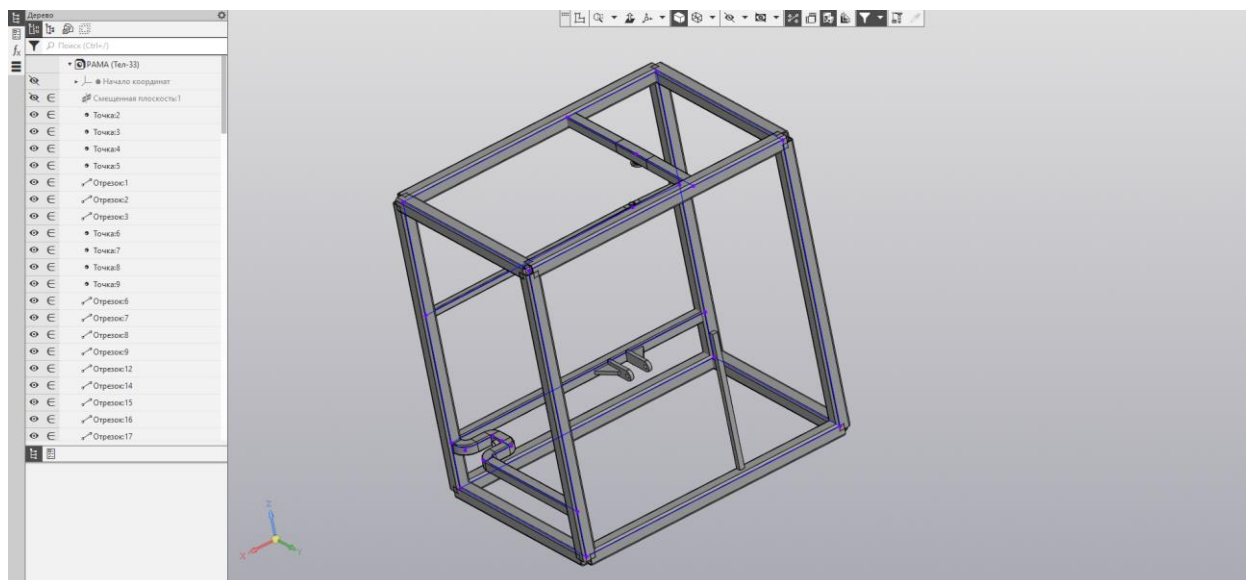


Рисунок 32 – Рама стенда

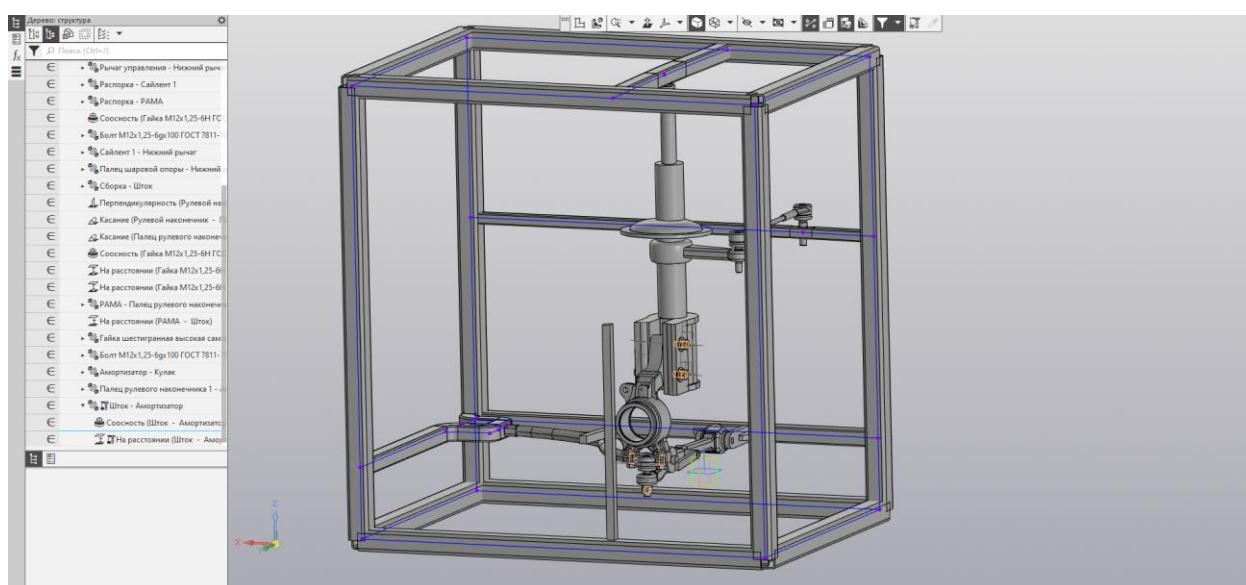


Рисунок 33 – Стенд в сборе

«В результате 3D моделирования была создана виртуальная лабораторная установка для определения кинематических характеристик подвески типа МакФерсон, с помощью которой можно проводить замеры углов развала и схождения автомобиля, в зависимости от положения элементов» [14].

4 Методические указания к лабораторной работе «Определение кинематических характеристик подвески типа «МакФерсон»»

4.1 Цель работы

«Приобретение навыков экспериментального определения кинематических характеристик подвески типа «МакФерсон» на виртуальном стенде» [15].

4.2 Теоретическая часть

«Подвеска состоит из ряда устройств, которые обеспечивают упругую связь между несущей системой и мостами или колесами автомобиля, уменьшение динамических нагрузок на несущую систему и колеса, а также затухание колебаний» [5].

«К подвеске предъявляются следующие требования:

- обеспечение надежного и постоянного контакта всех колес с поверхностью дороги;
- передача всех сил и моментов от колес к несущей системе;
