

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 «двойные поперечные рычаги»»

Обучающийся

С.М. Меркулов
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, А.В. Зотов

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

Консультант

канд. пед. наук, доцент, С.А. Гудкова

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

Аннотация

Бакалаврская работа посвящена разработке виртуальной лабораторной работы для определения кинематических характеристик подвески автомобиля с использованием двойных поперечных рычагов.

В работе предлагается методика разработки виртуальной лабораторной работы, которая позволит студентам и специалистам в области автомобильной техники проводить практические исследования на компьютере. Основное внимание уделяется анализу двойных поперечных рычагов.

В ходе работы рассматриваются основные принципы работы подвески с двойными поперечными рычагами, разрабатывается программное обеспечение 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.

Пояснительная записка раскрывает концепцию и функционал бакалаврской работы, состоящей из введения, 4 глав, заключения и списка используемой литературы.

Введение определяет цель и актуальность работы, обосновывая ее важность. Первая глава посвящена обзору конструкции, теоретической части о подвесках автомобилей и детально о подвеске на двойных поперечных рычагах. Глава 2 исследует историю и эволюцию 3D-проектирования. Третья глава представляет собой 3D-моделирование стенда. Глава 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.

Abstract

The thesis is devoted to the development of a virtual laboratory work to determine the kinematic characteristics of a car suspension using double wishbones.

The paper proposes a methodology for developing virtual laboratory work that will allow students and specialists in the field of automotive technology to conduct practical research on a computer. The focus is on the analysis of double wishbones.

The work examines the basic principles of operation of a double wishbone suspension and develops 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 and acquire practical skills in working with modern engineering tools.

The introduction defines the purpose and relevance of the work, justifying its importance. The first chapter is devoted to an overview of the design, the theoretical part about car suspensions and in detail about the suspension on double wishbones. Chapter 2 explores the history and evolution of 3D design. The third chapter is a 3D modeling of the stand. Chapter 4 is a methodological guide for conducting laboratory work based on the developed stand. In conclusion, the results of the final qualifying work are summarized. The list of used literature contains information about the sources on which the work is based.

Оглавление

Введение	5
Глава 1 Обзор конструкций подвесок	7
1.1 Подвеска автомобиля. Общие сведения	7
1.2 Классификация подвесок	9
1.3 Подвеска типа двойные поперечные рычаги.	10
1.4 Принцип работы и устройство подвески на двойных поперечных рычагах.....	11
1.5 Преимущества и недостатки подвески на двойных поперечных рычагах.....	14
1.6 Кинематические параметры подвески.....	15
Глава 2 История и эволюция 3D-проектирования.....	17
2.1 История развития 3D-проектирования	17
2.2 Эволюция автоматизированного проектирования.....	18
Глава 3 3D-моделирование подвески в CAD-системе SolidWorks	21
Глава 4 Методические указания к лабораторной работе «Определение кинематических характеристик подвески типа двойные поперечные рычаги»	35
4.1 Цель работы	35
4.2 Теоретическая часть	35
4.3 Программа работы.....	37
4.4 Описание лабораторной установки	37
4.5 Принцип работы стенда	38
4.6 Указания и пояснения к выполнению работы	42
4.7 Содержание отчета	42
4.8 Вопросы для самоконтроля.....	43
Заключение	44
Список используемой литературы	45

Введение

Современное автомобилестроение ставит перед инженерами и исследователями постоянные вызовы в области повышения управляемости, комфорта и безопасности автомобилей. Одним из ключевых аспектов, влияющих на эти характеристики, является конструкция подвески. Подвеска автомобиля определяет его поведение на дороге, а значит, её эффективная настройка и оптимизация имеют важное значение для производителей и потребителей.

В современном мире 3D-моделирование стало неотъемлемой частью многих отраслей, от машиностроения и архитектуры до медицины и развлечений. Оно позволяет создавать виртуальные прототипы объектов, проводить виртуальные испытания и оптимизировать процессы проектирования.

С развитием компьютерных технологий возникает возможность проводить виртуальные исследования и анализировать характеристики подвески без необходимости физической реализации каждого прототипа. Виртуальные лабораторные работы представляют собой мощный инструмент для обучения и практических исследований в области автомобильной техники.

Хотя традиционные лабораторные стенды являются ценным инструментом обучения, они могут быть дорогими, занимать много места и не всегда доступны для каждого студента. Виртуальные лабораторные работы, основанные на компьютерных симуляциях, предлагают альтернативный способ проведения экспериментов, позволяющий студентам взаимодействовать с интерактивной цифровой средой. Этот подход обладает рядом преимуществ, включая доступность, гибкость и возможность неоднократного повторения экспериментов.

Целью данной работы является разработка виртуального лабораторного стенда для определения кинематических характеристик

подвески автомобиля. Двойные поперечные рычаги являются распространенным видом подвески, и понимание их работы и влияния на кинематические параметры играет важную роль в проектировании автомобильных подвесок.

В данной бакалаврской работе решаются следующие задачи:

- изучить теоретические основы работы подвесок автомобиля и методики экспериментального определения их характеристик;
- разработать модель лабораторного стенда для экспериментального определения углов развала и схождения передней подвески;
- реализовать программное обеспечение для виртуальной лабораторной работы, включающее графический интерфейс пользователя, модуль имитации работы подвески автомобиля.

Провести тестирование и оценку эффективности, разработанной виртуальной лабораторной работы.

В работе предполагается рассмотреть основные принципы работы подвески с двойными поперечными рычагами, разработать программное обеспечение для моделирования и анализа кинематических характеристик подвески, а также провести практические исследования с использованием разработанной виртуальной лабораторной работы.

Результаты данной работы могут быть полезны как для студентов и преподавателей, занимающихся изучением автомобильной техники, так и для специалистов в области автомобилестроения, стремящихся углубить свои знания и приобрести практические навыки в анализе и настройке подвески автомобиля.

Глава 1 Обзор конструкций подвесок

1.1 Подвеска автомобиля. Общие сведения

«Подвеской называется совокупность устройств, осуществляющих упругую связь колес с несущей системой автомобиля (рамой или кузовом).

Подвеска служит для обеспечения плавности хода автомобиля и повышения безопасности его движения. Плавность хода – свойство автомобиля защищать перевозимых людей и грузы от воздействия неровностей дороги. Смягчая толчки и удары от дорожных неровностей, подвеска обеспечивает возможность движения автомобиля без дискомфорта и быстрой утомляемости людей и повреждения грузов. Подвеска повышает безопасность движения автомобиля, обеспечивая постоянный контакт колес с дорогой и исключая их отрыв от нее» [5].

Подвеска автомобиля - это сложная система, состоящая из четырех основных элементов: направляющего, упругого, гасящего и стабилизирующего устройств. «Направляющее устройство отвечает за контроль движения колеса, определяя его перемещение относительно кузова и дорожного покрытия. Оно передает продольные и поперечные силы, а также моменты между колесом и кузовом автомобиля» [16]. Упругое устройство смягчает удары и толчки, передаваемые от колеса на кузов автомобиля при движении по неровной дороге. Упругое устройство предотвращает передачу неровностей дороги на кузов автомобиля, обеспечивая более комфортную езду. Гасящее устройство, по сути, "гасит" колебания кузова, подвески и колес, возникающие при движении по неровностям, превращая механическую энергию колебаний в тепловую, которая затем рассеивается в окружающую среду. Стабилизирующее устройство подвески предотвращает излишний крен автомобиля и его поперечные колебания, обеспечивая более стабильное движение.

«Подвеска обеспечивает движение автомобиля, и ее работа осу-

ществляется следующим образом. Крутящий момент, передаваемый от двигателя на ведущие колеса, создает между колесом и дорогой тяговую силу, которая приводит к возникновению на ведущем мосту толкающей силы. Толкающая сила через направляющее устройство подвески передается на кузов автомобиля и приводит его в движение» [12].

При движении по неровностям дороги колесо перемещается вверх-вниз. «Упругое устройство подвески сжимается, а кузов и колеса начинают колебаться. Амортизатор, расположенный между кузовом и балкой моста, "гасит" эти колебания. Внутри амортизатора находится поршень с отверстиями и клапанами, который движется в специальной жидкости. Шток поршня соединен с кузовом. При колебаниях кузова и колес, поршень также движется вверх-вниз, уменьшая амплитуду колебаний и превращая механическую энергию в тепловую, которая выделяется в окружающую среду» [18]. При сжатии подвески (колесо и кузов приближаются друг к другу), амортизаторная жидкость перемещается из нижней полости амортизатора в верхнюю, проходя через отверстия в поршне, прикрытые клапанами. При расширении подвески (колесо и кузов расходятся), жидкость возвращается обратно. Во время этого перемещения жидкость сталкивается с сопротивлением клапанов и отверстий в поршне, что приводит к трению и превращает механическую энергию колебаний в тепловую. Таким образом, амортизатор "гасит" колебания кузова и колес автомобиля.

«Боковой крен и поперечные угловые колебания кузова автомобиля уменьшает стабилизатор поперечной устойчивости, который представляет собой специальное упругое устройство, устанавливаемое поперек автомобиля. Средней частью стабилизатор связан с кузовом, а концами с рычагами подвески. При боковых кренах и поперечных угловых колебаниях кузова концы стабилизатора перемещаются в разные стороны: один опускается, а другой поднимается. Вследствие этого средняя часть стабилизатора закручивается, препятствуя тем самым крену и поперечным угловым колебаниям кузова автомобиля. В то же время стабилизатор не

препятствует вертикальным и продольным угловым колебаниям кузова, при которых он свободно поворачивается в своих опорах» [5], [15].

1.2 Классификация подвесок

Классификация подвесок автомобилей может быть осуществлена по различным критериям, таким как конструкция, принцип работы, цель использования, классификация подвесок автомобилей основывается на типе конструкции, характеристиках ее элементов и других факторах. Основные типы классификации:

«По назначению:

– подвески первичного поддресоривания, предназначенные для обеспечения упругой связи отдельных колес между собой и с несущей системой автомобиля;

– подвески вторичного поддресоривания, предназначенные для демпфирования вертикальных колебаний кабин грузовых автомобилей и сидений водителей грузовых автомобилей и автобусов.

По типу упругого элемента:

– с металлическими упругими элементами: рессорные, пружинные и торсионные;

– с неметаллическими упругими элементами: пневматические, гидропневматические и с резиновыми упругими элементами.

По типу кинематической схемы направляющего устройства:

– зависимые, которые обеспечивают жесткую поперечную связь между колесами одной оси или продольную связь между колесами соседних осей (балансирные подвески);

– независимые, в которых каждое колесо имеет автономную связь с несущей системой.

При применении независимой подвески обеспечивается принципиальная возможность перемещения колес одной оси или борта

независимо друг от друга, снижается неподресоренная масса автомобиля, улучшается его плавность хода, обеспечивается устойчивое движение автомобиля на высоких скоростях, а также наилучшим образом сочетаются кинематические схемы подвески и привода рулевого управления.

По наличию шкворней: шкворневые и бесшкворневые.

Независимые подвески подразделяются на следующие наиболее распространённые типы:

- на поперечных рычагах;
- типа «качающая свеча» или Макферсон;
- на продольных рычагах;
- на «косых» рычагах;
- на пространственных рычагах и тягах;
- свечные» [14].

1.3 Подвеска типа двойные поперечные рычаги

«Двойные поперечные рычаги, широко используемые в конструкции автомобилей, представляют собой тип подвески, состоящий из двух параллельных поперечных рычагов. Нет достоверных сведений, кто был первопроходцем в области двойных поперечных рычагов, но считается, что подвеска на двойных поперечных рычагах впервые появилась в начале 20 века, а ее широкое распространение началось в 1930-х годах» [13].

Одним из первых автопроизводителей, кто использовал технологию двойных поперечных рычагов, является автопроизводитель Packard, базирующейся в Детройте, США. Эту подвеску преподносили как функцию безопасности. Использовалась в основном в США.

«После Второй мировой войны, подвеска на двойных поперечных рычагах стала все более популярной среди производителей автомобилей, особенно в Европе. В 1950-х годах ее начали использовать в спортивных и гоночных автомобилях, таких как Jaguar E-Type и Ferrari 250 GTO [10]»

На сегодняшний день подвеска на двойных поперечных рычагах широко используется в различных типах автомобилей, от городских автомобилей до спортивных.

Она обеспечивает превосходную управляемость, комфорт и устойчивость, что делает ее популярным выбором для автопроизводителей, стремящихся улучшить динамические характеристики своих автомобилей.

«За свою историю подвеска на двойных поперечных рычагах постоянно совершенствовалась и оптимизировалась, чтобы соответствовать требованиям современных автомобилей. Инженеры продолжают разрабатывать новые материалы и конструкции, чтобы улучшать ее характеристики и повышать удовольствие от вождения» [6].

1.4 Принцип работы и устройство подвески на двойных поперечных рычагах

«Подвеска с двойными поперечными рычагами – это тип подвески автомобиля, который характеризуется использованием двух поперечных рычагов для крепления колеса и обеспечения подвижности подвески. Эта конструкция подвески является одной из распространенных и эффективных систем подвески. Она используется во многих автомобилях» [3].

Поперечные рычаги – это ключевой элемент подвески автомобиля, отвечающий за ее устойчивость и управляемость. Они представляют собой прочные "мостики", расположенные горизонтально под автомобилем и изготовленные из стали или алюминиевых сплавов.

Поперечные рычаги, как правило, имеют форму буквы "U" или "L". Один конец рычага крепко соединяется с рамой или кузовом автомобиля, а другой конец прикреплен к колесу через специальные шарниры или подшипники. «Главная функция поперечных рычагов заключается в обеспечении жесткости подвески в обоих направлениях: горизонтальном или вертикальном. Они выдерживают силы, возникающие при движении

автомобиля по неровностям дороги, предотвращая чрезмерные колебания колес» [4].

Амортизаторы играют решающую роль в обеспечении плавного и комфортного движения автомобиля. Устанавливаемые между поперечными рычагами и кузовом или осью колеса, они действуют как гасители колебаний, поглощая удары и вибрации, возникающие при движении по неровным дорогам. Внутри амортизатора находится поршень, который перемещается внутри цилиндра, заполненного специальным газом или маслом. Когда подвеска сжимается или разжимается, поршень движется, создавая сопротивление потоку жидкости или газа. Это сопротивление рассеивает энергию колебаний, предотвращая раскачивание автомобиля и обеспечивая плавный ход.

Пружины являются неотъемлемой частью автомобильной подвески, обеспечивая постоянное сцепление колес с дорогой и поглощая удары от неровностей. Изготовленные из прочной стали, они стратегически расположены вокруг амортизаторов. Существуют два основных типа пружин в подвеске: спиральные и бочкообразные. Спиральные пружины имеют форму спирали, а бочкообразные – форму цилиндра с коническими концами. «Тип пружин выбирается в зависимости от конкретной конструкции подвески» [19]. Пружины сжимаются и разжимаются при движении подвески, поглощая энергию ударов и возвращая колеса в исходное положение. Они действуют как хранители контакта, обеспечивая сцепление с дорогой во всех условиях вождения.

