

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА  
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему **Разработка подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе  
LADA NIVA**

Обучающийся

**Р.Х. Багдалов**

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

**канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков**

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

Консультанты

**канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский**

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

**канд. пед. наук, доцент А.В. Кириллова (Егорова)**

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

**канд. физ.-мат. наук, доцент Д.А. Романов**

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

**канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков**

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

Тольятти 2024

## Аннотация

В расчетно-пояснительной записке представлен дипломный проект на тему «Разработка подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе LADA NIVA».

Данный дипломный проект посвящен разработке подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе LADA NIVA. Целью проекта является создание надежной и эффективной подвески, способной обеспечить высокие динамические характеристики и проходимость автомобиля в условиях экстремального бездорожья, характерного для ралли-рейдов.

Ралли-рейды представляют собой одну из наиболее захватывающих и популярных форм автоспорта, где высокая проходимость и надежность автомобиля на бездорожье играют решающую роль. Развитие технологий и методов проектирования подвесок для таких условий имеет важное значение в автомобильной индустрии. В ходе работы проведен анализ существующих конструкций подвесок для внедорожных автомобилей и их применимость для условий ралли-рейдов. Рассмотрены различные типы подвесок, включая независимые, зависимые и комбинированные схемы, их достоинства и недостатки. На основе анализа выбран тип подвески, наиболее подходящий для автомобиля LADA NIVA с учетом его конструктивных особенностей и требований ралли-рейдов.

В проекте проведены расчеты основных параметров узлов подвески, включая амортизаторы, пружины, рычаги и стабилизаторы поперечной устойчивости. Особое внимание уделено выбору амортизаторов и пружин, так как они играют ключевую роль в обеспечении комфортной и стабильной работы подвески на сложных трассах.

Для обоснования выбора конструкторских решений проведен технико-экономический анализ. В расчетах учитывались параметры динамики автомобиля, прочность и надежность узлов подвески, а также экономичность их производства и обслуживания. Проанализированы патенты и

существующие технические решения, что позволило внедрить инновационные технические решения в конструкцию подвески.

Основные результаты проекта включают следующие задачи, решенные в ходе выполнения дипломного проекта:

- выбор оптимальной схемы подвески для ралли-рейдов;
- расчет и проектирование ключевых компонентов подвески;
- обоснование выбранных решений с точки зрения их технической и экономической эффективности.

Структура дипломного проекта разделена на несколько связанных между собой разделов, а именно: введение, шесть глав, раскрывающих тему дипломного проекта, заключение и список использованных источников информации, включая иностранные. Инженерно-графический раздел выпускной квалификационной работы изложен на 10 листах формата А1.

Разработанная подвеска позволяет значительно улучшить управляемость и устойчивость автомобиля LADA NIVA в условиях ралли-рейдов, обеспечивая при этом высокую надежность и долговечность узлов. Проект может служить основой для дальнейших исследований и модернизации внедорожных автомобилей для участия в экстремальных гонках. Таким образом, разработка и оптимизация подвесочной системы для автомобиля LADA NIVA с учетом специфики ралли-рейдов является актуальной задачей, которая вносит значительный вклад в развитие автоспорта и автомобильной промышленности в целом.

## **Abstract**

The calculation and explanatory note presents a graduation project on the topic “Development of car suspension for rally raids based on LADA NIVA.”

This diploma project is devoted to the development of car suspension for rally raids based on LADA NIVA. The goal of the project is to create a reliable and efficient suspension capable of providing high dynamic characteristics and vehicle cross-country ability in extreme off-road conditions, typical for rally raids.

Rally raids are one of the most exciting and popular forms of motorsport, where the vehicle's off-road capability and reliability play a decisive role. The development of technologies and methods for designing suspensions for such conditions is important in the automotive industry. In the course of the work, an analysis of existing suspension designs for off-road vehicles and their applicability for rally-raid conditions was carried out. Various types of suspensions are considered, including independent, dependent and combined schemes, their advantages and disadvantages. Based on the analysis, the type of suspension most suitable for the LADA NIVA was selected, taking into account its design features and the requirements of rally raids.

The project included calculations of the main parameters of suspension components, including shock absorbers, springs, levers and anti-roll bars. Particular attention is paid to the selection of shock absorbers and springs, as they play a key role in ensuring comfortable and stable suspension operation on difficult trails.

To justify the choice of design solutions, a technical and economic analysis was carried out. The calculations took into account the vehicle dynamics parameters, the strength and reliability of the suspension units, as well as the cost-effectiveness of their production and maintenance. Patents and existing technical solutions were analyzed, which made it possible to introduce innovative technical solutions into the suspension design.

The main results of the project include the following tasks solved during the graduation project:

- selection of the optimal suspension scheme for rally raids;
- calculation and design of key suspension components;
- justification of the selected solutions in terms of their technical and economic efficiency.

The structure of the diploma project is divided into several interconnected sections, namely: introduction, six chapters revealing the topic of the diploma project, conclusion and a list of information sources used, including foreign ones. The engineering and graphic section of the final qualifying work is presented on 10 sheets of A1 format.

The developed suspension can significantly improve the controllability and stability of the LADA NIVA in rally-raid conditions, while ensuring high reliability and durability of the components. The project can serve as a basis for further research and modernization of off-road vehicles for participation in extreme racing. Thus, the development and optimization of the suspension system for the LADA NIVA car, taking into account the specifics of rally raids, is an urgent task, which makes a significant contribution to the development of motorsport and the automotive industry as a whole.

## Содержание

Введение .....	8
1 Анализ конструкции, взятой на проработку в рамках дипломного проектирования .....	11
1.1 Анализ транспортного средства, взятого на конструкторскую проработку .....	11
1.2 Анализ подвески транспортного средства, взятого на конструкторскую проработку .....	13
1.3 Формулирование задач конструирования подвески .....	20
2 Тяговый расчет разрабатываемого транспортного средства .....	23
2.1 Исходные данные .....	23
2.2 Определение параметров автомобиля .....	23
2.3 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя .....	25
2.4 Определение передаточного числа главной передачи .....	27
2.5 Время и путь разгона автомобиля .....	27
2.6 Мощностной баланс автомобиля .....	28
2.7 Топливо-экономическая характеристика транспортного средства ...	29
3 Конструкторский расчет объекта дипломного проектирования .....	31
3.1 Техническое задание на проектирование подвески .....	31
3.2 Технико-экономическое обоснование выбора задней подвески .....	37
3.3 Анализ кинематики разрабатываемой подвески и расчет на плавность хода подвески .....	40
3.4 Расчет сил, действующих на двухрычажную поперечную подвеску ....	44
3.5 Расчет верхнего и нижнего рычагов .....	61
3.6 Расчет на долговечность шаровых соединений опор рычагов .....	64
4 Разработка технологического процесса .....	67
5 Безопасность и экологичность участка механической сборки .....	70

5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технического объекта .....	70
5.2 Идентификация профессиональных рисков .....	73
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	74
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	76
5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта .....	80
6 Экономический раздел дипломного проекта .....	82
6.1 Технико-экономическое обоснование объекта разработки дипломного проекта .....	82
6.2 Расчет затрат и экономической эффективности .....	83
6.3 Расчет экономического эффекта от разработанной конструкции .....	89
Заключение .....	93
Список используемой литературы и используемых источников .....	100
Приложение А Графики тягового расчета .....	103

## Введение

В современном автоспорте ралли-рейды занимают особое место, представляя собой один из самых динамичных и захватывающих видов мотоспорта. Эти соревнования ставят перед участниками и их транспортными средствами серьезные технические и физические испытания, требующие высокой проходимости, надежности и эффективности в самых экстремальных условиях бездорожья.

Одним из важных аспектов успешного выступления в ралли-рейдах является подвеска автомобиля, которая играет ключевую роль в обеспечении стабильности, управляемости и комфорта в условиях пересеченной местности. В рамках данного дипломного проекта рассматривается разработка оптимальной подвесочной системы для автомобиля на базе LADA NIVA, исторически известного своей надежностью и приспособленности к сложным дорожным условиям.

Выбор LADA NIVA в качестве базовой платформы для разработки подвески обусловлен не только её широкой известностью среди владельцев и любителей внедорожников, но и уникальными техническими характеристиками, которые делают этот автомобиль идеальным кандидатом для участия в ралли-рейдах. Способность LADA NIVA преодолевать сложные препятствия на различных типах поверхностей требует совершенствования подвесочной системы, чтобы улучшить её адаптивность к переменным условиям соревнований.