- согласованность кинематики подвески с кинематикой функциональных элементов автомобиля, способных перемещаться относительно несущей системы (рулевого управления, карданной передачи);
- предотвращение или полное исключение «клевка» поддрессоренных частей автомобиля при торможении и их «приседания» при разгоне;
- противодействие чрезмерным кренам поддрессоренных частей под действием боковых сил;
- исключение «пробоев» подвески.

В данной работе изучаются такие кинематические характеристики подвески колес, как развал и схождение.

Развал – угол между плоскостью вращения колес и вертикалью (рисунок 34)» [16].

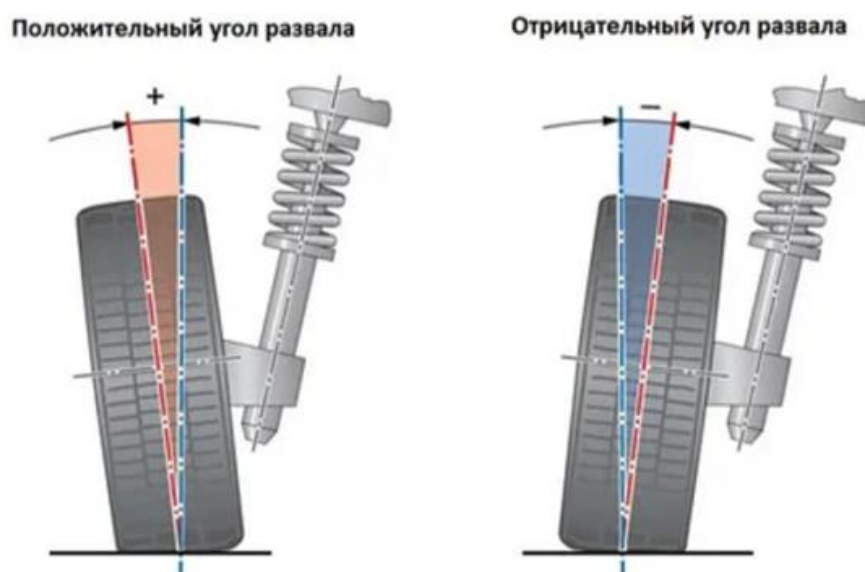


Рисунок 34– Положительный и отрицательный углы развала

«Схождение – угол между плоскостью вращения колес и горизонталью (рисунок 35)» [16].



Рисунок 35 – Положительный и отрицательный углы схождения

«Развал и схождение – это два ключевых параметра, определяющих геометрию колес автомобиля относительно кузова. Правильная настройка этих углов обеспечивает стабильность, управляемость, комфорт и безопасность движения» [17].