«Рулевая тяга является жизненно важным компонентом в подвеске на двойных поперечных рычагах, устанавливая связь между рулевой колонкой и поперечными рычагами. Это позволяет водителю направлять колеса, обеспечивая контроль над движением автомобиля. Рулевые тяги бывают двух основных типов: поперечные и продольные. Тип тяги зависит от конкретной конструкции подвески. Поперечные рулевые тяги расположены перпендикулярно оси автомобиля, соединяя рулевую колонку с поперечными

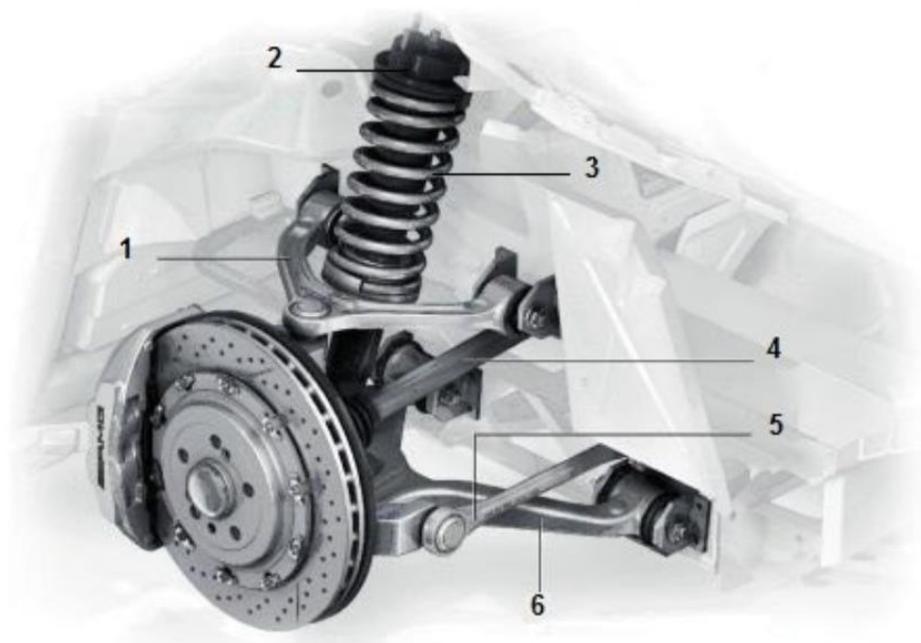
рычагами с обеих сторон. Продольные рулевые тяги, с другой стороны, расположены параллельно оси автомобиля и соединяют рулевую колонку с поперечным рычагом на одной стороне. Рулевые тяги играют важную роль в передаче поворотных движений рулевого колеса на колеса, позволяя водителю плавно и точно управлять направлением движения» [11].

Для обеспечения плавного и беспрепятственного движения поперечных рычагов в подвеске используются подшипники и шарниры. Эти компоненты служат проводниками сил от подвески к колесам, позволяя им двигаться и поворачиваться без трения. Подшипники, как правило, используются в точках крепления поперечных рычагов к раме или кузову автомобиля. Они состоят из набора шариков или роликов, которые вращаются между внутренним и внешним кольцами, обеспечивая плавное вращение рычагов. Шарниры, с другой стороны, используются в точках соединения поперечных рычагов с колесами. Они состоят из шарообразного шарнира, который позволяет рычагам двигаться во всех направлениях, обеспечивая независимое движение колес. «Подвеска на двойных поперечных рычагах, с ее комбинацией подшипников и шарниров, обеспечивает автомобилю высокую управляемость, комфорт и устойчивость. Независимое движение колес позволяет лучше сцепляться с дорогой и снижает передачу вибраций и ударов в салон. Жесткая конструкция рычагов обеспечивает стабильность при маневрировании и прохождении поворотов» [17].

«Главное преимущество подвески на двойных поперечных рычагах – ее кинематические качества: взаимным положением рычагов можно определить высоту как центра поперечного крена, так и центра продольного крена. Кроме того, за счет различной длины можно влиять на угловые перемещения колес при ходах отбоя и сжатия, то есть на изменение развала и (в определенных границах), независимо от этого, на изменение колеи. При более коротких верхних рычагах колеса при ходе сжатия наклоняются в сторону отрицательного развала, а при ходе отбоя – в сторону положительного. За счет этого можно противодействовать изменению

развала, обусловленному боковым креном кузова. Если центр продольного крена может быть размещен выше оси колес, это не только повысит эффективность противодействия крену при торможении, но и уменьшит «приседание» при разгоне в случае ведущих колес. Недостатки такой конструкции является то, что при торможении на нижний рычаг действует большая горизонтальная сила, а различная длина рычагов создает изменение развала колеса и изменение колес» [6].

Конструкция подвески на двойных поперечных рычагах представлена на рисунке 1.



1 – верхний поперечный рычаг, 2 – амортизатор, 3 – пружина, 4 – приводной вал, 5 – рулевая тяга, 6 – нижний поперечный рычаг

Рисунок 1 – Конструкция подвески на двойных поперечных рычагах

1.5 Преимущества и недостатки подвески на двойных поперечных рычагах

«Любой механизм имеет свои преимущества и недостатки, подвеска на двойных поперечных рычагах не стала исключением» [2].

Из преимуществ, это отличная управляемость и устойчивость. Двойные поперечные рычаги обеспечивают точное управление колесами, что приводит к лучшей управляемости и устойчивости на поворотах. Возможность оперировать параметрами. Двойные поперечные рычаги позволяют легко регулировать углы установки колес (развал и схождение), что может быть полезно для гоночных или высокопроизводительных автомобилей. Цельный монтаж-демонтаж узла. Двухрычажная подвеска отлично выдерживает большие перегрузки, именно поэтому часто используется на спортивных автомобилях.

Из недостатков, это сложность и стоимость. «Подвеска на двойных поперечных рычагах сложнее в изготовлении и сборке, чем другие типы подвесок, что приводит к более высоким производственным затратам» [20]. Также такая система двойных поперечных рычагов требует больше места внутри колесной арки, что может ограничить пространство для других компонентов, таких как тормозная система. Это сложная конструкция для ремонта и дорогая в обслуживании.

1.6 Кинематические параметры подвески

Развал, схождение и кастер – три основных параметра углов установки колес. Правильные углы установки колес автомобиля имеют решающее значение для обеспечения устойчивости, управляемости, комфорта и безопасности. Машину с неправильными углами установки колес при экстренном торможении может увести в сторону, а системы стабилизации могут работать некорректно.

Развал – угол между вертикалью и плоскостью вращения колеса. Он нужен для обеспечения максимального пятна контакта шины с дорожной поверхностью, что улучшает сцепление, особенно в поворотах. Неправильный угол развала может привести к неравномерному износу шин, сокращая их срок службы.

Схождение – угол между плоскостью вращения колеса и продольной осью автомобиля. Схождение влияет на управляемость автомобиля, особенно при движении по прямой. Положительное схождение обеспечивает лучшую устойчивость при движении по прямой, но может привести к более медленным реакциям на повороты рулевого колеса.

Кастер – это угол наклона оси поворота колеса относительно вертикали. Кастер обеспечивает самовозврат рулевого управления, помогая колесам вернуться в центральное положение после поворота. Это улучшает управляемость и стабильность при движении по прямой.

«Оптимальный угол кастера зависит от типа автомобиля, его предназначения и условий эксплуатации» [20]. В целом, положительный кастер обеспечивает лучшую устойчивость и управляемость, но может привести к более тяжелому рулевому управлению. Отрицательный кастер облегчает рулевое управление, но может ухудшить устойчивость и управляемость.

В качестве вывода по главе можно отметить несомненную актуальность разработки виртуальной лабораторной работы по определению таких кинематических параметров подвески на двойных рычагах как углы развала и схождения автомобиля.

Глава 2 История и эволюция 3D-проектирования

2.1 История развития 3D-проектирования

Современный мир стремительно развивается, и технологии играют в этом ключевую роль. Новые методики проектирования и создания моделей внедряются во все сферы деятельности, позволяя создавать более эффективные и инновационные решения.

3D-моделирование стало неотъемлемой частью современного проектирования. Это мощный инструмент, который значительно облегчает труд дизайнеров, инженеров и других специалистов. Благодаря 3D-моделированию можно создавать виртуальные прототипы объектов, проводить виртуальные испытания и оптимизировать процессы проектирования.

Зарождение 3D-моделирования можно отнести к 60-70 годам прошлого века. Первые модели представляли собой простые геометрические фигуры, построенные на основе математических формул, которые задавали положение точек и кривых. В это же время в США, в институте штата Юта, была создана первая кафедра, специализирующаяся на компьютерной графике и ее развитии.

Огромный вклад в развитие 3D-графики внес Иван Сазерленд, который разработал программу Sketchpad. Sketchpad позволяла создавать простые объемные модели и фигуры, заложив фундамент для будущих технологий.

Развитие 3D-моделирования было значительно ускорено индустрией компьютерных игр и кинематографа. Эти отрасли требовали постоянного улучшения визуальных эффектов, что породило новые алгоритмы и технологии в сфере 3D-графики.

По мере развития 3D-моделирования его возможности стали интересовать специалистов из разных областей. В медицине, архитектуре, дизайне и, конечно, в промышленности, 3D-моделирование быстро нашло

свое применение.

3D-моделирование представило собой точный и эффективный способ разработки проектов любой сложности. Возможность внесения изменений на любой стадии проектирования без больших затрат времени и ресурсов сделала 3D-моделирование незаменимым инструментом. Кроме того, 3D-моделирование позволяет оценить все характеристики модели, включая размеры, эргономичность и функциональность.

3D-проектирование – это увлекательный процесс создания виртуальных моделей с помощью специализированных программ и оборудования. Он позволяет воссоздать проект в мельчайших деталях, отражая его размеры, структуру, объем и другие характеристики. Основа 3D-моделирования – набор геометрических точек и линий, которые формируют виртуальную фигуру. Это позволяет создавать реалистичные и детализированные модели, отражающие все аспекты проекта.

Одним из ключевых преимуществ 3D-моделирования является возможность внесения корректив на любой стадии проектирования. Цифровая модель позволяет анализировать и корректировать проект без необходимости тратить материалы на физический прототип. Это значительно сокращает время и стоимость разработки.

2.2 Эволюция автоматизированного проектирования

«Программное обеспечение для систем автоматизированного проектирования (САПР) – это мощный инструмент, используемый профессионалами различных областей, включая графических дизайнеров, архитекторов, дизайнеров интерьеров и инженеров. С помощью САПР они создают эскизы, технические чертежи и визуализации для различных целей»[7].

В России термин «САПР для машиностроения» часто применяется для обозначения комплексных программных пакетов, которые на английском

языке называются CAD/CAM/CAE. Эти пакеты включают в себя функции для:

- автоматизированного проектирования (CAD) – создание и редактирование чертежей и моделей;
- подготовки производства (CAM) – создание программ для станков с ЧПУ и роботов;
- инженерного анализа (CAE) – проведение симуляций и анализа свойства материалов и поведения конструкции.

«Начало разработки программного обеспечения для автоматизированного проектирования и CAD-проектирования начинается в середине двадцатого века. Инженер Патрик Ханратти, работая в компании General Motors Corp, разработал графический интерфейс для проекта GM DAC (Design Augmented by Computers), занимаясь экспериментальной обработкой данных и решая задачи, связанные с трех-, четырех- и пятиосевой обработкой поверхностей» [7]. Этот новаторский САПР-проект отличался адаптивной визуальной графикой, что было беспрецедентным достижением в области вычислительной техники, хотя и ограничивалось двумерным представлением.

«Позже Ханратти добился коммерческого успеха, основав новую компанию под названием Manufacturing and Consulting Services. Среди продуктов этой компании выделяются системы INTERART, ADAM и ANVILL. Его новое программное обеспечение, названное ADAM (Automated Drafting and Machining), было первой в своем роде коммерчески доступной системой черчения и обработки, интегрирующей графическое представление, техническое рисование и производство в единую адаптивную систему» [8].

Ханратти, заложил основы для области трёхмерной графики для дизайнеров и инженеров-механиков, но с тех пор, как эта технология появилась в 1970-х, она прошла долгий путь.

«В результате начали появляться крупные коммерческие системы автоматизированного проектирования, такие как CATIA (Computer Aided

Three-Dimensional Interactive Application), особенно в автомобильной и аэрокосмической отраслях» [7]. В 1982 году группа программистов объединилась, чтобы создать компанию Autodesk. В следующем году они выпустили свою флагманскую программу AutoCAD, которая произвела революцию в отрасли проектирования. AutoCAD стал первой широко известной программой автоматизированного проектирования для компьютеров IBM. Его выпуск ознаменовал собой значительный шаг вперед в развитии САПР.

Современный мир 3D-дизайна – это обширная экосистема программных продуктов и графических пакетов, способных реализовать практически любую идею, которую может вообразить дизайнер или инженер. Хотя Autodesk является одним из ведущих игроков в области САПР, существует множество других программ, некоторые из которых специализируются на узких, нишевых областях или интересах. «Вот несколько основных примеров современных решений для 3D-проектирования (моделирования): Kompas 3D, Blender, Fusion 360, NX, SolidWorks» [1].

Пройдя путь от первых зачатков автоматизированного проектирования в середине XX века до современных, высокотехнологичных программ, 3D САПР претерпел значительную эволюцию. От простых двумерных чертежей до реалистичных виртуальных моделей. Технология САПР преобразила мир проектирования и производства.

В качестве вывода по главе можно отметить большое разнообразие систем автоматизированного проектирования как отечественного, так и зарубежного производства. В качестве системы в которой будет создаваться виртуальный лабораторный стенд выбран пакет SolidWorks, отвечающий всем требованиям для подобной работы.

Глава 3 3D-моделирование подвески в CAD-системе SolidWorks

Для создания 3D-модели, в данной работе используется САПР SolidWorks. Эта программа удобна для твердотельного моделирования и экспорта моделей в STP-формат.

Построение работы начинается с выбора плоскости и создания эскиза верхнего поперечного рычага (рисунок 2).