Независимая подвеска играет ключевую роль в обеспечении управляемости, устойчивости и комфорта раллийного автомобиля в условиях экстремального бездорожья. Она позволяет каждому колесу перемещаться независимо от других, что значительно улучшает сцепление с дорогой и адаптивность к неровностям поверхности.

В независимой подвеске конструкция позволяет каждому из колес перемещаться вертикально независимо от других колес, что позволяет лучше

адаптироваться к неровностям поверхности и поддерживать максимальное сцепление с дорогой. Благодаря стабилизаторам и жестким пружинам, независимая подвеска уменьшает крены кузова при прохождении поворотов, улучшая управляемость и устойчивость автомобиля. Амортизаторы и сайлентблоки эффективно гасят удары и вибрации, возникающие при движении по неровной поверхности, обеспечивая комфорт и стабильность.

Независимая подвеска позволяет каждому колесу лучше адаптироваться к неровностям, что улучшает сцепление и снижает риск пробуксовки. Благодаря снижению кренов и улучшенной стабилизации, автомобиль становится более управляемым, что особенно важно на сложных трассах ралли. Эффективное поглощение ударов и вибраций улучшает комфорт водителя, позволяя ему лучше контролировать автомобиль в экстремальных условиях.

Независимая подвеска является ключевым элементом раллийного автомобиля, обеспечивающим высокую проходимость, управляемость и комфорт в условиях экстремального бездорожья. Современные технологии и материалы позволяют создавать подвески, способные выдерживать большие нагрузки и адаптироваться к разнообразным условиям соревнований, что делает их незаменимыми для успешного выступления в ралли-рейдах.

Независимая подвеска на рычагах представляет собой одну из наиболее распространенных конструкций подвесок в современных автомобилях, обеспечивая каждое колесо собственной системой крепления и амортизации. Эта конструкция позволяет каждому колесу двигаться независимо от других, что значительно улучшает управляемость и комфорт при движении по неровным поверхностям. В большинстве конструкций используется два рычага на каждое колесо — верхний и нижний. Они крепятся к кузову автомобиля через шаровые опоры и позволяют колесам двигаться вверх и вниз.

Целью данного дипломного проекта является разработка и оптимизация подвесочной системы для автомобиля LADA NIVA с учетом требований и особенностей ралли-рейдов. Основные задачи включают в себя:

- анализ существующих технических решений и конструкций подвесок для внедорожных автомобилей;
- проектирование и расчет основных компонентов подвески, таких как амортизаторы, пружины, рычаги и стабилизаторы поперечной устойчивости;
- обоснование выбора конструктивных решений с точки зрения их технической эффективности и экономической целесообразности;
- научная и практическая значимость объекта конструкторской разработки.

Разработка новой подвесочной системы для LADA NIVA представляет собой не только научную проблему, но и важное практическое приложение результатов. Полученные в ходе работы знания и технические решения могут быть использованы для улучшения производственных моделей автомобилей, а также для повышения конкурентоспособности их участников в соревнованиях ралли-рейдов.

# **1 Анализ конструкции, взятой на проработку в рамках дипломного проектирования**

## **1.1 Анализ транспортного средства, взятого на конструкторскую проработку**

ВАЗ-2123-07, также известный как Chevrolet Niva, представляет собой компактный внедорожник, разработанный на базе автомобиля LADA Niva. Этот автомобиль создан для эксплуатации как в городских условиях, так и на пересеченной местности, обладая высокой проходимостью и надежностью. Он сочетает в себе традиции российского автомобилестроения с современными технологиями и дизайном. В массовый серийный выпуск автомобиль не пошел, но производился малыми сериями в рамках опытного производства. На базе этого автомобиля создана версия для раллийных рейдов. Рассмотрим основные технические характеристики автомобиля.

Кузов и конструкция автомобиля:

- тип кузова: самонесущий кузов с лонжеронами
- габариты: длина – около 4048 мм, ширина – 1800 мм, высота – 1652 мм;
- колесная база: 2450 мм;
- клиренс:  $200 \pm 25$  мм, что обеспечивает хороший дорожный просвет для бездорожья.

Двигатель транспортного средства как правило дорабатывается для участия в спортивных соревнованиях. Однако, с завода автомобиль комплектуется штатным двигателем, устанавливаемым на автомобили семейства LADA Niva:

- тип двигателя: бензиновый, четырехцилиндровый, рядный;
- рабочий объем: 1,7 литра;
- мощность: 80 л.с. (в зависимости от модификации);
- крутящий момент: 147 Нм;

- топливная система: распределенный впрыск топлива.

Трансмиссия транспортного средства также подвергается модернизации, включая монтаж трансмиссии от других автомобилей. Но, как и в случае с двигателем, нами принимается тип трансмиссии, устанавливаемый на серийное транспортное средство штатно:

- тип трансмиссии: механическая пятиступенчатая коробка передач.
- привод: полный привод (4x4) с возможностью блокировки межосевого дифференциала;
- раздаточная коробка: двухступенчатая с понижающей передачей для улучшения проходимости.

Подвеска транспортного средства по своему типу также схожа с серийной. Отличие заключается в задней подвеске транспортного средства. Передняя подвеска, как и в случае серийного автомобиля, независимая, пружинная, с телескопическими амортизаторами и стабилизатором поперечной устойчивости. Задняя подвеска также независимая, с винтовыми пружинами, телескопическими амортизаторами и стабилизатором поперечной устойчивости.

Тормозная система автомобиля типична для автомобилей, производимых на АвтоВАЗе:

- передние тормоза – дисковые;
- задние тормоза – барабанные.

Полный привод с блокировкой межосевого дифференциала и понижающей передачей раздаточной коробки обеспечивает высокую проходимость в условиях бездорожья. Высокий клиренс и короткие свесы кузова позволяют преодолевать сложные участки дороги, включая глубокие ямы и крутые подъемы. ВАЗ-2123-07 является отличным примером автомобиля, сочетающего в себе возможности внедорожника и комфорт городского автомобиля. Его высокая проходимость, надежность и экономичность делают его оптимальным транспортным средством для спортивного снаряда для ралли-рейдов.

## **1.2 Анализ подвески транспортного средства, взятого на конструкторскую проработку**

Подвеска ВАЗ-2123-07 представляет собой компромисс между комфортом, управляемостью и проходимостью, что делает её подходящей для условий как городских дорог, так и бездорожья. Независимая передняя подвеска обеспечивает хороший уровень комфорта и управляемости, в то время как зависимая задняя подвеска обеспечивает надежность и прочность на сложных участках дороги. Конструкция подвески, в сочетании с высоким клиренсом и полным приводом, обеспечивает высокую проходимость автомобиля, позволяя эффективно преодолевать сложные участки бездорожья. Комбинация независимых передней и задней подвесок обеспечивает удовлетворительный уровень комфорта и управляемости.

Простота и прочность подвески способствуют высокой надежности автомобиля в условиях интенсивной эксплуатации на бездорожье. Подвеска ВАЗ-2123-07 успешно сочетает в себе элементы независимой и зависимой подвесок, обеспечивая оптимальный баланс между комфортом, управляемостью и проходимостью. Это делает автомобиль подходящим для широкого спектра условий эксплуатации

«Процесс движения автомобиля по дороге сопровождается воздействием микропрофиля дорожного полотна на кузов, узлы и агрегаты трансмиссии. Воздействие на кузов осуществляется через подвеску и шины. Данное воздействие характеризуется вертикальными, продольными и поперечными колебаниями кузова. Воздействие на узлы и агрегаты трансмиссии, которые передают крутящий момент от двигателя к ведущим колесам, характеризуется величиной крутильных колебаний (неравномерностью крутящего момента) в результате воздействия микропрофиля дороги на шины. Схема зависимостей таких воздействий представлена на листе графической части.» [5], [23]

«Подвеска, являясь промежуточным звеном между кузовом автомобиля и дорогой, должна быть лёгкой и наряду с высокой комфортабельностью, обеспечивать максимальную безопасность движения. Тяжёлые условия внедорожных рейдов и марафонских гонок предъявляют к подвескам автомобилей ряд специфических требований, которые следует учесть при проектировании аналогичных подвесок. Бездорожье – одно из главных особенностей данных соревнований предъявляет основное требование – большой ход подвески. Иначе невозможно движение с достаточно большой скоростью в условиях бездорожья, обеспечение требуемой плавности хода, бесперебойной работы подвески. Опыт прошлых соревнований показывает, что хода подвески должны быть не менее – 250 мм.