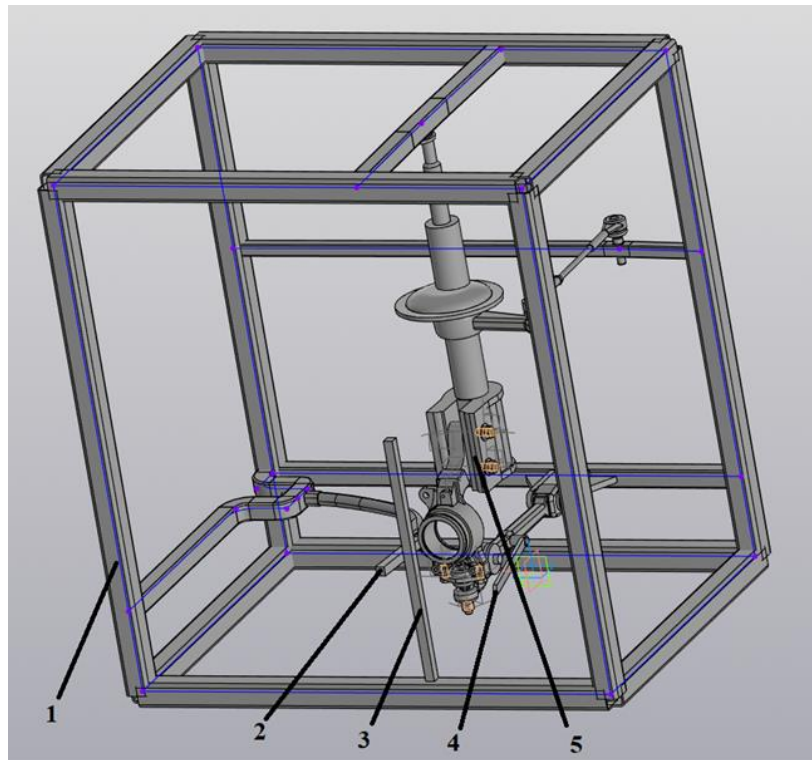
4.3 Программа работы

«1. Изучить устройство стенда для исследования кинематических характеристик передней подвески.

2. Определить зависимости углов развала и схождения от хода подвески.» [17].

4.4 Описание Лабораторной установки

«Лабораторная установка представляет собой стенд, состоящий из следующих частей (рисунок 36)» [20].



1 – рама стенда; 2, 3 – шкалы измерения; 3 – подвеска; 4 – рычаг нагружения; 5 – подвеска

Рисунок 36 – Общий вид стенда

«Стенд состоит из рамы, выполненной из балок квадратного сечения, на которой крепится передняя подвеска автомобиля. К рычагу приварен нагрузочный элемент, с помощью которого создаётся усилие на демпфирующие элементы» [9].

4.5 Принцип работы стенда

«Запускаем КОМПАС - 3D и открываем лабораторную работу.

Далее, слева в истории конструирования выбираем вкладку «Сопряжения» (рисунок 37)» [18].

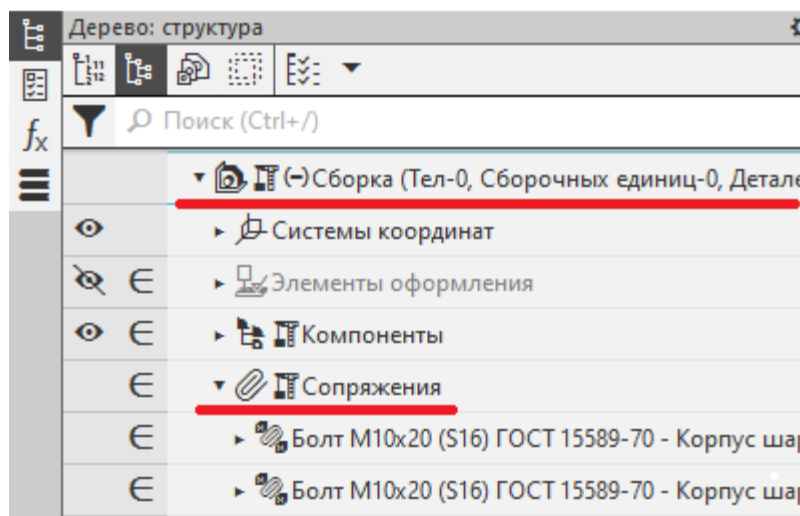


Рисунок 37 – Вкладка «Сопряжения»

«После находим вкладку «Шток – Амортизатор» и выбираем параметр «На расстоянии (Шток – Амортизатор)» (рисунок 38)» [20].