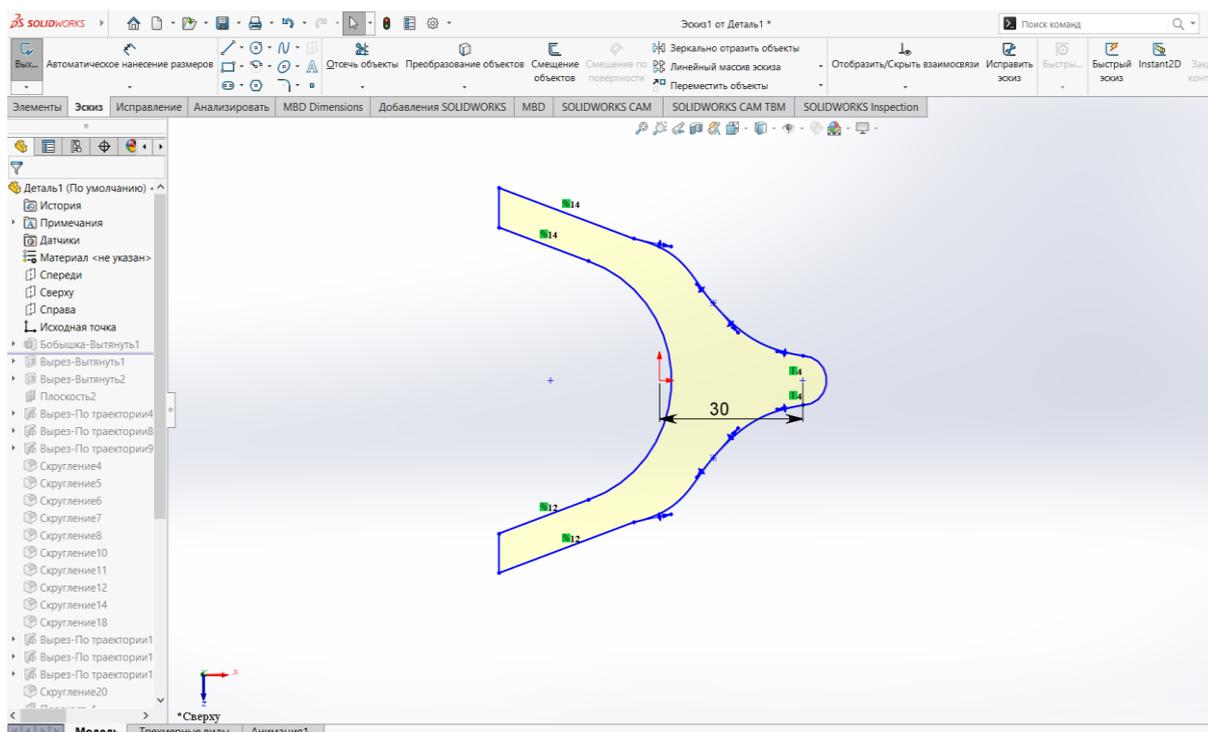


Рисунок 2 – Эскиз верхнего поперечного рычага

Далее, с помощью команды «Бобышка-Вытянуть» придаем нужную толщину детали (рисунки 3, 4).

Далее, выбрав поверхность на детали, и построив необходимый эскиз, с помощью команды «Вырез-Вытянуть» выполняем нужное нам отверстие (рисунки 5, 6).

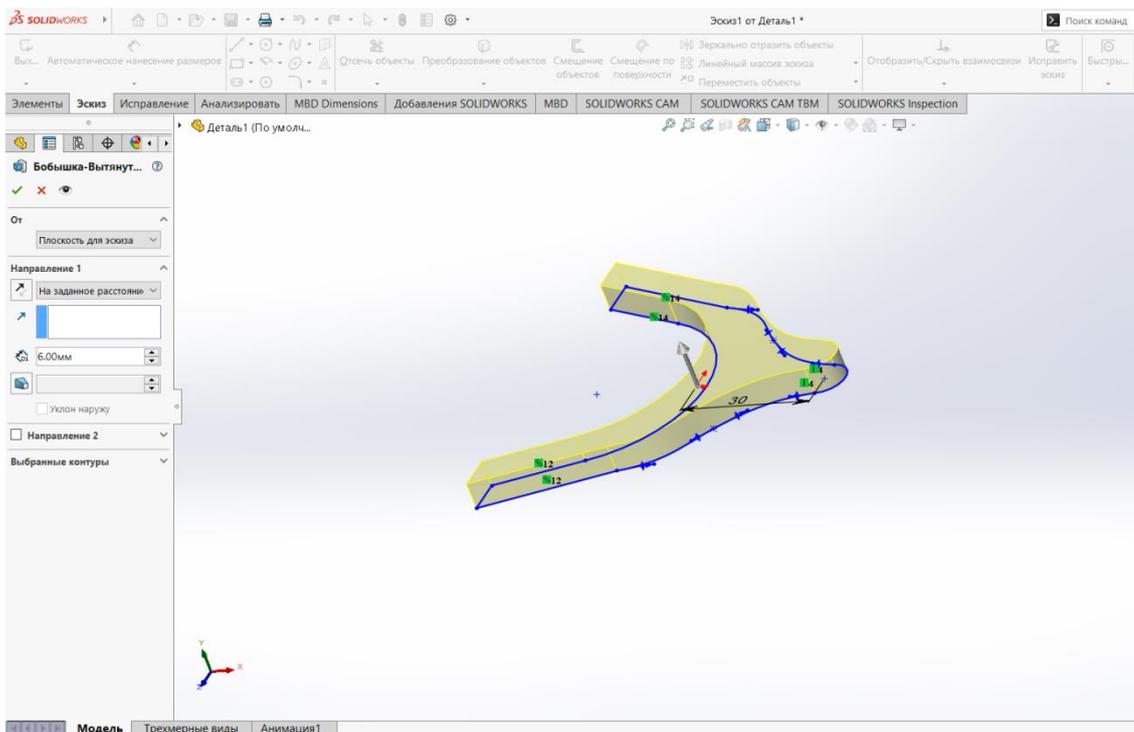


Рисунок 3 – Команда «Бобышка – Вытянуть»

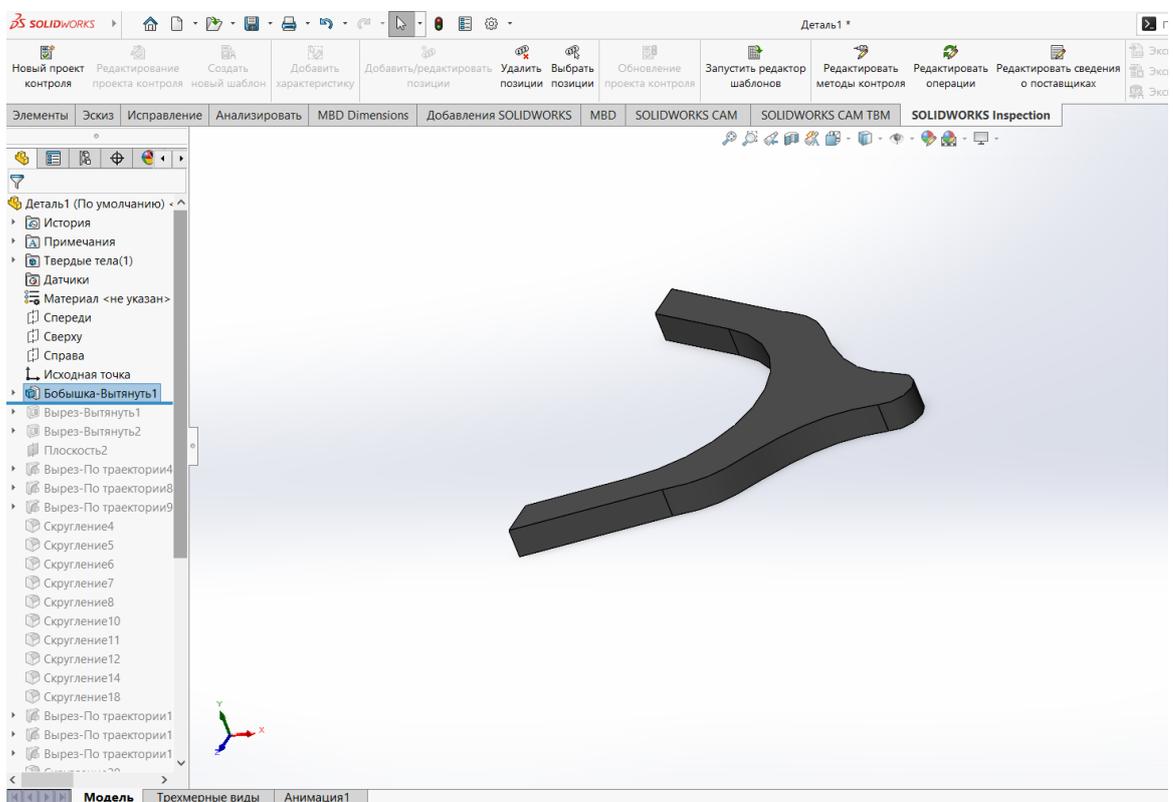


Рисунок 4 – Завершенная команда «Бобышка – Вытянуть»

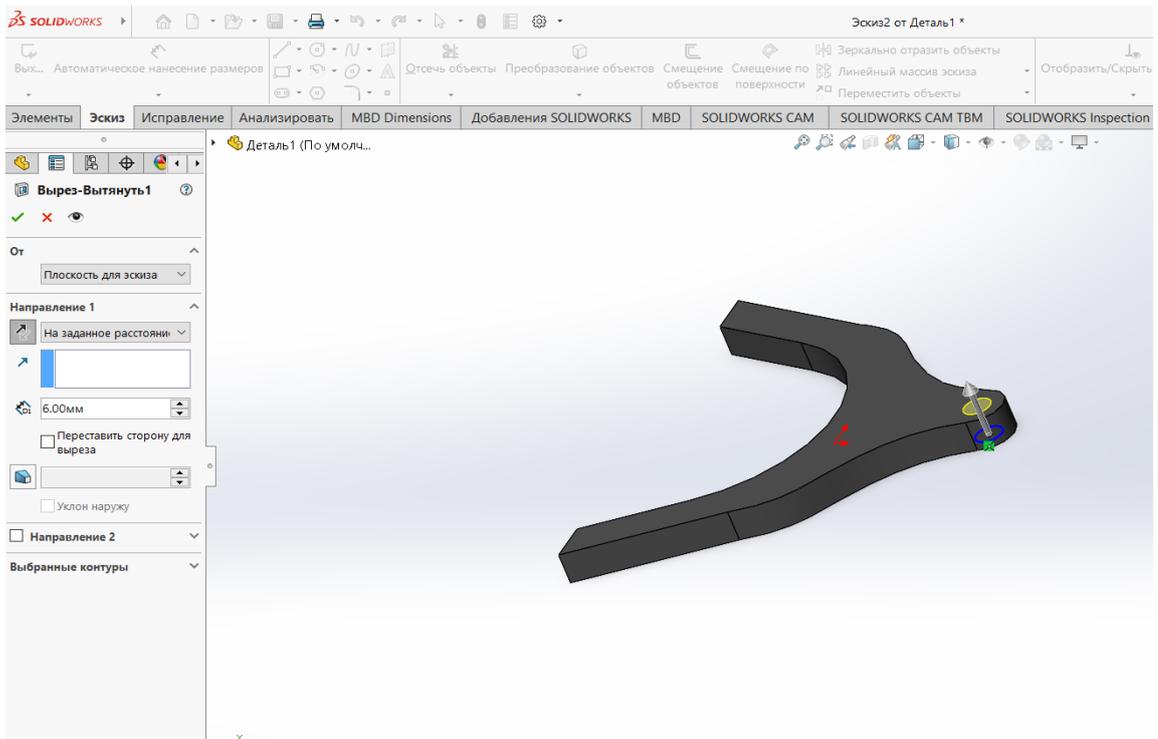


Рисунок 5 – Команда «Вырез-Вытянуть»

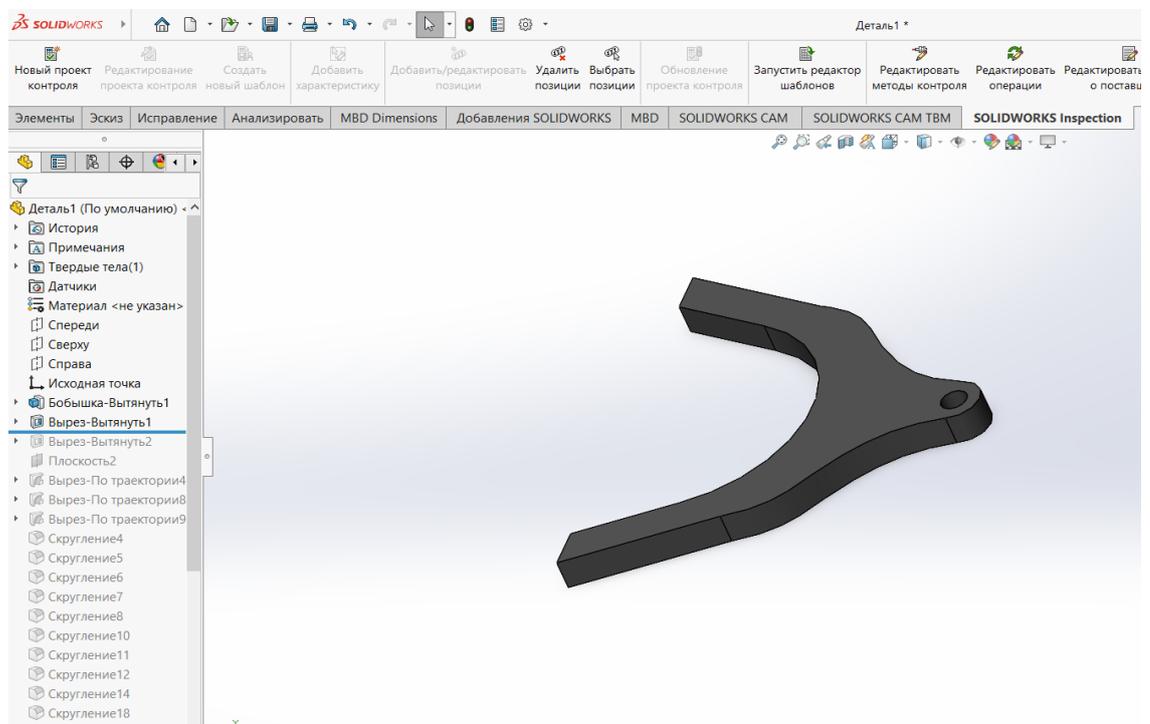


Рисунок 6 – Завершенная команда «Вырез-Вытянуть»

Также с помощью команды «Вырез-Вытянуть» отсекаем ненужные элементы (рисунки 7, 8)