Упругая характеристика подвески – это зависимость нагрузки на колесо от хода колеса. Типичная характеристика упругости имеет вид показаний на рисунке 1. Хорошо видна прогрессивность характеристики, полученная за счёт буферов или дополнительных упругих элементов отбоя и сжатия.» [3],

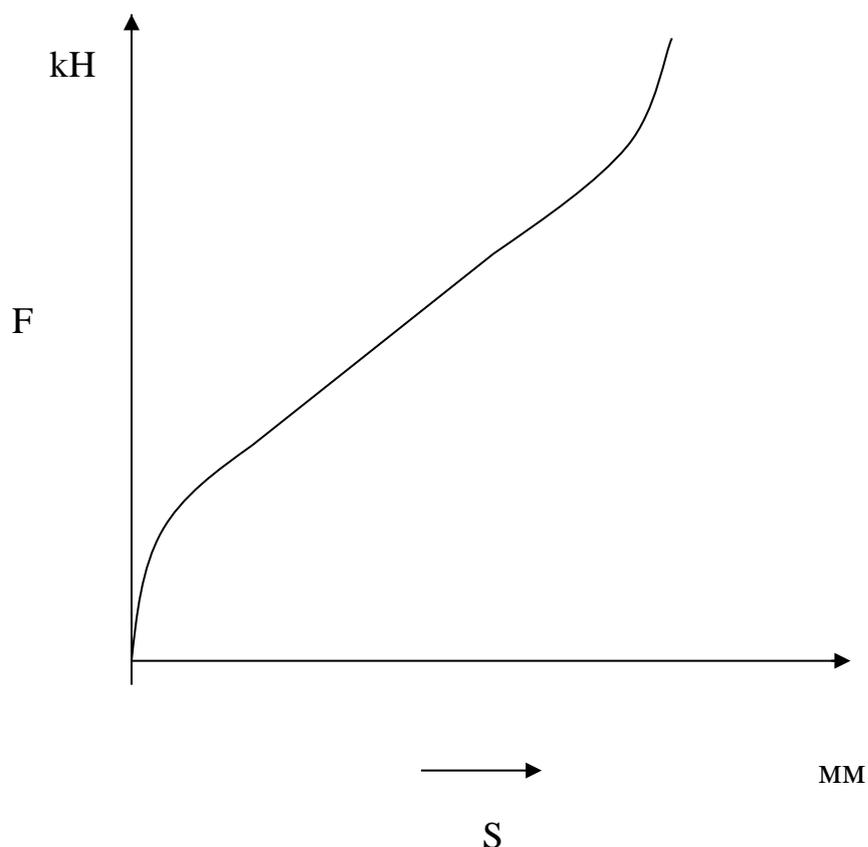


Рисунок 1 - Упругая характеристика подвески

«Для спортивных автомобилей кроме указанной прогрессивности необходимо, чтобы сам упругий элемент имел прогрессивную упругую характеристику. При использовании пружины в качестве упругого элемента, прогрессивную характеристику можно добиться следующими путями:

- использование составных пружин с разными жесткостями: это наиболее дешёвый способ, хотя и не очень эффективный;
- применение пружин с прогрессивной характеристикой; такая характеристика достигается за счёт переменного диаметра прутка, конусной навивки пружины (моноблок) или переменного шага навивки.

Характеристика сопротивления может быть прогрессивной (вверху), линейной (в середине), или дегрессивной (внизу), рисунок 2.» [3], [21]

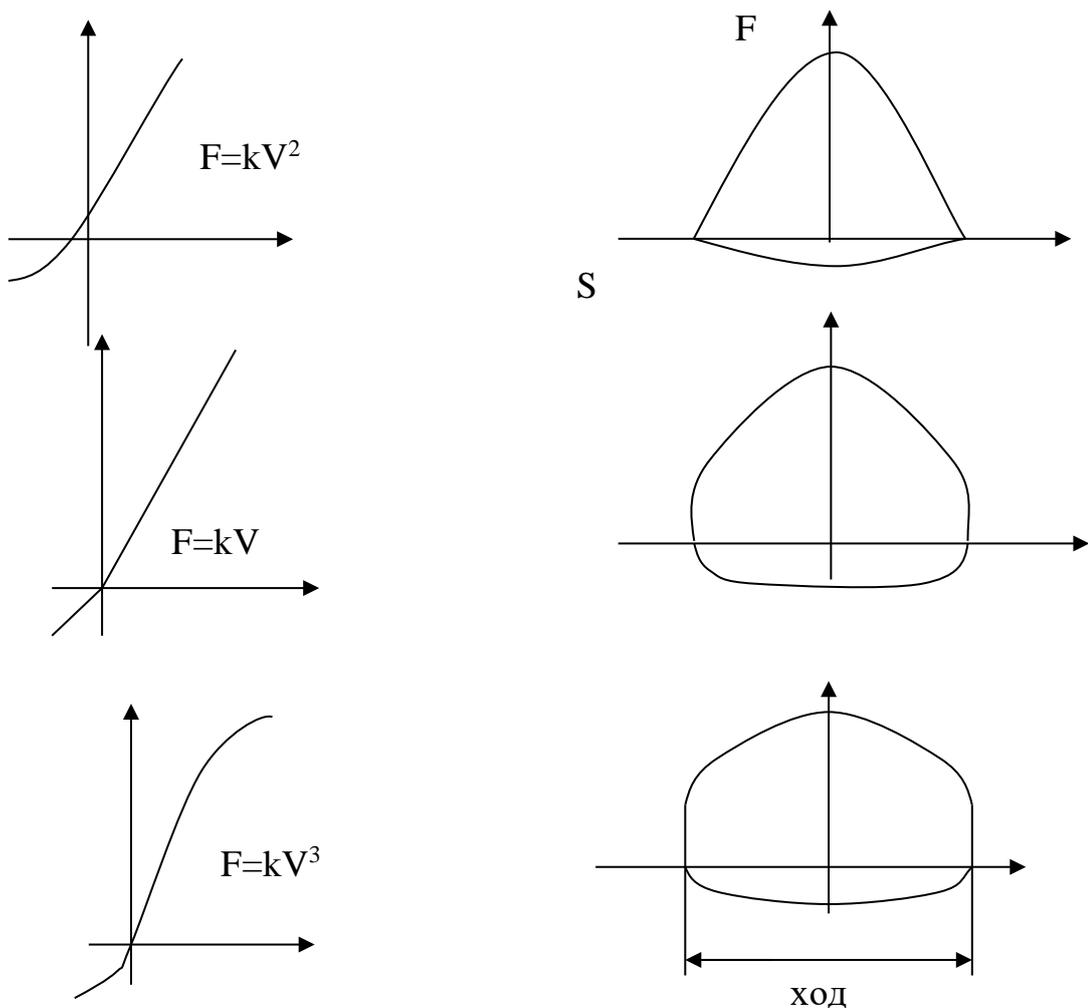


Рисунок 2 – Характеристики амортизаторов

«Амортизатор с дегрессивной характеристикой уже при небольшом ходе колеса и малой скорости поршня развивает усилие определённой величины, что, однако, связано с худшим поглощением мелких дорожных неровностей подвеской. Преимуществом является повышенное сопротивление боковым угловым колебаниям, то же касается и продольных. Преимущество прогрессивной характеристики заключается в том, что около нулевой точки силы имеют небольшое значение, что обеспечивает более мягкое качение даже относительно жёстких шин. Резкое нарастание сил при повышенной скорости поршня приводит к увеличению коэффициента сопротивления  $K$  и связанному с этим повышению демпфирования как кузова, так и колеса. Последнее предотвращает подпрыгивание колёс и улучшает сцепление с дорогой на покрытиях плохого качества. Диаграмма получается угловатая, т.е. имеет меньшую площадь и поэтому меньшее среднее усилие в сравнение с максимальным. Линейная характеристика амортизатора может явиться хорошим компромиссным решением.» [4], [21]

Регулируемая гасящая характеристика амортизатора важна для адаптации подвески автомобиля к различным условиям эксплуатации. Это особенно актуально для внедорожных и спортивных автомобилей, таких как раллийные автомобили и внедорожники. Достижение регулируемой гасящей характеристики амортизатора возможно несколькими способами. Амортизаторы могут быть оснащены регулируемыми клапанами, которые позволяют изменять степень сопротивления амортизатора.

Механические регулировки включают ручные регулировки, которые могут быть выполнены с помощью винтов или колесиков, изменяющих положение клапанов внутри амортизатора. Также, в современных автомобилях могут использоваться электронные клапаны, которые управляются системой управления подвеской. Это позволяет водителю изменять характеристики амортизатора с помощью кнопок или сенсорного экрана в салоне автомобиля.