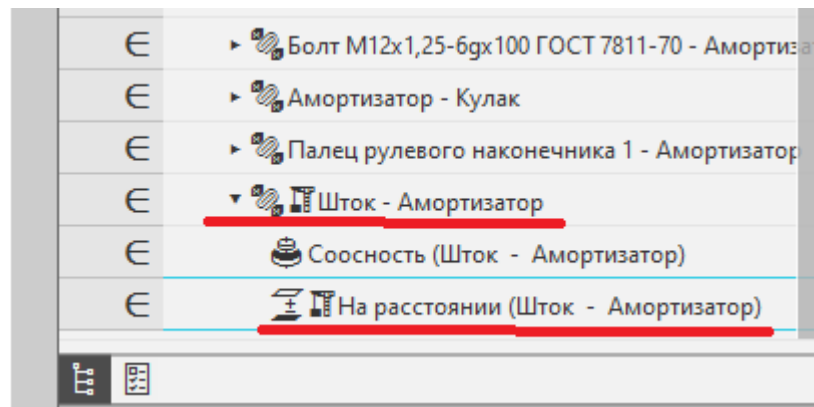


Рисунок 38 – Вкладка «Шток – Амортизатор»

«Далее, кликаем правой кнопкой мыши на параметр «На расстоянии (Шток – Амортизатор)» и нажимаем редактировать (рисунок 39)» [18].

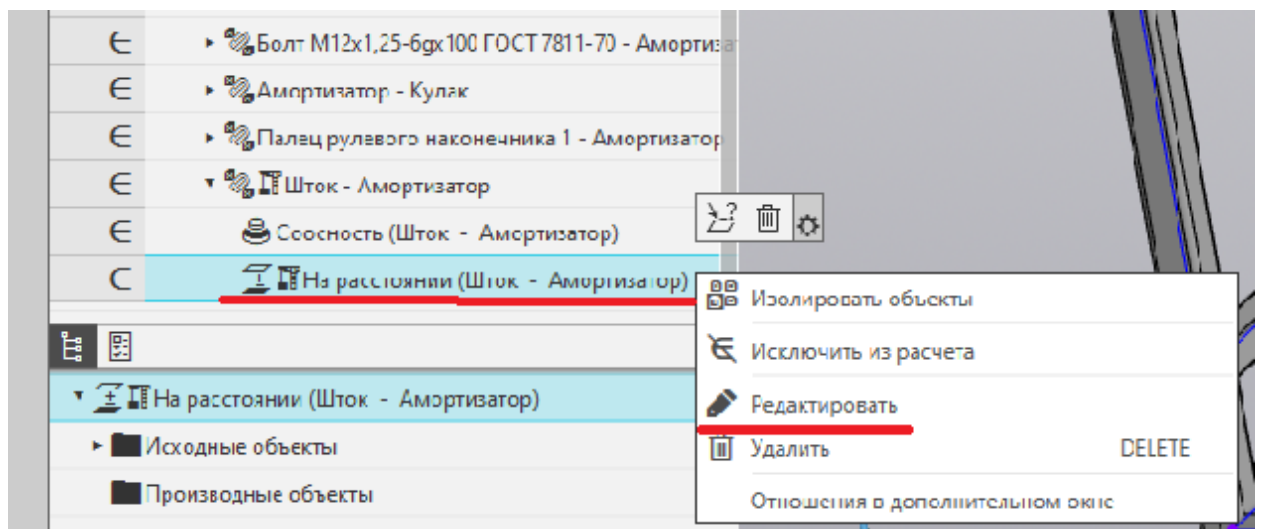


Рисунок 39 – Вкладка «На расстоянии (Шток – Амортизатор)»

«Далее в открывшемся окне выставляем 0 мм – это номинальное положение подвески, в этом положении углы развала и схождения всегда равно 90 градусов» [20]. Чтобы сохранить изменения обязательно жмём на зелёную галочку (рисунок 40).