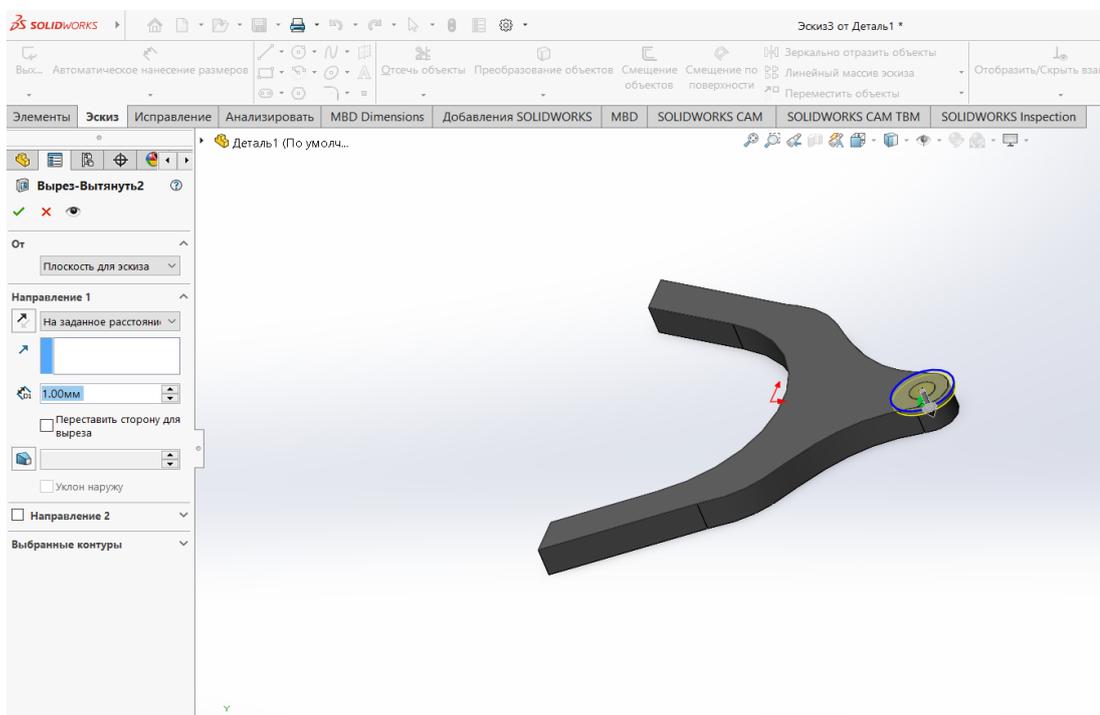


Рисунок 7 – Команда «Вырез-Вытянуть»

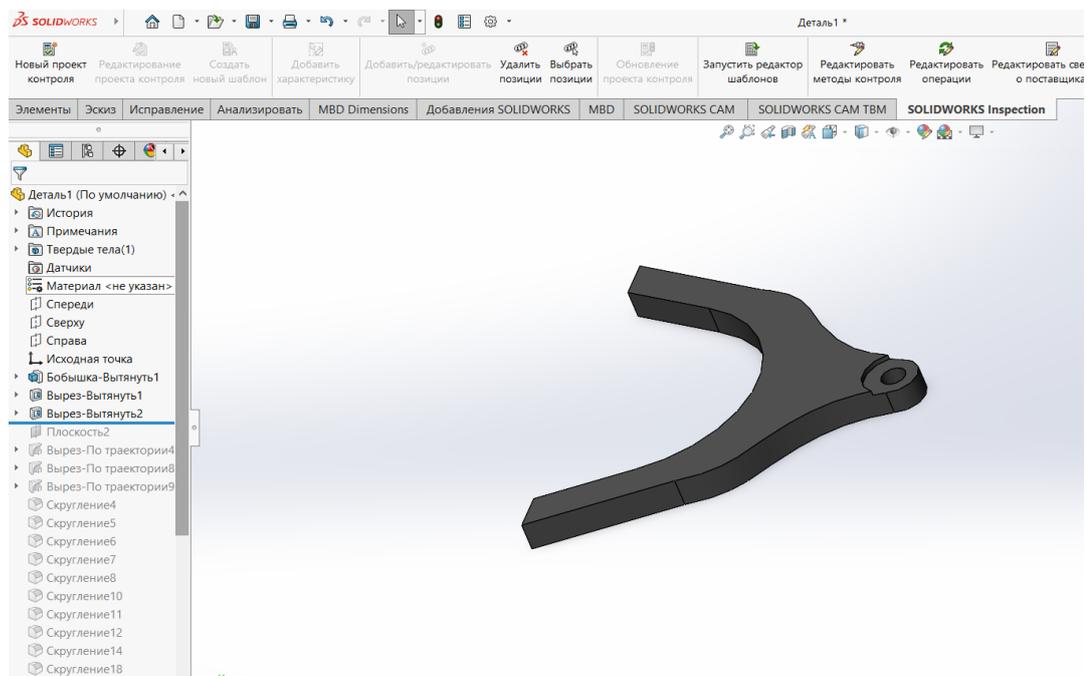


Рисунок 8 – Завершенная команда «Вырез-Вытянуть»

Далее, на углах модели используем команды «Вырез – По траектории» и «Скругление» (рисунки 9-12)

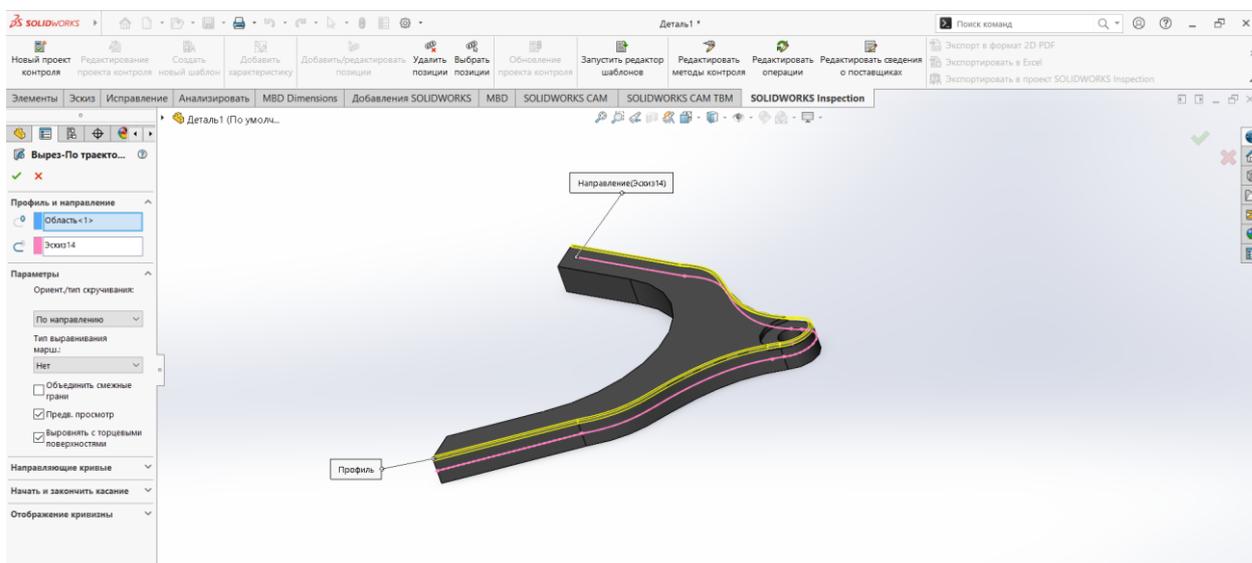


Рисунок 9 – Команда «Вырезать - По траектории»

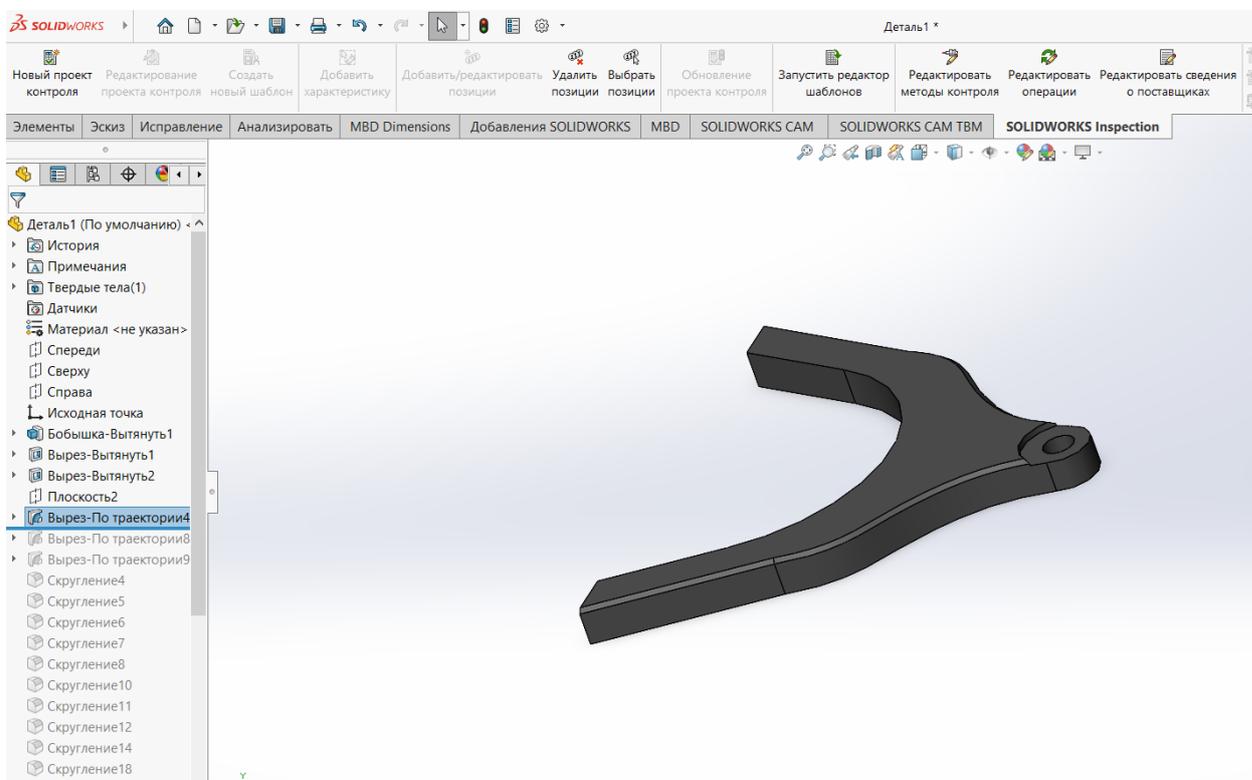


Рисунок 10 – Завершенная команда «Вырезать – По траектории»

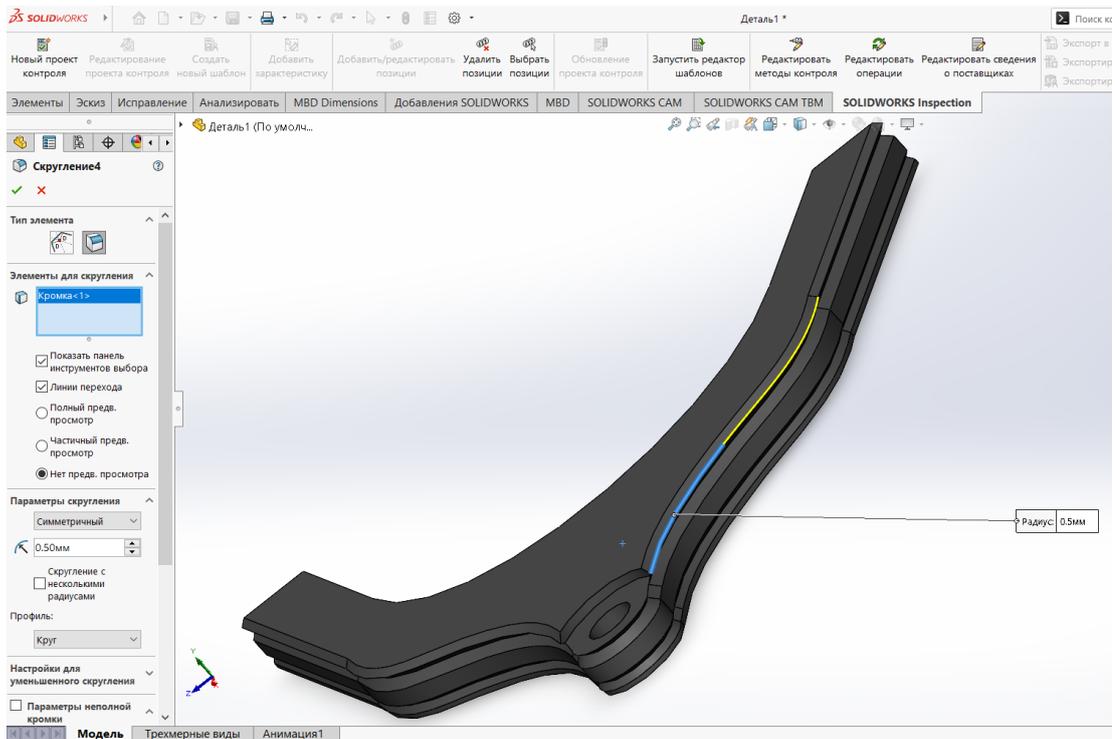


Рисунок 11 – Команда «Скругление»

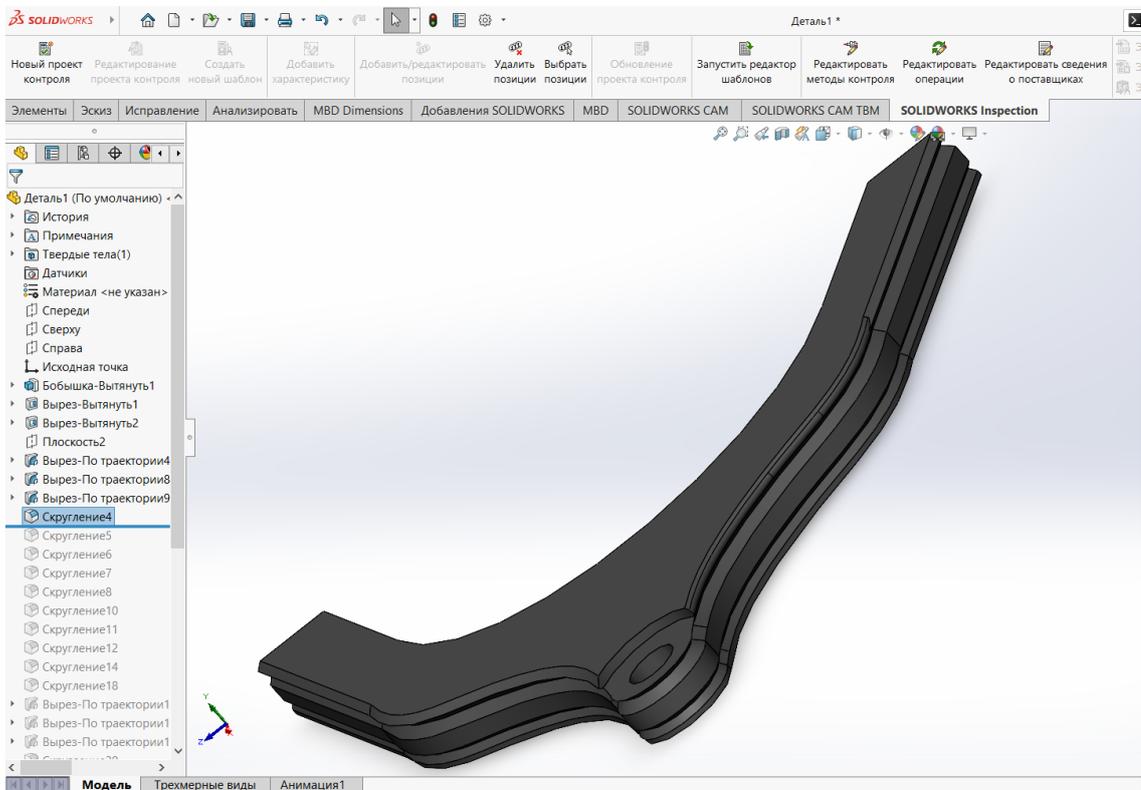


Рисунок 12 – Завершенная команда «Скругление»

Применяем данные команды на все нужные нам углы (рисунок 13).