Достижение регулируемой гасящей характеристики амортизатора возможно множеством различных способов, от механических и гидравлических до электронных и магнитореологических систем. Выбор метода зависит от требований к производительности, условий эксплуатации и желаемого уровня контроля над характеристиками подвески. В современных автомобилях все чаще используются электронные системы управления подвеской, обеспечивающие быстрые и точные регулировки в реальном времени.

Надежность и механическая прочность деталей подвески автомобиля являются ключевыми аспектами для обеспечения безопасности, комфорта и долговечности автомобиля. Подвеска автомобиля включает множество компонентов, каждый из которых должен быть разработан и изготовлен с учетом строгих требований к прочности, долговечности и надежности.

Методы повышения надежности и прочности деталей подвески и всего узла в целом можно описать следующими мероприятиями:

- использование высококачественных материалов и специальных сплавов для обеспечения максимальной прочности и долговечности;
- применение антикоррозионных покрытий для защиты от воздействия окружающей среды;
- применение точных методов обработки, таких как ковка, штамповка, литье и механическая обработка, для получения компонентов с высокой точностью и прочностью;
- использование термической обработки (закалка, отжиг) для улучшения механических свойств материалов;
- оптимизация конструкции деталей подвески для равномерного распределения нагрузок и предотвращения концентрации напряжений;
- использование компьютерного моделирования и численных методов для анализа напряжений и деформаций;
- проведение циклических и статических испытаний на усталостную прочность и долговечность;

- неразрушающий контроль (ультразвуковое, магнитное, рентгенографическое тестирование) для выявления дефектов в материалах и компонентах;
- регулярное техническое обслуживание подвески, включая проверку и замену изношенных компонентов;
- использование оригинальных запчастей и компонентов, рекомендованных производителем, для обеспечения надежной работы подвески.

Надежность и механическая прочность деталей подвески автомобиля ВАЗ-2123-07 достигаются благодаря тщательно подобранным материалам, современным технологиям производства и строгим испытаниям. Эти меры обеспечивают долговечность, безопасность и комфорт при эксплуатации автомобиля в различных условиях. Подвеска является критически важным элементом, от которого зависят управляемость, устойчивость и проходимость автомобиля, поэтому к её разработке и производству предъявляются высокие требования.

«Элементы подвесок воспринимают во время движения автомобиля большие нагрузки и для исключения поломок они должны быть надёжными и механически прочными, хотя, выполняя эти требования приходится увеличивать массу автомобиля за счёт увеличения неподрессоренных масс. При этом возрастает также стоимость узлов подвески. Для наиболее точного определения параметров узлов проводят прочностные расчёты.

При расчётах на прочность сопоставляют фактические и допустимые напряжения, чтобы гарантировать долговечность детали и убедиться в том, что даже при максимальных нагрузках не произойдёт её пластической деформации. Фактически возникающие напряжения вызываются передаваемыми силами и моментами. Их величина зависит от размеров деталей, т.е. от внешних факторов. Допустимые напряжения зависят от тех характеристик материала, которые он будет иметь в данной детали, т.е. речь идёт о возникающих в детали внутренних напряжениях.» [4], [20]

Обслуживание подвески автомобиля является ключевым аспектом для обеспечения его надежной работы, безопасности и комфорта. Регулярное техническое обслуживание помогает выявить и устранить проблемы до их превращения в серьезные неисправности. Рассмотрим основные процедуры и рекомендации по обслуживанию подвески автомобиля на примере ВАЗ-2123-07.

«С эксплуатационной точки зрения подвеска должна обеспечивать:

- удобство обслуживания, лёгкий доступ ко всем элементам подвески;
- быстрый монтаж и демонтаж всех элементов подвески и особенно амортизаторных стоек т.к. часто приходится приспособливать упругие и гасящие характеристики под данный участок дороги или под данного участника;
- удобство доступа к рулевому приводу и приводу колёс, которые часто выходят из строя.» [6], [17]

Регулярное обслуживание подвески автомобиля ВАЗ-2123-07 включает в себя визуальный осмотр, проверку амортизаторов, пружин, стабилизаторов, сайлентблоков и подшипников колес. Выполнение этих процедур помогает поддерживать подвеску в рабочем состоянии, предотвращает преждевременный износ компонентов и обеспечивает безопасность и комфорт при движении. Следование рекомендациям по обслуживанию и регулярное проведение проверок гарантируют долгий срок службы подвески и автомобиля в целом.

Также, важной задачей конструирования подвески является обеспечение унификации элементов передней и задней подвески, что особенно ценно для автомобилей, участвующих в многодневных ралли-рейдах, когда ремонт и затраты на его проведение имеет максимальное значение для команды.

### 1.3 Формулирование задач конструирования подвески

При конструировании подвески автомобиля, особенно для специализированных транспортных средств, таких как раллийные автомобили, необходимо учитывать множество факторов, чтобы обеспечить оптимальные характеристики управляемости, устойчивости и комфорта. Рассмотрим основные задачи, которые необходимо решить в процессе конструирования подвески на примере проекта «Разработка подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе LADA NIVA».

Подвеска должна обеспечивать надежную работу в условиях раллийных соревнований, включая высокую проходимость, устойчивость на неровных поверхностях и управление на высокой скорости. При разработке конструкции подвески необходимо учитывать экстремальные условия эксплуатации, такие как высокие нагрузки, удары и вибрации.

Разрабатываемая подвеска должна быть совместима с базовым шасси LADA NIVA и другими компонентами автомобиля. Следует рассмотреть возможность применения независимой подвески для передней и задней оси для улучшения управляемости и комфорта.

Также, в процессе конструкторской разработки, следует выбрать оптимальный тип упругого элемента, исходя из требований к проходимости и надежности. Учитывая характеристики эксплуатации, а также тенденции в автомобилестроении, в качестве упругого элемента принимаем пружинную подвеску. Требуется разработать кинематическую схему подвески, обеспечивающую оптимальные углы установки колес при различных условиях движения. Необходимо определить ход подвески для обеспечения достаточной проходимости и комфортной езды.

При проведении расчетов необходимо спроектировать элементы, уменьшающие крены и подъем кузова при ускорении и торможении, а также провести расчеты нагрузок на элементы подвески при статических и

динамических условиях и определить прочностные характеристики материалов и конструкций, обеспечивающие надежную работу подвески.

Задачи конструирования подвески для раллийного автомобиля на базе LADA NIVA включают определение требований, выбор типа подвески, проектирование геометрии, расчет нагрузок и прочности, выбор материалов и технологий, разработку систем демпфирования, обеспечение комфорта и управляемости, а также проведение испытаний и оптимизацию конструкции. Решение этих задач позволит создать надежную и эффективную подвеску, обеспечивающую высокие эксплуатационные характеристики автомобиля в условиях раллийных соревнований.

В ходе анализа конструкции автомобиля, взятой на проработку в рамках дипломного проектирования, были рассмотрены основные характеристики автомобиля LADA NIVA и различные типы подвесок, а также их ключевые характеристики. На основе проведенного анализа сформулированы задачи конструирования подвески для раллийного автомобиля. Автомобиль LADA NIVA обладает высоким потенциалом для использования в раллийных соревнованиях благодаря своей прочной конструкции, полноприводной трансмиссии и компактным размерам.

Основными недостатками базовой конструкции автомобиля являются ограниченные возможности штатной подвески в условиях высоких динамических нагрузок и неровных дорожных покрытий. Независимая подвеска обеспечивает лучшие характеристики управляемости и комфорта, но требует более сложной конструкции и настройки. Зависимая подвеска, используемая в базовой комплектации LADA NIVA, обладает большей прочностью и надежностью, но ограничивает возможности по улучшению управляемости и комфорта, поэтому окончательно принимается независимая конструкция подвески.

Анализ позволил сформулировать следующие задачи, которые предстоит решить в ходе проектирования:

- определены функциональные и эксплуатационные требования к подвеске, включая высокую проходимость, устойчивость на неровных поверхностях и управление на высокой скорости;
- выбран тип подвески, который наиболее соответствует условиям эксплуатации в раллийных соревнованиях;
- разработана кинематическая схема подвески, обеспечивающая оптимальные углы установки колес и необходимый ход подвески;
- проведены расчеты нагрузок на компоненты подвески и определены их прочностные характеристики;
- подобраны материалы и технологии производства, обеспечивающие надежную работу подвески;
- разработаны системы демпфирования и стабилизации для уменьшения кренов кузова и улучшения управляемости.