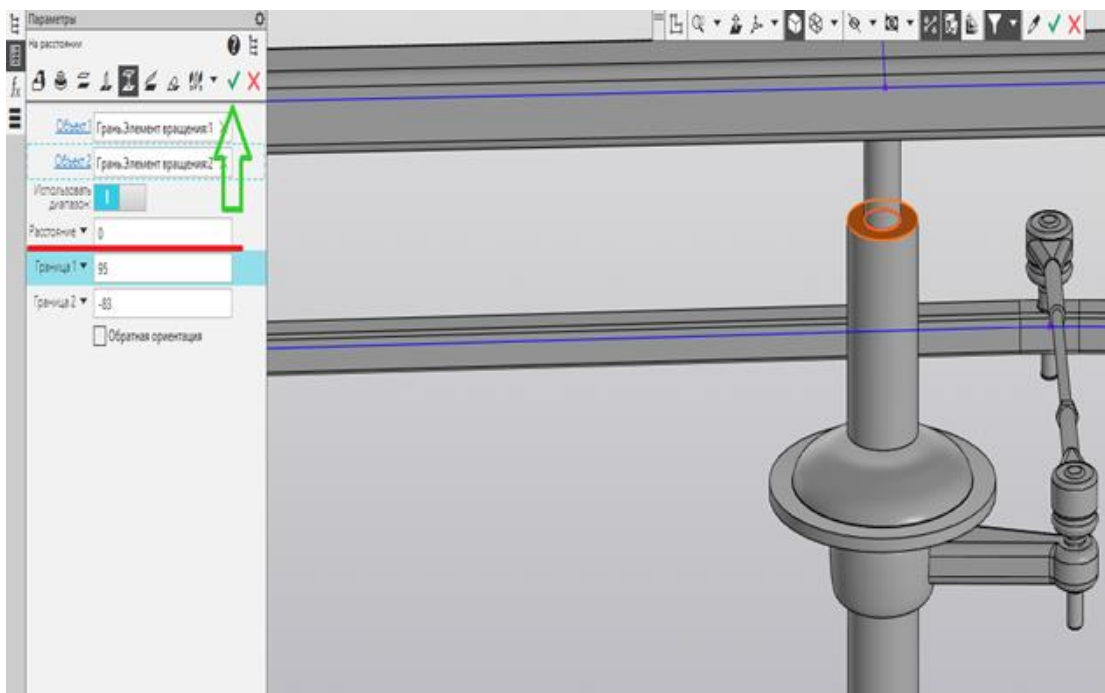


Рисунок 40 – Операция «Редактирование» хода подвески

Суммарный ход подвески составляет 178 мм, из них на ход сжатия приходится 95 мм, на ход отбоя – 83 мм. Чтобы проследить за изменением кинематических параметров, необходимо создать сжатие подвески небольшими шагами в 20мм, при каждом шаге фиксируются углы развала и схождения относительно номинального положения, после 4-5 замеров возвращаем подвеску в номинальное положение.

Затем те же измерения повторяются в ходе отбоя, единственно отличие, что теперь в окне «На расстоянии (Шток – Амортизатор)» параметры нужно вписывать со знаком «минус».

Чтобы посмотреть и зафиксировать значения углов развала и схождения выбираем вкладку «Элементы оформления» (рисунок 41).