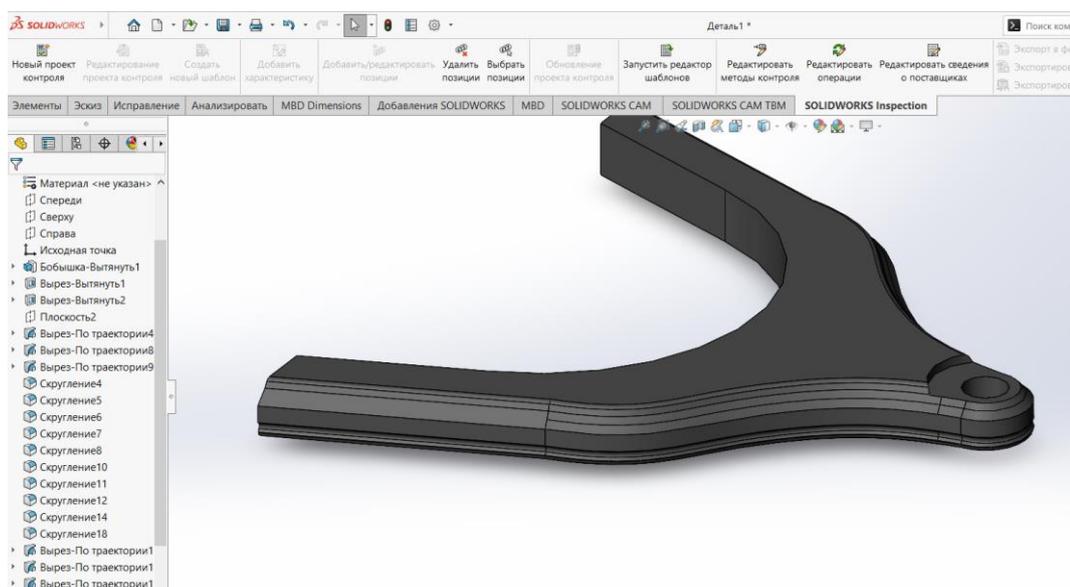


Рисунок 13 – Завершенные команды «Скругление» и «Вырезы по траектории»

Следующее, что делаем, это основу под крепление, для этого вновь используем команду «Вырез – Вытянуть» (рисунки 14, 15).

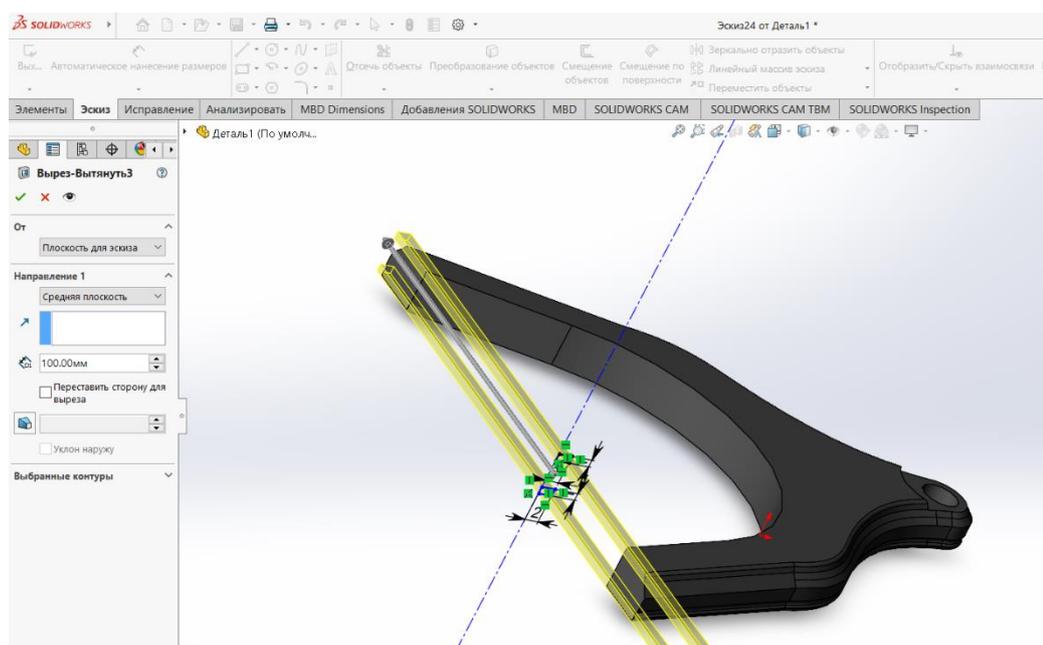


Рисунок 14 – Команда «Вырез-Вытянуть»

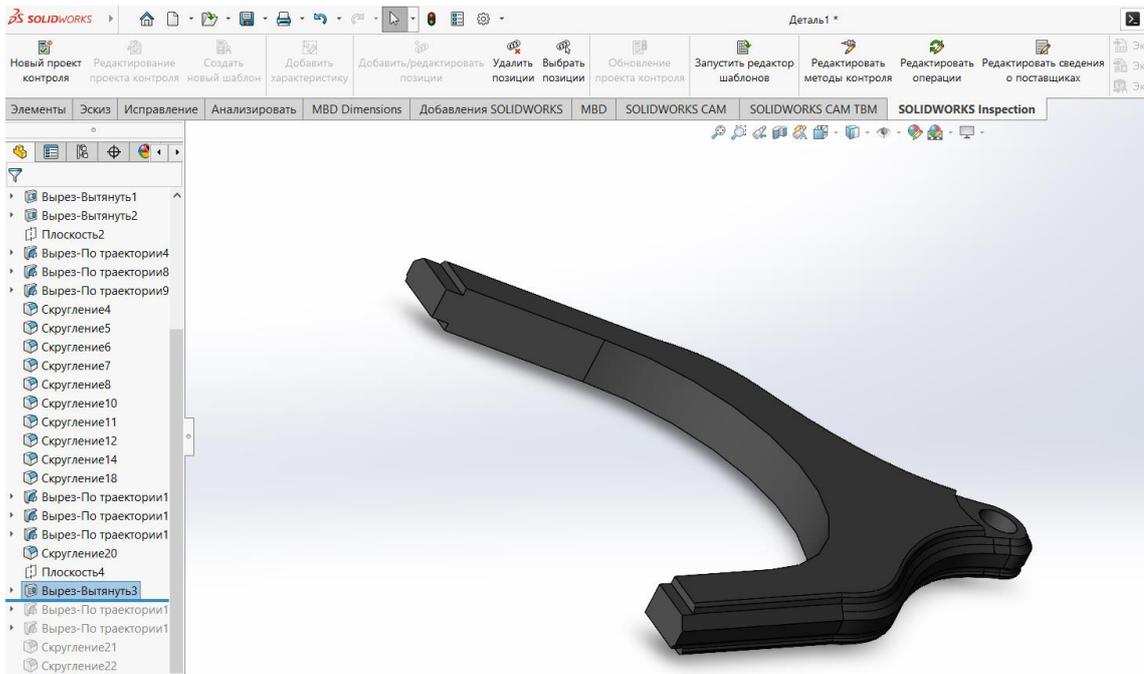


Рисунок 15 – Завершенная команда «Вырез – Вытянуть»

Далее, вновь убираем углы с помощью команд «Вырез – По траектории» и «Скругление» (рисунок 16)

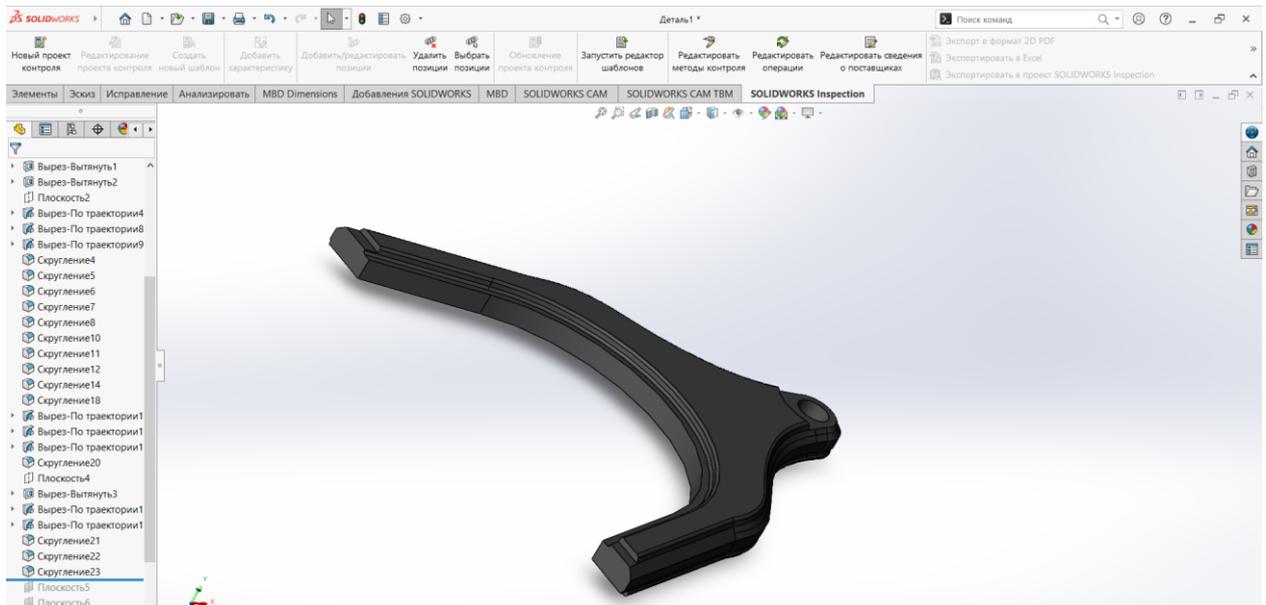


Рисунок 16 – Завершенные команды «Вырез – По траектории» и «Скругление»

Выполняем втулку с помощью эскиза и команды «Бобышка – Вытянуть» (рисунки 17-20).

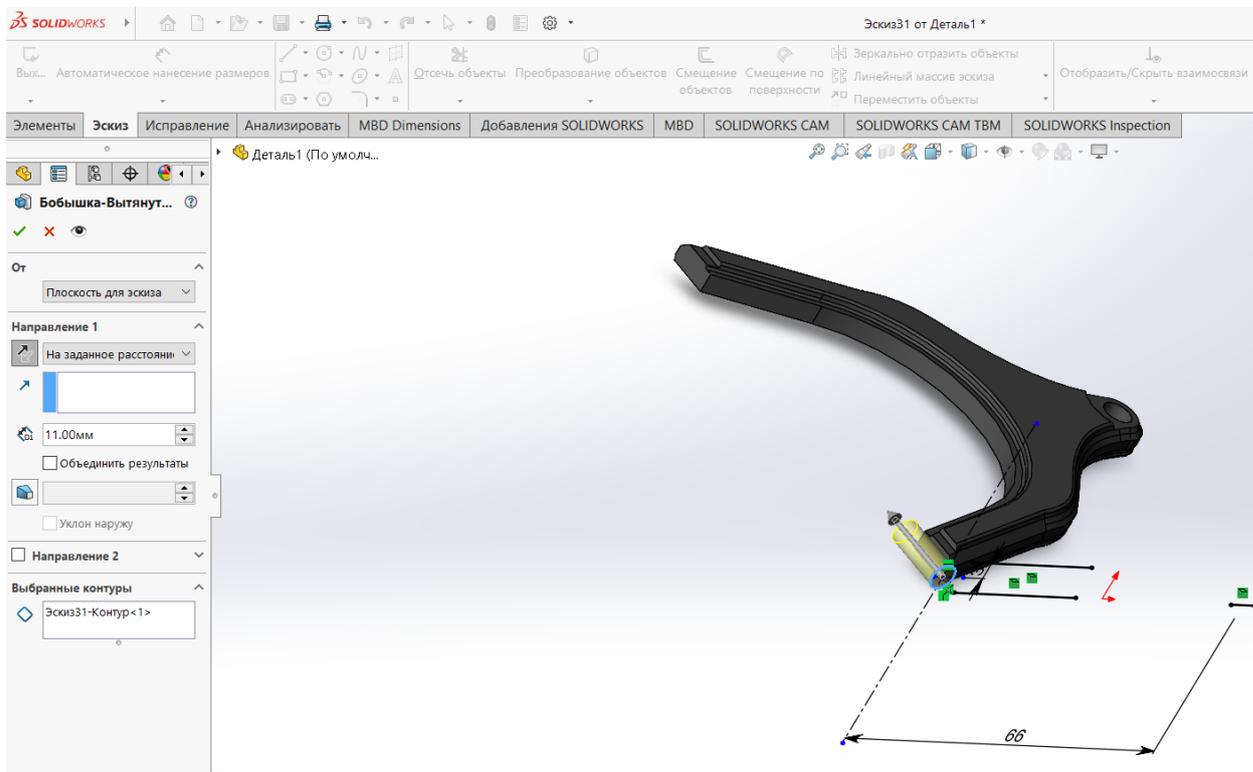


Рисунок 17 – Команда «Бобышка-Вытянуть»

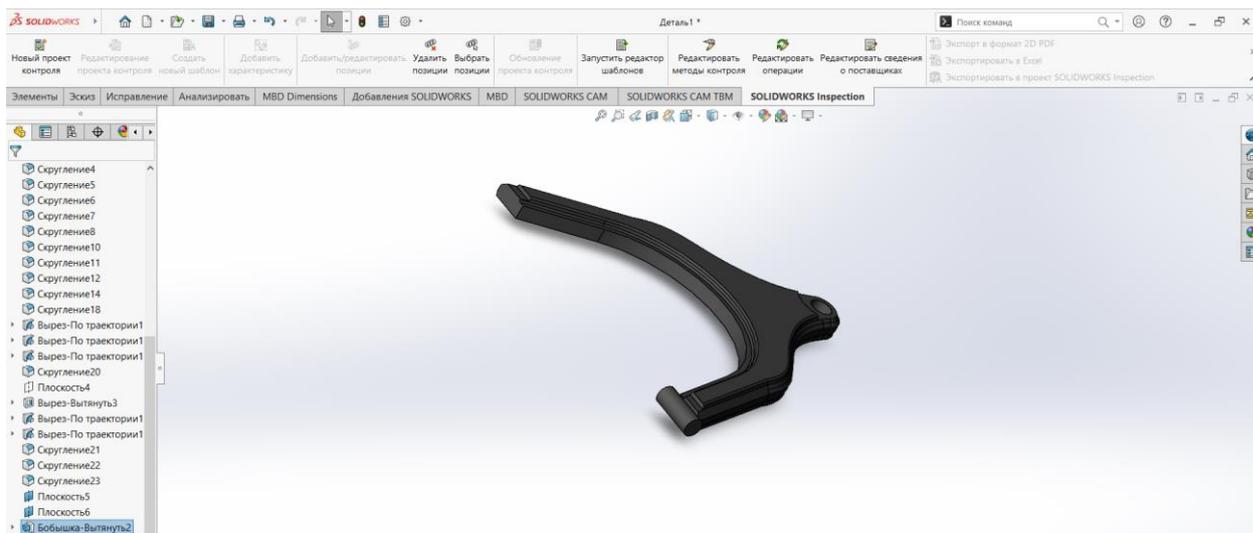


Рисунок 18 – Готовый элемент втулки

Делаем отверстие во втулке с помощью команды «Вырез – Вытянуть».