Таким образом, проведенный анализ позволил выделить ключевые аспекты конструирования подвески для раллийного автомобиля на базе LADA NIVA. Решение сформулированных задач позволит создать надежную, эффективную и высокопроизводительную подвеску, способную удовлетворить требования раллийных соревнований и обеспечить конкурентоспособность автомобиля на трассе.

## 2 Тяговый расчет разрабатываемого транспортного средства

### 2.1 Исходные данные

«Автомобиль представляет собой транспортное средство, выполненный на агрегатах автомобиля Lada Niva. Поэтому, в разделе, позволяющем продемонстрировать тяговые характеристики транспортного средства, взятого в качестве прототипа, производится расчет именно такого транспортного средства. Исходные данные для расчета транспортного средства приводятся в таблице 1.» [13]

Таблица 1 – Исходные данные для тягового расчета транспортного средства

Наименование параметра	Значение параметра
Тип транспортного средства	легковой автомобиль повышенной проходимости
Тип привода	полноприводный
Класс транспортного средства	легковой, третий
Количество мест	2(5)
Снаряженная масса, кг	1250
Максимальная скорость, км/ч (м/с)	140 (38,9)
Коэффициент сопротивления качению	0,01
Максимально преодолеваемый подъем	0,22
Лобовая площадь, м <sup>2</sup>	2,24

### 2.2 Определение параметров автомобиля

«Полная масса автомобиля находится по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_n + m_б) \cdot n_{п}, \quad (11)$$

где  $m_0$  - снаряженная масса автомобиля;

$m_n$  - масса одного пассажира,  $m_n = 75$  кг;

$m_6$  - масса багажа, приходящегося на одного пассажира,  $m_6 = 10$  кг;

$n_{\Pi}$  - число мест пассажиров, включая водителя,  $n_{\Pi} = 5$  чел.;» [1]

$$m_a = 1250 + (75 + 10) \cdot 5 = 1675 \text{ кг.}$$

«Классическая компоновка предполагает распределение массы по осям автомобиля в пропорции 50 на 50 процентов. Следовательно, вес автомобиля, приходящийся на каждую ось, определяется по формуле:

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_a \cdot g, \quad (12)$$

где  $F_1$  - вес, приходящийся на переднюю ось автомобиля, Н;

$F_2$  - вес, приходящийся на заднюю ось автомобиля, Н;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ М/с}^2$ ;» [3]

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} \cdot 1675 \cdot 9,81 = 8215,875 \text{ Н.}$$

«Шины выбираем бескамерные радиальные, размерностью 195/80 R16.

Зная размер шин, определяем статический радиус колеса:

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H, \quad (13)$$

где  $d$  - посадочный диаметр шины:

$\lambda_z$  - коэффициент вертикальной деформации шины,  $\lambda_z = 0,85$ ;

$H$  - высота профиля шины,  $H = 0,8 \cdot 165 = 132$  мм;» [4]

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot 330,2 + 0,85 \cdot 132 = 277,3 \text{ мм.}$$

«На дорогах с твёрдым покрытием:

$$r_{ст} = r_d = r_k, \quad (14)$$

где  $r_d$  - динамический радиус колеса, м;

$r_k$  - радиус качения колеса, м;» [24]

### 2.3 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя

«Мощность двигателя определяется при максимальной скорости автомобиля с учетом КПД трансмиссии по формуле:

$$N_v = \frac{N_k + N_\epsilon}{1000 \cdot \eta_T} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi_v \cdot V_{max} + K_\epsilon \cdot A_a \cdot V_{max}^3}{1000 \cdot \eta_T}, \quad (15)$$

где  $m_a$  - полная масса автомобиля;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ М/с}^2$ ;

$\psi_v$  - коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля:» [4]

$$\psi_v = f_v = f_k \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot V_{max}^2) \quad (16)$$

« $K_\epsilon$  - коэффициент сопротивления воздуха,  $K_\epsilon = 0,35$ ;

$\eta_T$  - КПД трансмиссии:  $\eta_T = 0,98^0 \cdot 0,97^1 \cdot 0,98^3 = 1 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,91$ ;

$$\psi_v = 0,01 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 38,9^2) = 0,017;$$

$$N_v = \frac{1675 \cdot 9,81 \cdot 0,017 \cdot 38,9 + 0,35 \cdot 2,24 \cdot 38,9^3}{1000 \cdot 0,91} = \frac{57015,6}{910} = 62,6 \text{ кВт.}$$

Максимальная мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_{emax} = \frac{N_v}{\frac{\omega_v}{\omega_N} + \left(\frac{\omega_v}{\omega_N}\right)^2 - \left(\frac{\omega_v}{\omega_N}\right)^3} \quad (17)$$

где  $\omega_N$  - угловая скорость коленчатого вала при максимальном значении мощности:

$$\omega_N = \frac{\pi \cdot n_N}{30}, \quad (18)$$

где  $n_N$ - частота вращения коленчатого вала при максимальном значении мощности, об/мин.,  $n_N = 5200 \text{ мин}^{-1}$ ;

$$\omega_N = \frac{3,14 \cdot 5200}{30} = 544,26 \text{ с}^{-1};$$

$\omega_v$  - коленчатого вала двигателя, при которой достигается максимальная скорость автомобиля:» [24]

$$\omega_v = 1,1 \cdot \omega_N, \quad (19)$$

$$\omega_v = 1,1 \cdot 544,26 = 598,6 \text{ с}^{-1};$$

«По полученным значениям  $N_e^{max}$ ,  $N_v$  и формуле (17) рассчитывают внешнюю скоростную характеристику двигателя выбрав 6 значений в диапазоне  $\omega_{max, min}$ . Полученные данные сводим в таблицу 2, рисунок А.1, Приложение А:» [15]

Таблица 2 – Внешняя скоростная характеристика автомобиля

$n_e$ (об/мин)	800	1900	3000	4100	5200	5719
$\omega_e$ ( $\text{с}^{-1}$ )	83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
$N_e$ (кВт)	11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,4
$M_e$ (Н·м)	133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57

$$N_e = N_e^{max} \left[ \frac{\omega_e}{\omega_N} + \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right] \quad (20)$$

где  $\omega_e$ - текущие значения угловой скорости коленчатого вала рад/с;

$N_e$  - текущее значение эффективной мощности двигателя, кВт;

Для построения кривой эффективного момента  $M_e$  применяем формулу:

$$M_e = 1000 \cdot \frac{N_e}{\omega_e}, \quad (21)$$

## 2.4 Определение передаточного числа главной передачи

«Передаточное число главной передачи  $U_0$  определяется, исходя из максимальной скорости автомобиля:

$$U_0 = \frac{\omega_{K_{max}}}{U_K^B \cdot V_{max}}, \quad (22)$$

где  $\omega_{max}$  - максимальная угловая скорость коленчатого вала двигателя;»  
[10], [16]

$$U_K^B = U_{K4} = 1,0; \quad (23)$$

$$U_0 = \frac{598,6 \cdot 0,277}{1 \cdot 38,9} = 4,26.$$

## 2.5 Время и путь разгона автомобиля

«Время и путь разгона определяют графоаналитическим способом. При расчете используем значения из высшей IV передачи. Полученные данные занесем в таблицу 3.

Время разгона автомобиля:

$$t_p = \left( \frac{1}{j_{cp}} \right) \cdot \Delta V, \quad (24)$$

где  $j_{cp}$  - среднее значение ускорения автомобиля между двумя участками IV передачи;

$\Delta V$  - разница скорости между двумя участками IV передачи;» [2], [10]

Время разгона от скорости  $V_{min}$  :

$$t_n = \sum_{k=1}^n \Delta t_k, \quad (25)$$

Путь разгона автомобиля:

$$S_p = V_{cp} \cdot t_p, \quad (26)$$

где  $V_{cp}$  - средняя скорость между двумя участками IV передачи;

$t_p$  - разница времени разгона автомобиля между двумя участками IV передачи;

Путь разгона от скорости  $V_{min}$  :

$$S_n = \sum_{k=1}^n \Delta S_k, \quad (27)$$

Расчет времени и пути разгона автомобиля выполняется в расчетной программе. Результаты проведенного расчета отражены в таблице 3, рисунок А.2, Приложение А.