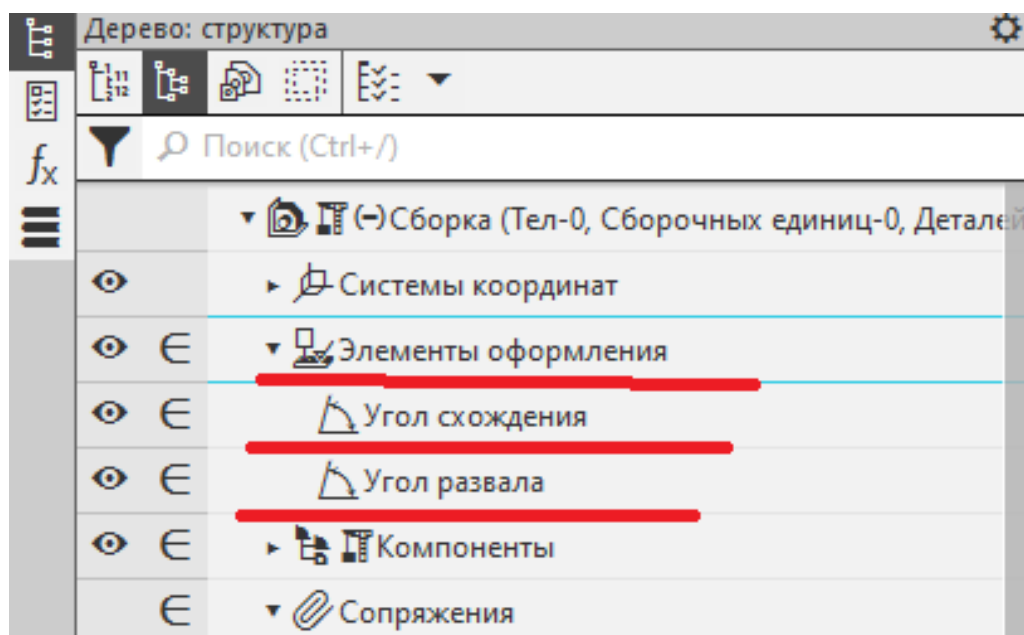


Рисунок 41– Вкладка «Элементы оформления»

Переходя к редактированию каждого из этих элементов, ничего не меняем, записываем значение угла (рисунок 42) и закрываем окно редактирования (рисунок 43).