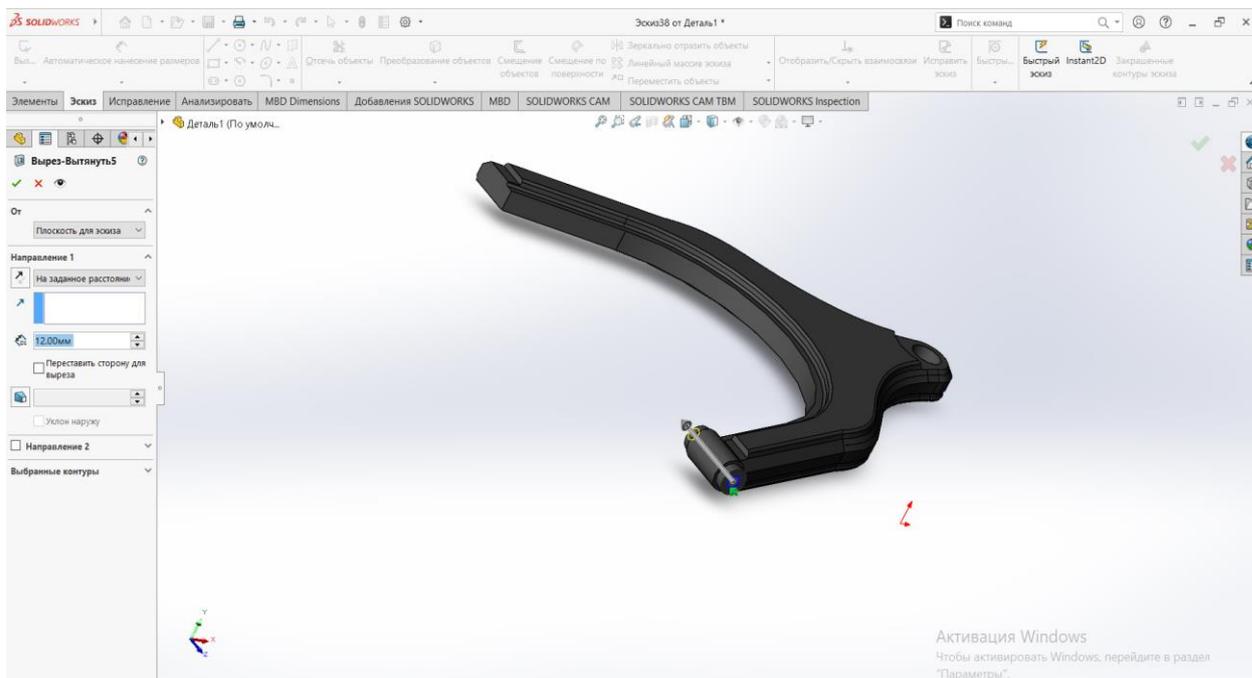


Рисунок 19 – Команда «Вырез – Вытянуть»

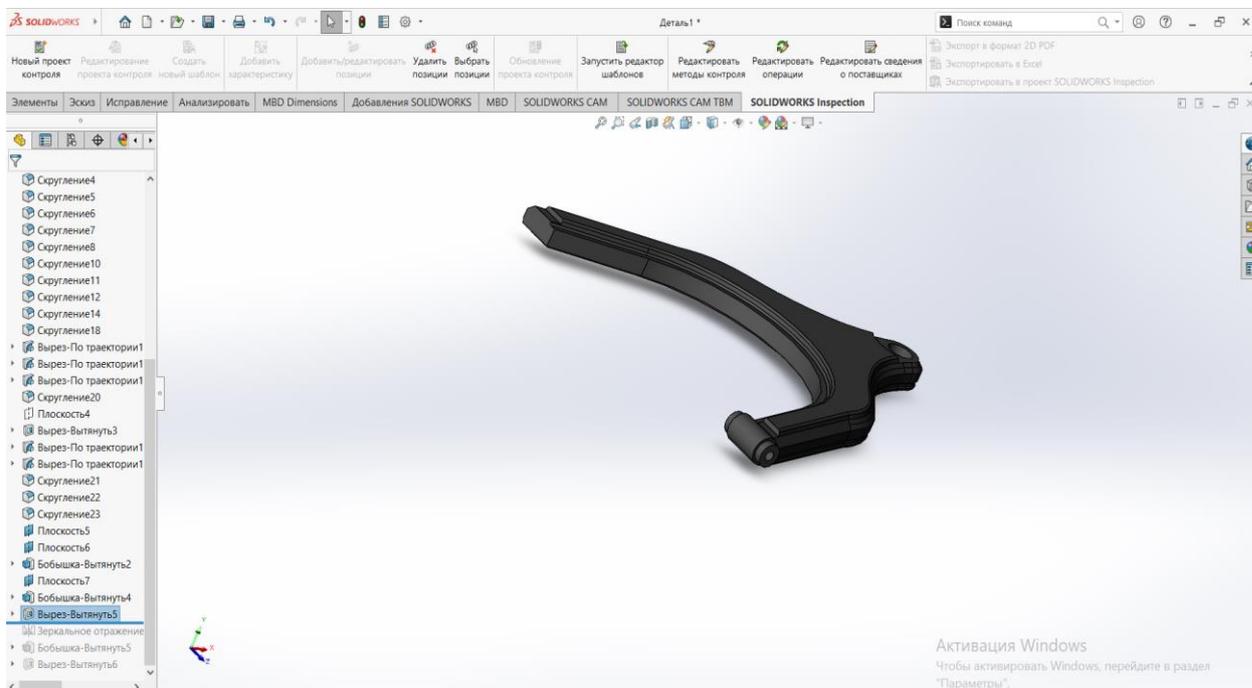


Рисунок 20 – Завершенная команда «Вырез – Вытянуть»

Используя команду «Зеркальное отражение» делаем вторую втулку (рисунок 21). На рисунке 22 представлена готовая модель рычага.

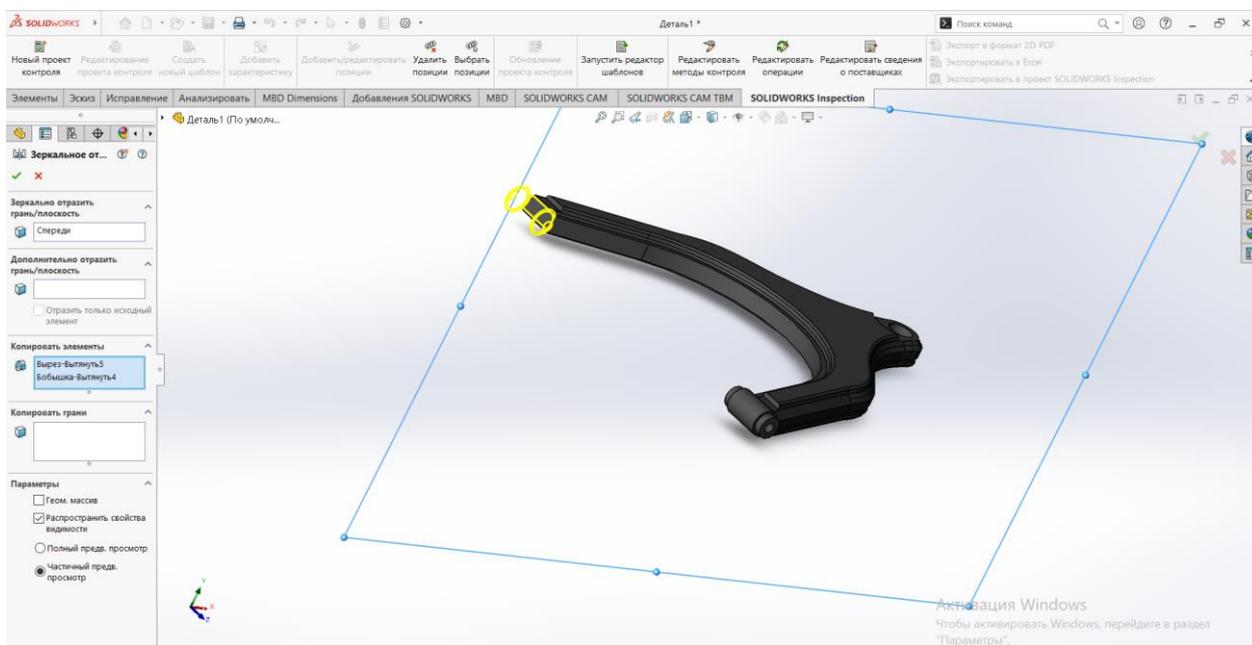


Рисунок 21 – Команда «Зеркально отражение»

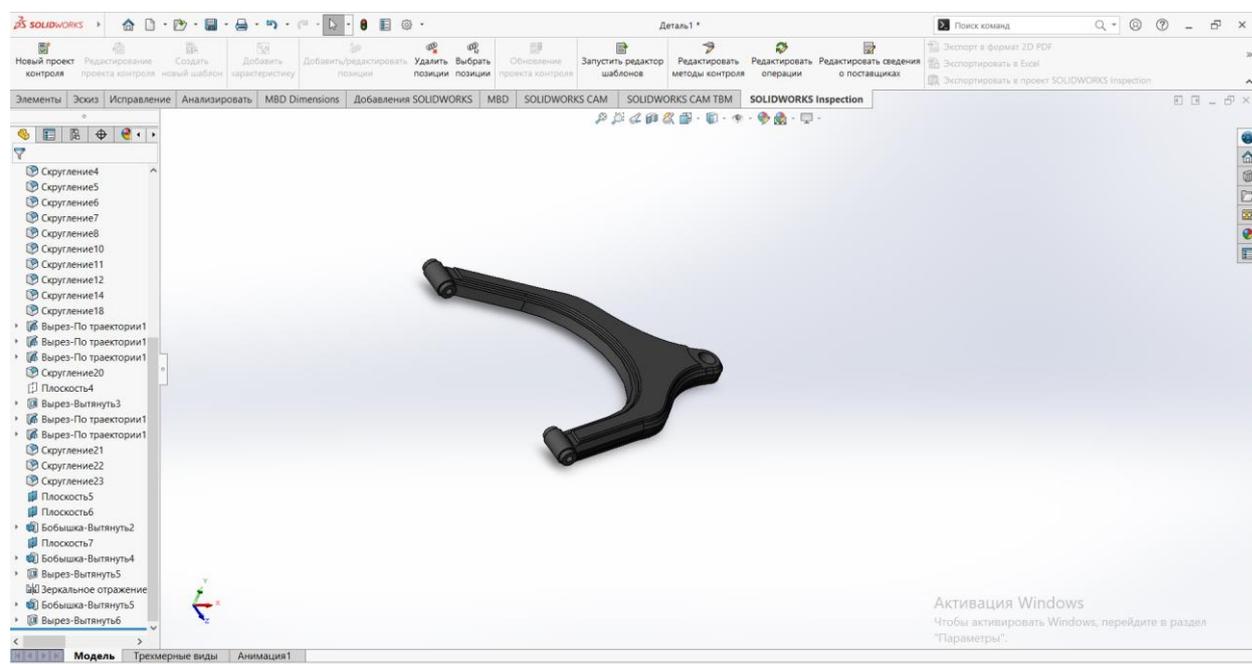


Рисунок 22 – Завершенная модель рычага

По такому же принципу выполняются остальные детали, входящие в конструкцию лабораторного стенда. Завершенные модели деталей представлены на рисунках 23-25.