Таблица 3 - Время и путь разгона автомобиля

$V_a, \text{ м/с}$	$V_{min}$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$
$V_a, \text{ м/с}$	1,36	5,1	8,13	15,5	24,63	32	35,38
$1/j_a, \text{ с}^2/\text{м}$	0,42	0,38	0,46	0,69	1,23	3,2	4,76
$t_p, \text{ с}$	0	1,496	2,768	6,998	15,762	32,086	45,538
$S_p, \text{ м}$	0	4,832	13,246	63,223	239,072	701,286	1184,483

## 2.6 Мощностной баланс автомобиля

Тяговая мощность автомобиля:

$$N_T = N_e \cdot \eta_{TP}, \quad (28)$$

где  $N_e$  - эффективная мощность двигателя;

$\eta_{TP}$  - КПД трансмиссии;

«Используемая мощность двигателя на IV передаче:

$$N = \frac{(F_{\psi v} + F_B) \cdot V_a}{\eta_{TP}}, \quad (29)$$

где  $F_{\psi v}$  - сила сцепления колес с дорогой;

$F_B$  - сила сопротивления воздуха;

$V_a$  - текущая скорость автомобиля;

$\eta_{TP}$  - КПД трансмиссии;» [2]

## 2.7 Топливо-экономическая характеристика транспортного средства

«Путевой расход топлива при пробеге автомобиля 100 км (л):

$$Q_S = \frac{K_\omega \cdot K_n \cdot g_e^{\min(F_{\psi v} + F_B)}}{36000 \cdot \rho_T \cdot \eta_T} \quad (30)$$

где  $K_\omega$  и  $K_n$  - коэффициенты, учитывающие соответственно изменения величины  $g_e$  в зависимости от угловой скорости и мощности двигателя;

$g_e^{\min}$  - минимальный удельный эффективный расход топлива;

$\rho_T$  - плотность топлива,  $\rho_T = 0,72 \text{ кг/л}$ ;» [19]

Через степень использования мощности двигателя найдем коэффициент  $K_n$ :

$$K_n = \frac{F_{\psi v} + F_B}{F_K}, \quad (31)$$

Тяговый расчет является ключевым этапом в проектировании автомобиля, поскольку он определяет способность транспортного средства развивать необходимую мощность для обеспечения требуемой производительности. В рамках дипломного проекта он выполняется для подтверждения заявленных тягово-мощностных характеристик автомобиля, взятого для модернизации. Для автомобиля тяговый расчет позволяет определить оптимальные характеристики двигателя и трансмиссии, учитывая массу автомобиля, коэффициент сопротивления движению, уклоны дороги и другие параметры.

Результаты тягового расчета демонстрируют не только технические возможности автомобиля, но и его эксплуатационные характеристики, такие как динамика разгона, максимальная скорость, экономичность и поведение на различных участках дороги. Важно учитывать не только тяговые характеристики двигателя, но и передачи, дифференциала и других компонентов трансмиссии, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между мощностью и моментом на колесах.

Проведенная расчетная работа играет важную роль в проектировании и оптимизации ходовых качеств автомобиля, что в конечном итоге повлияет на его эффективность, надежность и удовлетворенность пользователей. Регулярное совершенствование методов расчета и анализа проведенных расчетов позволит улучшить качество и конкурентоспособность автомобиля на современном рынке транспортных средств.

Результаты выполнения тягового расчета в виде графиков представлены в Приложении А и на листе графической части дипломного проекта.

### **3 Конструкторский расчет объекта дипломного проектирования**

#### **3.1 Техническое задание на проектирование подвески**

Цель проекта состоит в разработке подвески для раллийного автомобиля на базе LADA NIVA, обеспечивающей высокие характеристики управляемости, устойчивости и комфорта в условиях раллийных соревнований.

Подвеска должна обеспечивать надежную работу в условиях высоких динамических нагрузок и неровных дорожных покрытий. Компоненты подвески должны быть совместимы с шасси и другими элементами автомобиля LADA NIVA, она должна быть обеспечена возможностью регулировки параметров подвески для адаптации к различным условиям эксплуатации.

Требования к конструкции подвески можно сформулировать следующим образом:

- тип подвески – независимая подвеска для передней и задней оси;
- ход подвески – достаточный для обеспечения высокой проходимости и амортизации неровностей (не менее 200 мм);
- кинематическая схема разрабатывается с учетом оптимальных углов установки колес (кастер, сходжение) для улучшения управляемости и устойчивости;
- стабилизаторы поперечной устойчивости должны обеспечить уменьшение кренов кузова при поворотах;
- тип амортизаторов – газонаполненные гидравлические, с регулируемыми характеристиками демпфирования;
- диапазон регулировки должен обеспечивать адаптацию к различным условиям движения (от жестких спортивных до более мягких для сложных участков трассы);

- тип пружин – винтовые, обеспечивающие необходимую жесткость и ход подвески, характеристики пружин: должны быть рассчитаны для обеспечения оптимального соотношения между жесткостью и комфортом.

Разработка подвески для раллийного автомобиля на базе LADA NIVA требует комплексного подхода, включающего анализ требований, выбор типа подвески, проектирование и испытания. Выполнение технического задания обеспечит создание подвески, отвечающей высоким требованиям управляемости, устойчивости, комфорта и надежности в условиях раллийных соревнований.

«Ходовая часть легкового автомобиля должна с запасом удовлетворять условиям движения, которые могут быть созданы двигателем. В условиях всё возрастающих ускорений, скоростей движения и замедления ходовая часть должна надёжно обеспечивать безопасность движения. Эти требования легче выполнить, применяя независимые подвески, которые имеют следующие основные преимущества:

- компактность;
- возможность кинематического или эпастокинематического изменения схождения колёс в направлении недостаточной поворачиваемости;
- небольшая масса;
- отсутствие взаимовлияния колёс

Два последних преимущества важны для хорошего сцепления с дорогой, особенно на поворотах с волнистым покрытием.

Поперечные и продольные рычаги независимых подвесок обеспечивают желательные кинематические характеристики колёс при ходах сжатия и отбоя и осуществляют передачу сил на кузов.» [15]

Сначала проведём анализ применения различных подвесок крупнейшими производителями автомобилей в передней и задней подвесках полноприводных автомобилей. Данные сведём в таблицу 4.

Таблица 4 – Типы подвесок полноприводных автомобилей

Автомобиль	Передняя подвеска		Задняя подвеска				
	2-х рычажная подвеска	Подвеска на направляющих пружинных стойках	2-х рычажная подвеска	Подвеска на направляющих пружинных стойках	Подвеска на продольных рычагах	Подвеска на косых рычагах	Зависимая подвеска
Альфа-Ромео	-	+	-	-	-	-	+
БМВ	+	-	-	-	-	+	-
Лянча	-	+	-	+	-	-	-
Пежо	+	-	+	-	-	-	-
Мицубиси	+	-	+	-	-	-	-
Рено	+	-	+	-	-	-	+
Ситроен	+	-	-	-	-	-	-
Субару	-	+	-	+	-	-	-
Фиат	-	+	-	-	-	-	+
Фольксваген	-	+	-	-	-	+	-
Форд	+	-	+	-	-	-	-
Мерседес	+	-	-	-	-	-	+
ВАЗ-2121	+	-	-	-	-	-	+

«Как следует из таблицы 4, предпочтение в передней подвеске отдаётся подвеске на двойных поперечных рычагах. Подвеска на двойных поперечных рычагах имеет два поперечных рычага с каждой стороны, имеющие поворотные опоры в раме, рисунок 3. Наружные концы рычагов в случае передней подвески соединяются посредством шаровых шарниров с поворотной цапфой или кулаком. Крепление амортизаторной стойки возможно на оба рычага.» [5]