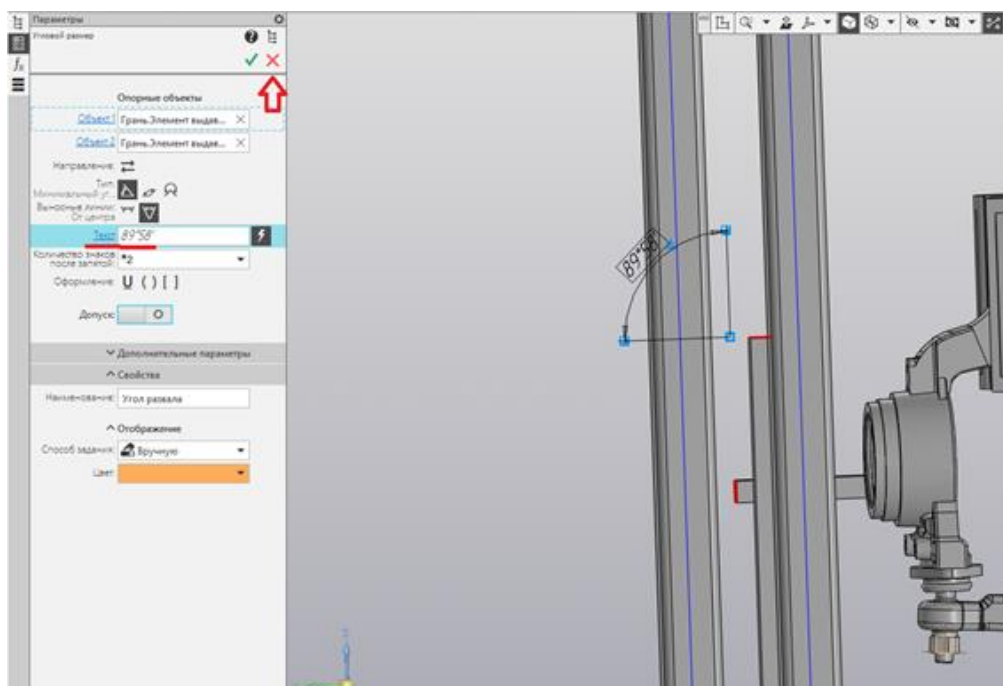


Рисунок 42 – Снятие показания угла развала

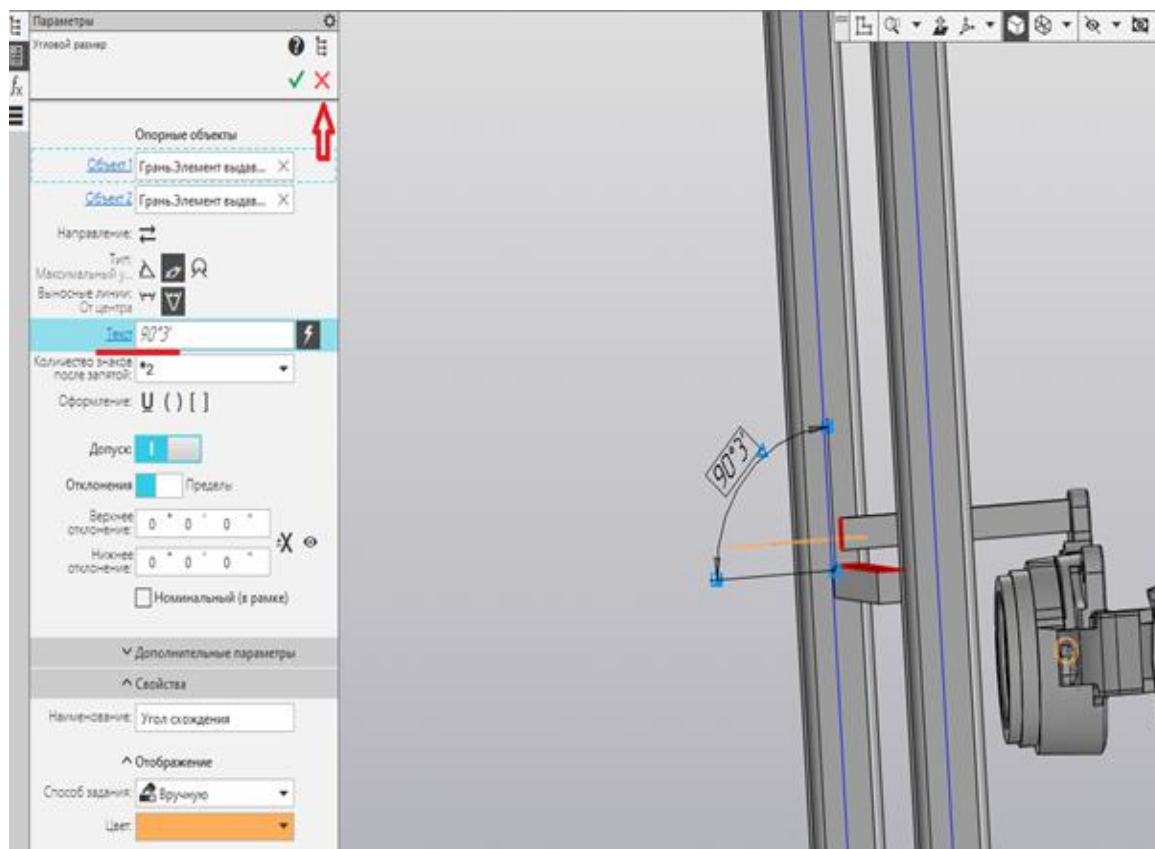


Рисунок 43 – Снятие показания угла схождения

Теперь, после того как для каждого шага будут зафиксированы значения углов развала и схождения, можно построить графики зависимости развала и схождения от хода подвески.

Указания и пояснения к выполнению работы

- «1. Выставить подвеску в номинальное положение.
2. Произвести нагружение (сжатие) подвески на величину 20 мм.
3. Зафиксировать показания углов развала и схождения и занести их в отчёт.
4. Повторить пп. 2..3 до полного сжатия подвески.
5. Выставить подвеску обратно в номинал, повторить пп. 2..4 для отбоя подвески.

6. Построить графики зависимостей развала и схождения от хода подвески» [19].

4.7 Содержание отчёта

«Отчёт должен содержать цель лабораторной работы, описание стенда, графики зависимостей развала и схождения от хода подвески, выводы по работе.» [15].