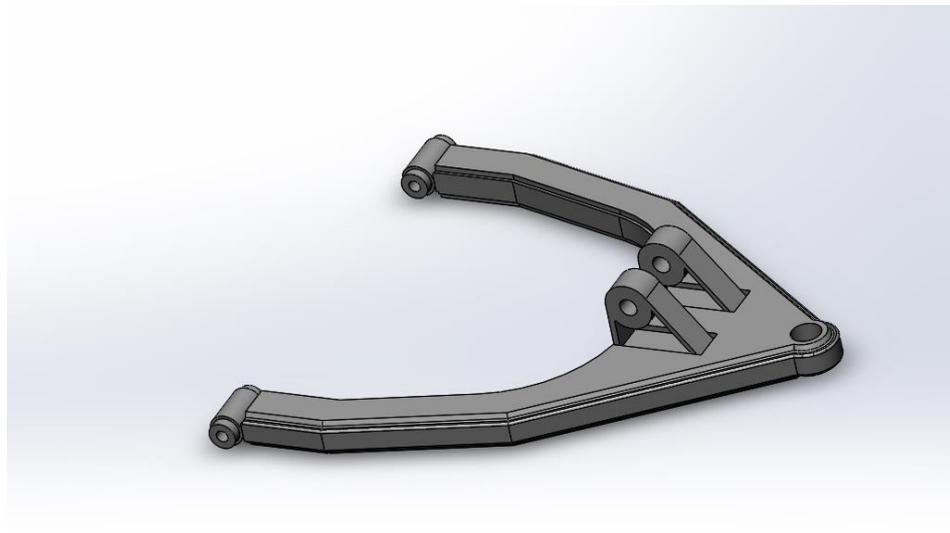


Рисунок 23 – Нижний поперечный рычаг

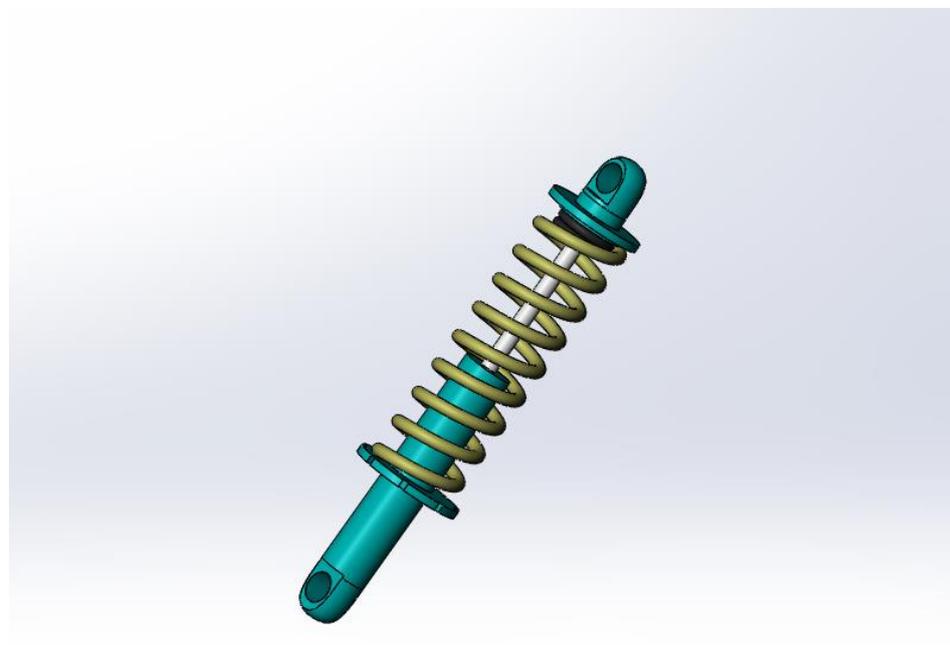


Рисунок 24 – Амортизатор с пружиной

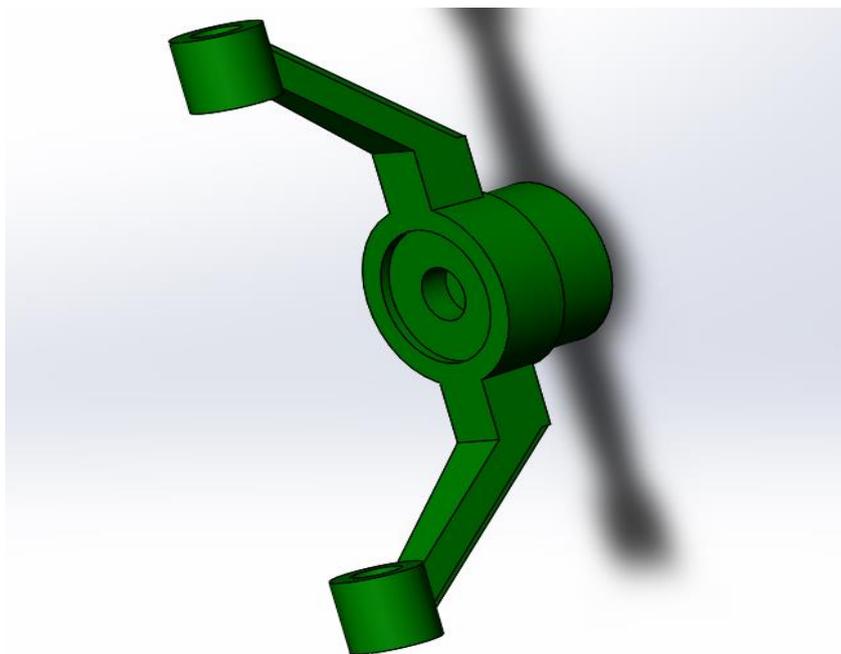


Рисунок 25 – Поворотный кулак

На рисунке 26 представлена 3D-модель узла подвески.

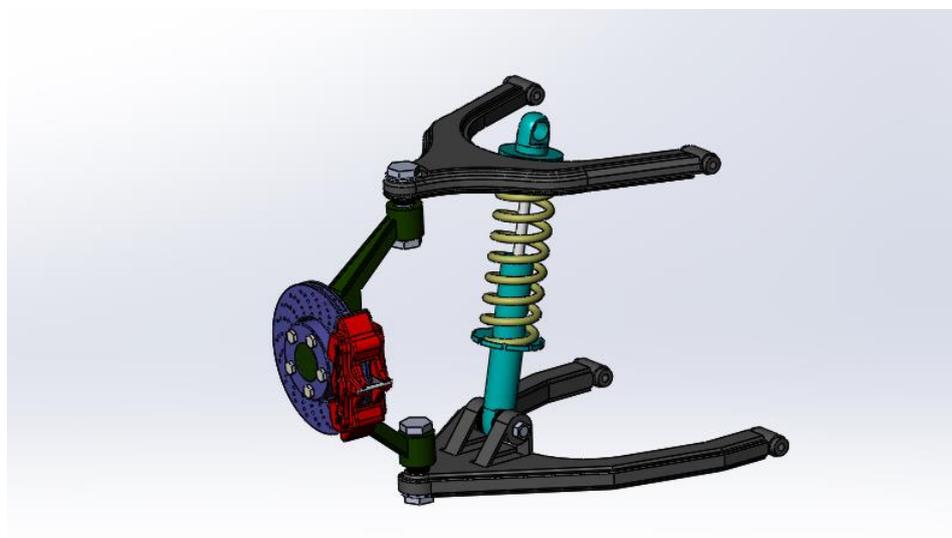


Рисунок 26 – Подвеска в сборе

На рисунках 27-28 представлены рама стенда и готовая полностью собранная модель стенда.

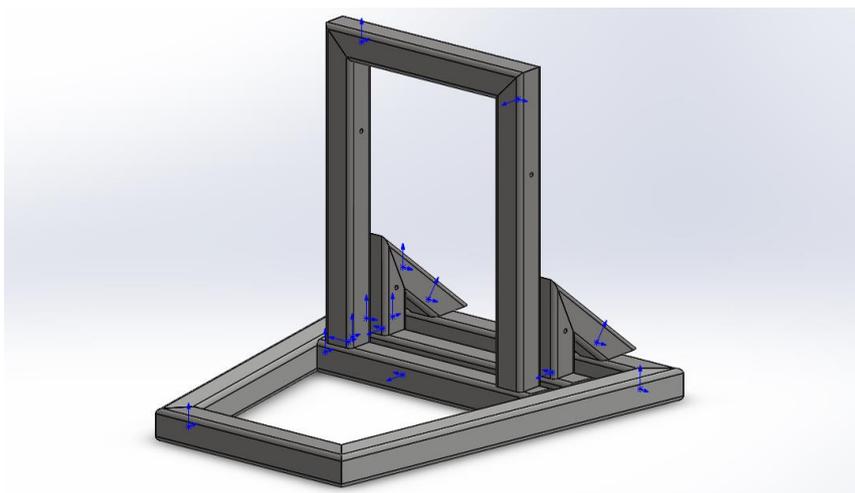


Рисунок 27 – Рама стенда

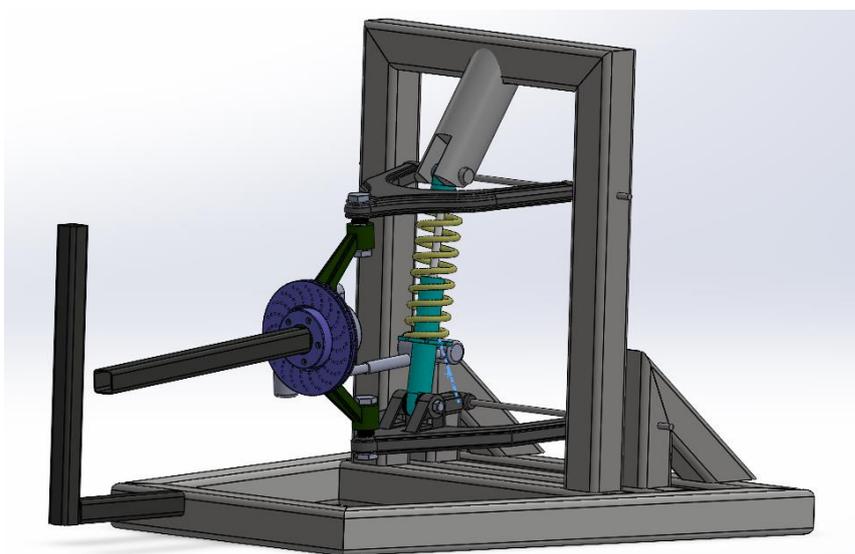


Рисунок 28 – Стенд в сборе

В качестве вывода по главе можно утверждать, что все основные шаги для создания виртуальной лабораторной установки для анализа кинематических характеристик выполнены – создана 3D-модель стенда, на базе которой есть возможность проводить замеры углов развала и схождения автомобиля, в зависимости от положения элементов.

Глава 4 Методические указания к лабораторной работе «Определение кинематических характеристик подвески типа двойные поперечные рычаги»

4.1 Цель работы

Практическое изучение подвески типа "двойные поперечные рычаги", включая ее конструктивные особенности и принцип работы, а также определение ее кинематических характеристик.

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 29).

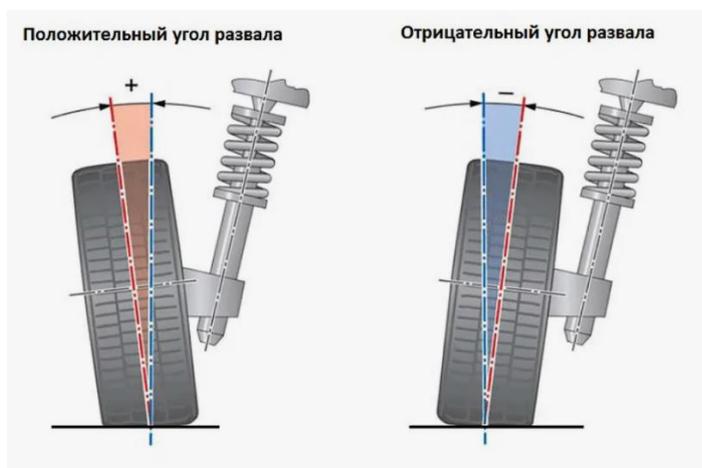


Рисунок 29 – Положительный и отрицательный углы развала

Схождение – угол между плоскостью вращения колес и горизонталью (рисунок 30).

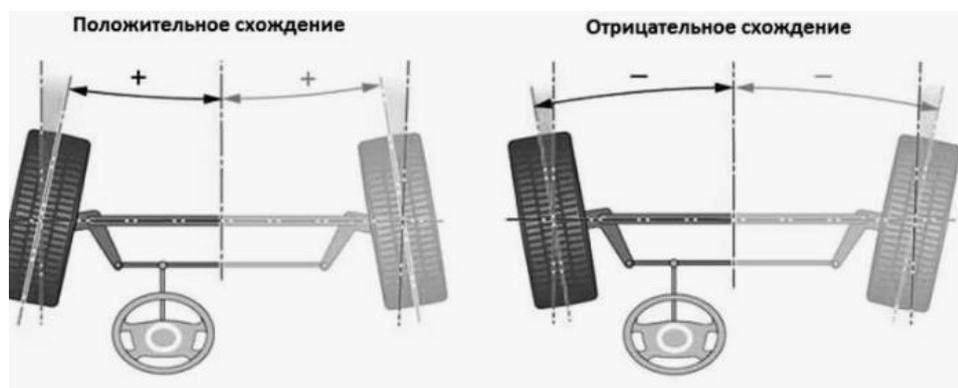


Рисунок 30 – Положительный и отрицательный углы схождения

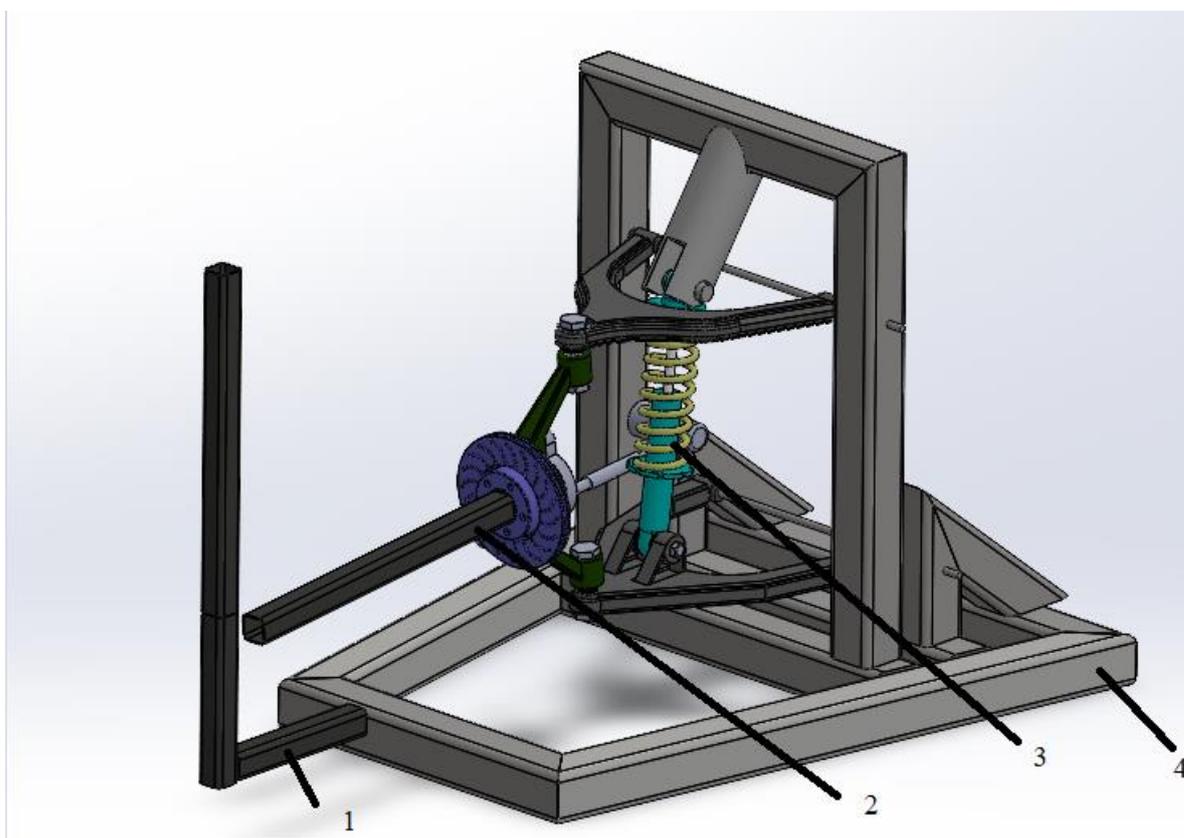
Развал и схождение – это два ключевых параметра, определяющих геометрию колес автомобиля относительно кузова. Правильная настройка этих углов обеспечивает стабильность, управляемость, комфорт и безопасность движения.

4.3 Программа работы

1. Изучить устройство стенда для исследования кинематических характеристик передней подвески
2. Определить зависимость углов развала и схождения подвески.

4.4 Описание лабораторной установки

Лабораторный стенд представляет собой стенд, состоящий из следующих частей (рисунок 31).



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

Рисунок 31 – Общий вид стенда

Стенд состоит из рамы, выполненной из балок квадратного сечения, на

которой крепится передняя подвеска автомобиля. Два поперечных рычага и амортизатор крепятся к этому стенду. Поворотный кулак крепится к ступице с помощью болтового соединения и к рычагам подвески при помощи шаровых шарниров. К поворотному кулаку крепится рулевая тяга с помощью поворотного уха. Ко всей этой конструкции крепятся две шкалы измерения.