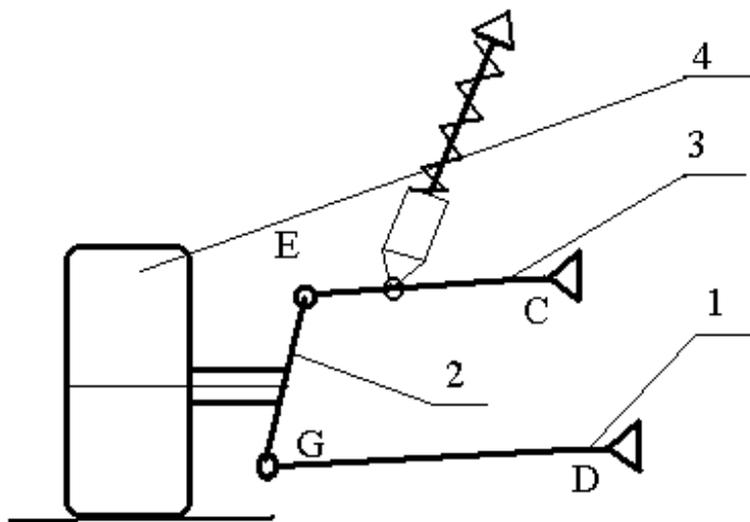


Рисунок 3 – Поперечная двухрычажная подвеска

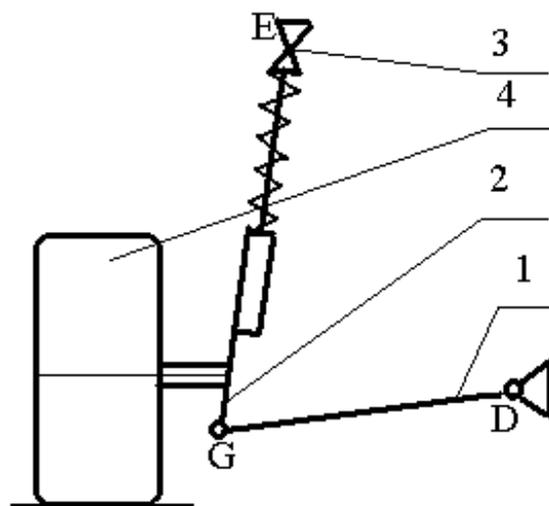


Рисунок 4 – Подвеска на направляющей пружинной стойке

Подвеска на направляющей пружинной стойке, известная также как подвеска типа Макферсон (MacPherson strut suspension), является одной из наиболее широко используемых типов подвесок для передних колес легковых автомобилей, рисунок 4. Этот тип подвески сочетает в себе простоту конструкции, компактность и эффективность, обеспечивая хорошие характеристики управляемости и комфорта.

Пружинная стойка подвески 2 принимает на себя вертикальные нагрузки от дороги, при этом пружина 3 сжимается или растягивается, а амортизатор гасит колебания, обеспечивая плавное движение. Поворотный кулак, соединенный с нижним рычагом 1 и стойкой 2, обеспечивает возможность вращения колеса 4 вокруг вертикальной оси для управления направлением движения. Нижний рычаг 1, соединенный с кузовом через сайлентблоки, воспринимает поперечные усилия и передает их на кузов, обеспечивая устойчивость и контроль над положением колеса 4. Шаровая опора позволяет поворотному кулаку поворачиваться относительно нижнего рычага, обеспечивая необходимую свободу движения. Стабилизатор поперечной устойчивости снижает крены кузова при поворотах, улучшая управляемость и устойчивость автомобиля.

Подвеска на направляющей пружинной стойке (Макферсон) является популярным и эффективным решением для передних колес автомобилей благодаря своей простой и компактной конструкции, обеспечивающей хорошие характеристики управляемости и комфорта. Этот тип подвески широко используется в современных автомобилях, предлагая баланс между производительностью, надежностью и экономичностью.

«С точки зрения управляемости и устойчивости, подвеска на двойных поперечных рычагах имеет более лучшие характеристики, взаимным положением двух рычагов можно определить или установить требуемую высоту как центра поперечного крена, так и центра продольного крена, при этом незначительно изменятся кинематические характеристики, что нельзя сказать о подвеске на направляющей пружинной стойке. Например, для изменения высоты крена придется изменить или наклон рычага, или стойки, но за счёт этого ухудшаются кинематические характеристики. Рисунок 5, рисунок 6, рисунок 7.» [13]

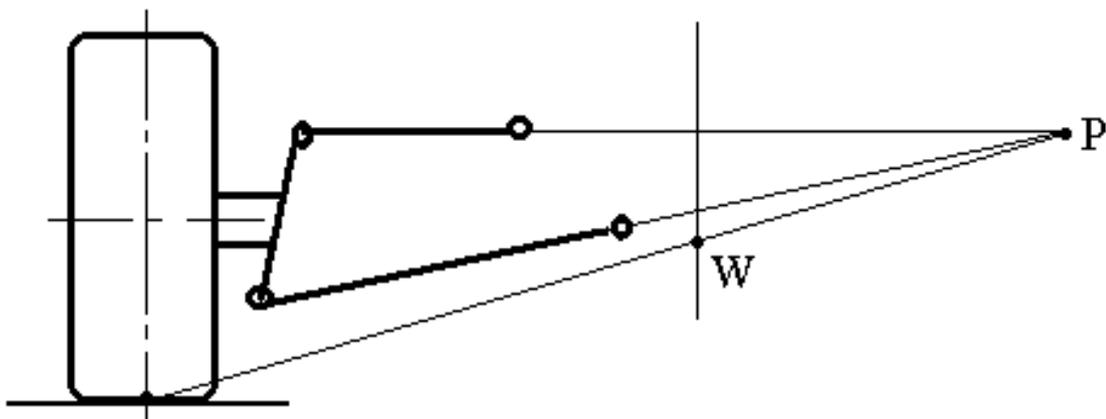


Рисунок 5 – Кинематика поперечного крена подвески на двойных поперечных рычагах:  $W$  – Центр поперечного крена 2-х рычажной подвески

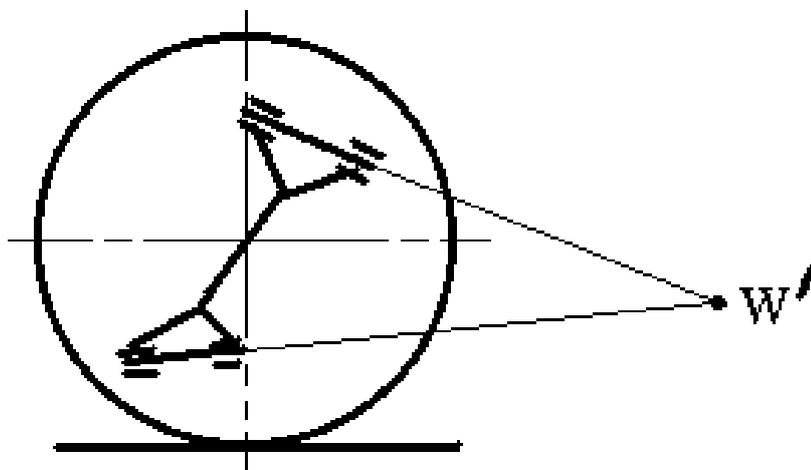


Рисунок 6 – Кинематика продольного крена подвески на двойных поперечных рычагах:  $W'$  – центр продольного крена 2-х рычажной подвески.

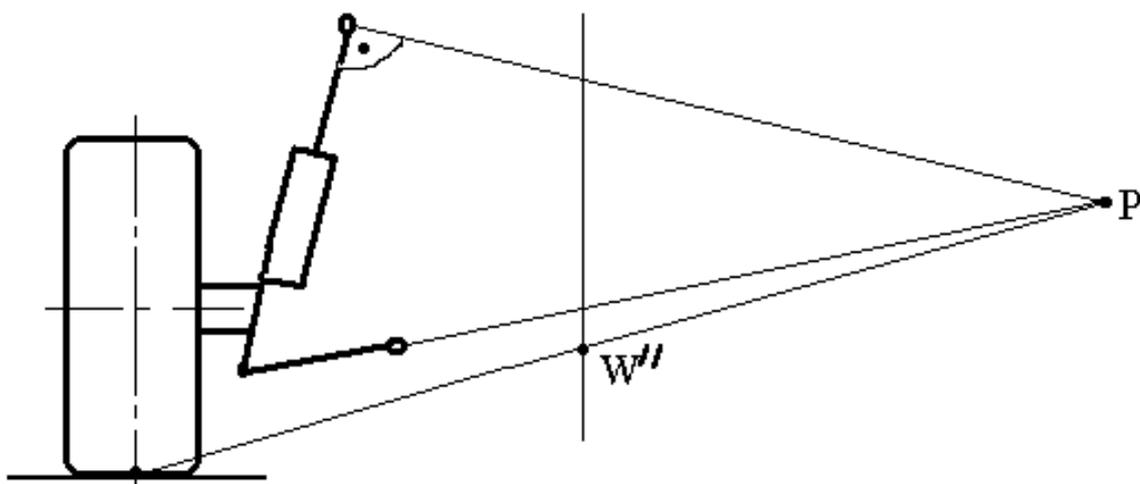


Рисунок 7 – Кинематика продольного крена подвески на направляющей пружинной стойке (Макферсон):  $W'$  – центр поперечного крена подвески с направляющей пружинной стойкой.