4.8 Вопросы для самоконтроля

- «1. Что такое развал колёс?
2. Что такое схождение колёс?
3. Что вы понимаете под управляемостью автомобиля?
4. Что вы понимаете под устойчивостью автомобиля?
5. Как при помощи стенда можно определить колею автомобиля?» [16].

Подводя итоги по главе, можно сказать, что методические указания имеют всю необходимую информацию и содержат в себе все необходимые инструкции для выполнения лабораторной работы.

Заключение

В рамках данной бакалаврской работы была создана виртуальная лабораторная работа для изучения «кинематических характеристик подвески автомобиля типа «Макферсон». Актуальность проекта связана с важностью улучшения образовательного процесса, в том числе практической подготовки учащихся» [17]. «Виртуальные лабораторные работы дают возможность проводить эксперименты без ограничений по ресурсам и времени, предоставляя доступ к различным моделям и условиям» [16].

В процессе работы были выполнены следующие задачи:

- проанализированы существующие узлы и механизмы;
- разработана концепция виртуальной лабораторной работы;
- создан пользовательский интерфейс с возможностью выбора модели механизма, настройки параметров и визуализации результатов;
- проведено тестирование и оценка системы.

Итогом работы стал готовый продукт – виртуальная лабораторная работа, предназначенная для использования в обучении студентов инженерных направлений. «Практическая значимость разработки заключается в том, что она позволяет учащимся самостоятельно исследовать кинематику механических систем, экспериментируя с различными моделями и параметрами» [18].

В перспективе систему можно «расширить за счёт добавления новых механизмов, улучшения функционала, а также разработки интерактивных учебных материалов на её основе» [20].

В заключение можно отметить, что создание виртуальных лабораторных работ – это перспективное направление в образовании, которое способствует повышению качества обучения и развитию практических навыков у студентов.

Список используемой литературы

1. Антонова В. С., Осовская И. И. Аддитивные технологии: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. 30 с.
2. Беляков В.В., Зезюлин Д.В., Макаров В.С., Тумасов А.В. Автоматические системы транспортных средств: учебник / Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2023. 352 с.
3. Березина Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет: учебное пособие Москва: ИНФРА-М, 2023. 320 с.
4. Богатырев А. В., Есеновский-Лашков Ю.К., Насоновский М.Л. Автомобили: учебник / 3-е изд., стереотип. Москва: ИНФРА-М, 2023. 655 с.
5. Вахламов В.К. Автомобили. Основы конструкции / Издательский центр «Академия», 2008. 291 с.
6. Едимичев Д. А., Минкин А. Н., Масаев С. Н. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники: учебное пособие / Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2020. 148 с.
7. Иванов В. П., Батраков А. С. Трёхмерная компьютерная графика. Москва: Радио и связь, 1995. 224 с.
8. Круглик В. М., Сычев Н. Г. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2023. 260 с.
9. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: учебник / 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ИНФРА-М, 2022. 506 с.
10. Лукин П.П., Гаспарянц Г.А., Родионов В.Ф. Конструкция и расчет автомобиля: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и тракторы», 1984. 376 с.
11. Новиков В. В., Рябов И. М., Чернышев К. В., Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств: монография / 2-е изд., испр. И доп. Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 384 с.

12. Огороднов С.М., Орлов Л.Н., Кравец В.Н. Конструкция автомобилей и тракторов: учебник. Москва; Вологда: ИнфраИнженерия, 2019. 284 с.
13. Острецов А.В., Красавин П.А., Воронин В.В., Павлова Л.А. Автомобильные подвески: учебное пособие. Москва: «МАМИ», 2011. 16 с.
14. Раймпель Й. Шасси автомобиля. Москва: Машиностроение, 1983. 356 с.
15. Denton T. Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Routledge, 2017. 378p.
16. Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. John Wiley & Sons, 2010. 1024 p.
17. Milliken W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, SAE International, 1995. 890 p
18. Pia G. Pistons and engine testing / Springer Vieweg, 2016. 295 p.
19. Singh H. Rewat The Automobile: Textbook for Students of Motor Vehicle Mechanics / S Chand & Co Ltd, 2004. 532 p.
20. Thompson G., Davis B. The Influence of MacPherson Strut Geometry on Vehicle Handling / SAE International, 2017. 12 p.