4.5 Принцип работы стенда

Запускаем пакет SolidWorks и открываем лабораторную работу.

Далее, в дереве конструирования, которое расположено слева, выбираем «Деталь 4», открываем вкладку «сопряжение» и нажимаем на «последнее расстояние 18» (рисунок 32).

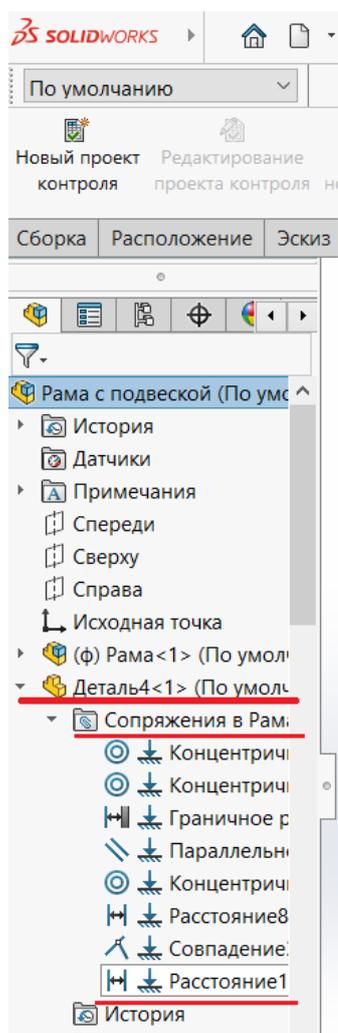


Рисунок 32 – Элемент расстояния

Далее, кликаем правой кнопкой мыши на «Расстояние 18» и выбираем функцию «редактировать определение» (рисунок 33).

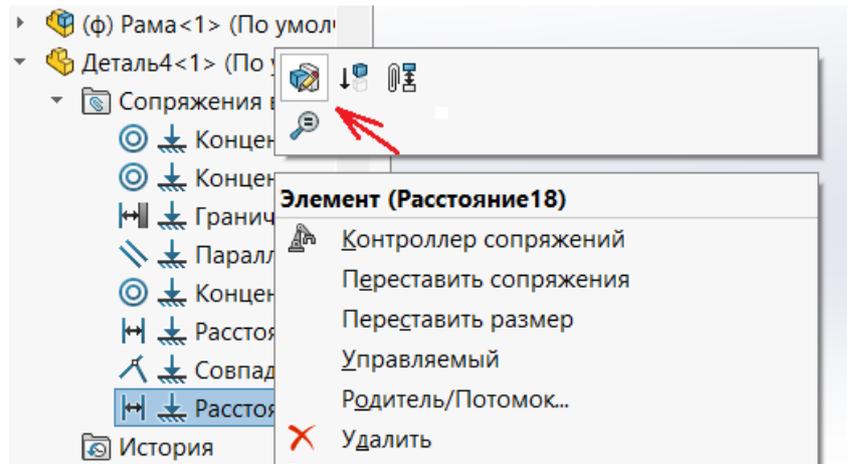


Рисунок 33 – Функция «редактировать определение»

Далее, с помощью функции «Переставить размер» выставляем в 20 мм сжатие подвески. Это ее номинальное положение (рисунок 34).

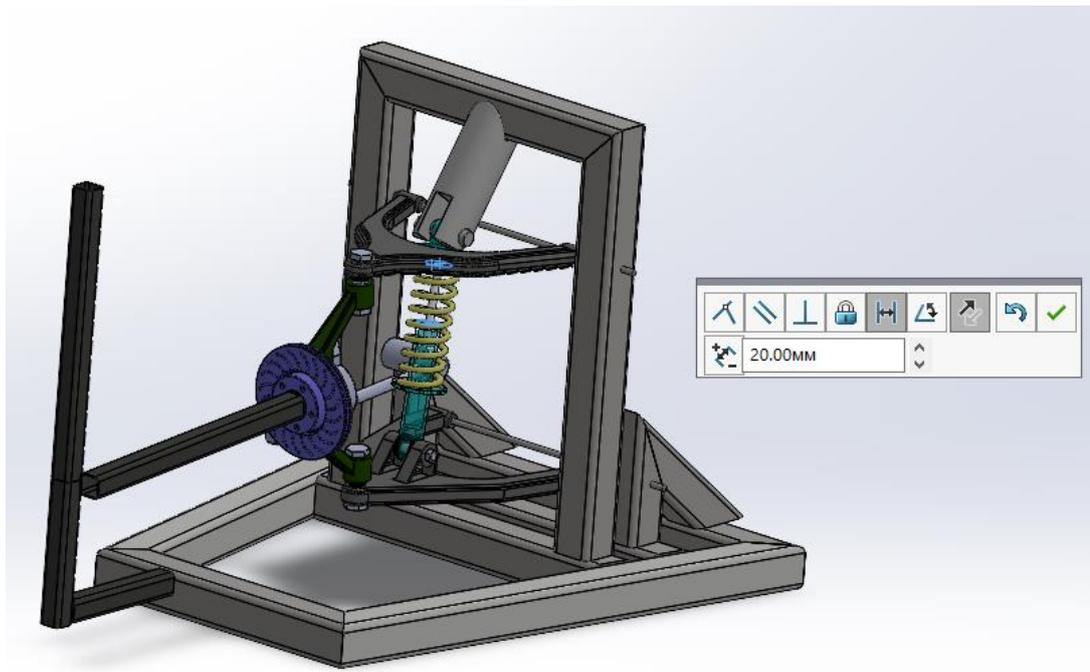


Рисунок 34 – Номинальное положение подвески

После этого, переходим во вкладку «DimXpertManager», она находится рядом с «деревом конструирования» в левом столбце и выбираем вкладку «цилиндр12» (рисунок 35).

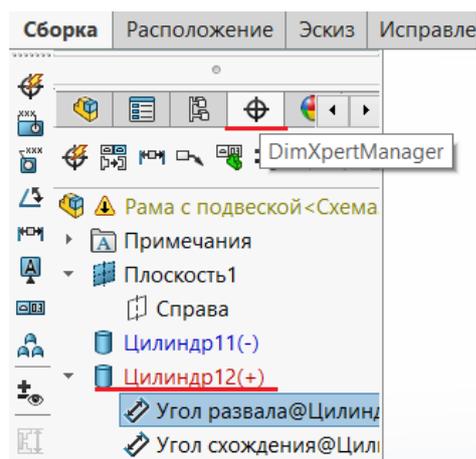


Рисунок 35 – Вкладка «DimXpertManager»

В этой вкладке два элемента «Угол развала» и «Угол схождения».

«Угол развала» это угол между шкалой измерения 1 и шкалой измерения 2 (Рисунок 36).

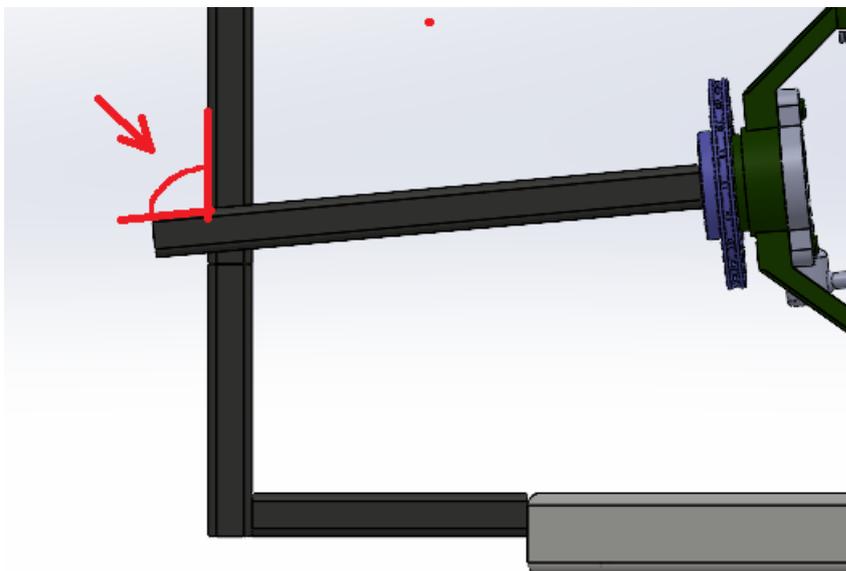


Рисунок 36 – Угол развала

А «Угол схождения» это угол между шкалой измерения 2 и вертикальной плоскостью (рисунок 37).

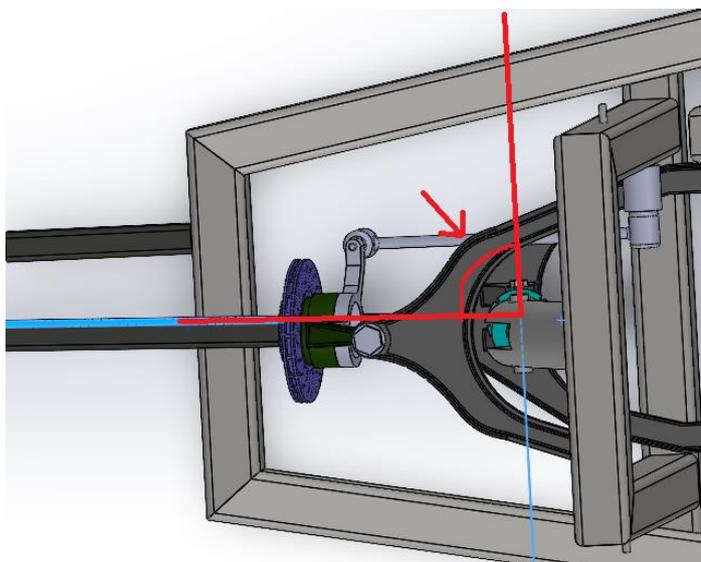


Рисунок 37 – Угол схождения

Далее, наводим курсор мыши на каждую функцию, где будет видно значение и снимаем показания (рисунки 38, 39).

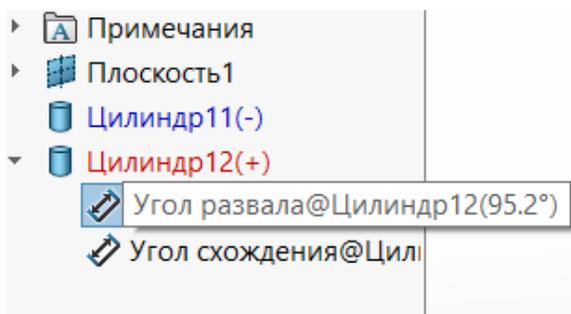


Рисунок 38 – Показание угла развала

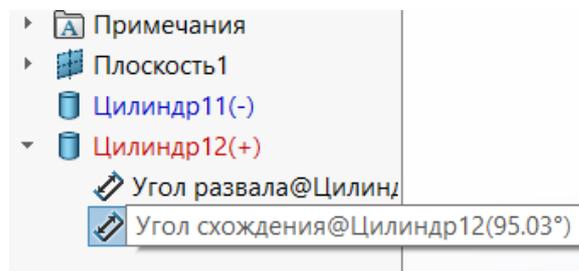


Рисунок 39 – Показание угла схождения

После того как сняли показания углов, мы возвращаемся к подвеске. Сжимаем ее с шагом в 5 мм. Выставляем значение 15 мм и снимаем показания углов. На каждом шагу записываются отклонения развала и схождения. И так пока подвеска не пройдет весь диапазон углов.

4.6 Указания и пояснения к выполнению работы

1. Выставить подвеску в номинал.
2. Произвести сжатие подвески на указанную величину.
3. Замерить показания углов.
4. Повторить пункты 2, 3 до полного сжатия подвески.
5. Построить графики зависимости развала и схождения от хода подвески.

4.7 Содержание отчета

Отчет должен содержать цель лабораторной работы, описание стенда, таблицу полученных данных, графики зависимостей развала и схождения от хода подвески, выводы по работе.

4.8 Вопросы для самоконтроля

1. Что такое развал колес?
2. Что такое схождение колес?
3. Что вы понимаете под управляемостью автомобиля?
4. Что вы понимаете под устойчивостью автомобиля?
5. Как, используя лабораторный стенд можно определить колею автомобиля?

В качестве вывода по главе можно заключить, что методические указания к выполнению лабораторной работы имеют все необходимые пункты как для выполнения работы, так и для оценки качества ее выполнения.

Заключение

В данной бакалаврской работе была разработана виртуальная лабораторная работа по определению кинематических характеристик подвески автомобиля типа «двойные поперечные рычаги».

Актуальность данного проекта обусловлена необходимостью повышения качества обучения, включая практическую подготовку студентов. Виртуальные лаборатории позволяют проводить эксперименты без ограничений в ресурсах и времени, обеспечивая доступ к разнообразным моделям и условиям.

В ходе работы были решены следующие задачи:

- проведен анализ существующих узлов и механизмов;
- разработан концепт виртуальной лабораторной работы;
- реализован интерфейс пользователя с возможностью выбора модели механизма, задания параметров и просмотра результатов;
- проведено тестирование и оценка разработанной системы.

Результаты данной работы представляют собой готовый продукт – виртуальную лабораторную работу, которая может быть использована в процессе обучения студентов инженерных специальностей.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанная система позволяет студентам самостоятельно изучать кинематику механических систем, экспериментируя с разными моделями и условиями.

Перспективы дальнейшего развития работы связаны с расширением функционала виртуальной лаборатории, включением новых моделей механизмов, а также с разработкой интерактивных учебных материалов на основе этой системы.

В заключении можно сказать, что разработка виртуальной лабораторной работы – это перспективное направление в образовании, способствующее повышению качества обучения и формированию 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. Зиновьев Д. В. Основы моделирования в SOLIDWORKS / Студия Vertex г. Павлоград: 2017. 128 с.
8. Иванов В. П., Батраков А. С. Трёхмерная компьютерная графика. Москва: Радио и связь, 1995. 224 с.
9. Круглик В. М., Сычев Н. Г. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта: учебное пособие. Москва: ИНФРА-М, 2023. 260 с.
10. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства: учебник / 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ИНФРА-М, 2022. 506 с.
11. 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.
12. 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.

13. Огороднов С.М., Орлов Л.Н., Кравец В.Н. Конструкция автомобилей и тракторов: учебник. Москва; Вологда: ИнфраИнженерия, 2019. 284 с.

14. Острецов А.В., Красавин П.А., Воронин В.В., Павлова Л.А. Автомобильные подвески: учебное пособие. Москва: «МАМИ», 2011. 16 с.

15. Раймпель Й. Шасси автомобиля. Москва: Машиностроение, 1983. 356 с.

16. Denton T. Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Routledge, 2017. 378p.

17. Mikell P. Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems. John Wiley & Sons, 2010. 1024 p.

18. Milliken W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, SAE International, 1995. 890 p

19. Pia G. Pistons and engine testing / Springer Vieweg, 2016. 295 p.

20. Singh H. Rewat The Automobile: Textbook for Students of Motor Vehicle Mechanics / S Chand & Co Ltd, 2004. 532 p.