«Лучшие кинематические характеристики имеет 2-х рычажная подвеска. За счёт различных длин рычагов и углов их расположения можно влиять на угловые перемещения колёс при ходах отбоя и сжатия, т. е. На изменение развала и колеи. Труднее это сделать в подвеске на направляющих пружинных стойках, т.к. более короткий рычаг и стойка имеют менее узкий предел точек крепления к кузову и между собой, не позволяя получить более приемлемые характеристики при больших ходах подвески.» [15]

### 3.2 Техничко-экономическое обоснование выбора задней подвески

Подвеска на рычагах, известная также как многорычажная подвеска, является одним из наиболее продвинутых типов независимой подвески, используемой в автомобилях. Этот тип подвески обеспечивает отличные характеристики управляемости, комфорта и устойчивости благодаря сложной конструкции, включающей несколько рычагов, позволяющих точно контролировать движение колес.

«Учитывая многолетний опыт работы зарубежных фирм в области марафонских и кроссовых автомобилей в качестве задней подвески, могут быть применены подвеска на двойных поперечных рычагах и подвеска на косых рычагах. В большинстве случаев применяется подвеска на поперечных рычагах, которая позволяет сохранять требуемые кинематические характеристики при ходах подвески более 250 мм, что нельзя сказать о подвеске на косых рычагах. Кроме того, при применении подвески на двойных поперечных рычагах возможна и желательна унификация рычагов нижних и верхних, ступенчатого узла, только при изменении точек крепления рычагов на кузове для согласования передних и задних подвесок для обеспечения требуемой устойчивости и управляемости.

И несмотря на некоторые преимущества подвески на косых рычагах, таких как:

- хорошая завязка с приводом колёс;
- малый продольный крен при торможении;
- малый «подлом» наружного колеса при повороте, её плохие

кинематические характеристики, а именно, значительные изменения развала и колеи при больших ходах подвески и неблагоприятные «подломы» рычагов под действием боковых сил не позволяют использовать её в качестве задней подвески.» [7]

Многорычажная подвеска позволяет лучше контролировать положение и движение колес по отношению к кузову автомобиля. Это достигается за счет использования нескольких рычагов, которые могут быть настроены для оптимизации углов установки колес (кастер, камбер, сходжение) в зависимости от условий движения. Такой контроль улучшает сцепление колес с дорогой и повышает устойчивость автомобиля. Благодаря точному контролю углов установки колес, подвеска на рычагах обеспечивает высокую управляемость и стабильность автомобиля. Это особенно важно при прохождении поворотов, когда изменение углов установки колес

минимизируется, что улучшает сцепление шин с дорогой и уменьшает крены кузова.

Многорычажная подвеска обеспечивает более мягкую и комфортную езду благодаря способности лучше гасить удары и вибрации от дорожных неровностей. Каждый рычаг и компонент подвески может быть настроен для оптимального демпфирования, что снижает передачу ударов на кузов и пассажиров. Многорычажная конструкция позволяет настраивать подвеску под различные условия эксплуатации и требования. Инженеры могут регулировать длину и углы рычагов, жёсткость упругих элементов и характеристики амортизаторов для достижения оптимального баланса между комфортом и управляемостью.

Подвеска способна минимизировать эффекты подруливания колес при торможении и ускорении. Это достигается за счет правильной настройки геометрии рычагов, которая помогает поддерживать колеса в оптимальном положении, что улучшает стабильность и контроль над автомобилем. Использование нескольких рычагов помогает более равномерно распределять нагрузки между компонентами подвески. Это снижает износ и увеличивает долговечность системы. Каждый рычаг берет на себя часть нагрузки, что уменьшает стресс на отдельные компоненты и улучшает общую надежность подвески. Благодаря многорычажной конструкции, изменение колеи (расстояние между колесами с одной оси) при ходе подвески минимально. Это улучшает стабильность автомобиля, особенно при движении по неровным дорогам или в условиях высоких динамических нагрузок.

Многорычажная подвеска, за счет своей компактной и гибкой конструкции, позволяет автомобилю иметь более низкую и плоскую посадку. Это улучшает аэродинамические характеристики автомобиля, что важно для спортивных моделей и автомобилей премиум-класса.

Подвеска на рычагах предоставляет множество преимуществ, включая точную кинематику колес, улучшенную управляемость и стабильность, высокий комфорт езды, гибкость настройки, снижение эффекта подруливания,

равномерное распределение нагрузок, минимальное изменение колеи и улучшенную аэродинамику. Эти характеристики делают многорычажную подвеску предпочтительным выбором для спортивных и высокопроизводительных автомобилей, а также для моделей премиум-класса, где важны баланс между комфортом и управляемостью, надежностью и долговечностью.

### **3.3 Анализ кинематики разрабатываемой подвески и расчет на плавность хода подвески**

Кинематика подвески является ключевым аспектом в проектировании автомобильной подвески, так как она определяет движение колес относительно кузова и непосредственно влияет на управляемость, устойчивость и комфорт автомобиля. Рассмотрим основные аспекты кинематического анализа для разрабатываемой подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе LADA NIVA.

«Анализ кинематики подвески необходим для определения изменений развала схождения и колеи при ходах подвески. Анализ кинематики можно провести графическим и расчётным путём. Графический путь наиболее наглядный, но долгий метод. Расчётным путём можно быстро проанализировать подвеску, выбрав наиболее приемлемую кинематику, так как легко можно изменять точки крепления рычагов на кузове и их взаимные положения.

Проведём графический анализ подвески. Для расчёта на ЭВМ зададим точки крепления рычагов на кузове, их положение на поворотном кулаке, точку крепления рулевой тяги на кулаке, а также на реечном механизме, статический радиус колеса, хода подвески, а также максимальные углы поворота наружного и внутреннего колес.» [11]

Координаты точек задаём в трёхмерном пространстве. Автомобиль условно  
рассекаем тремя плоскостями X, Y, Z: см. рисунок 8.

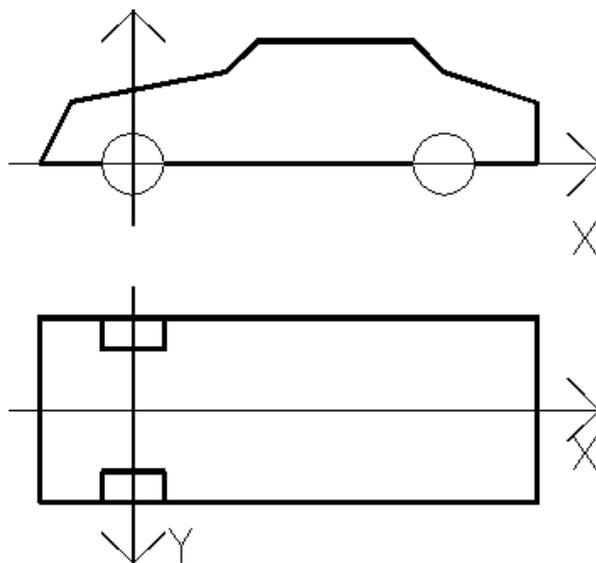


Рисунок 8 – Сечение автомобиля по плоскостям X, Y, Z

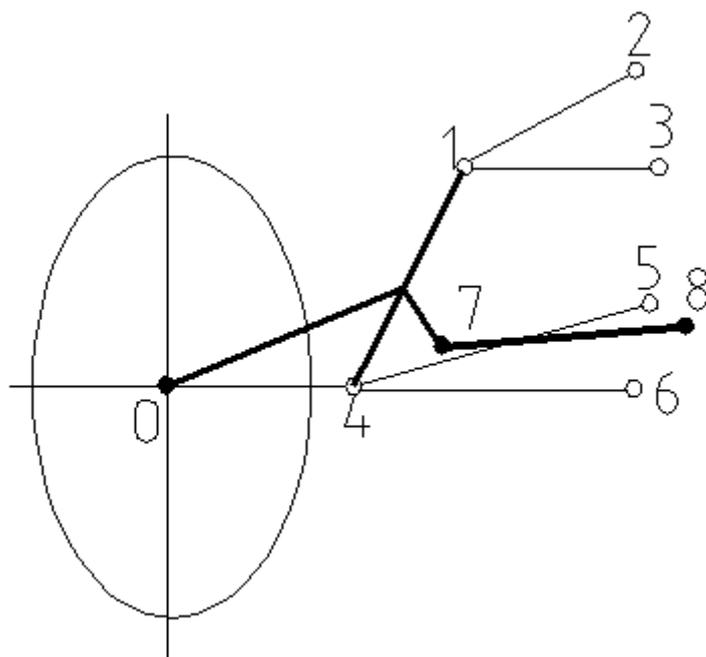


Рисунок 9 – Координаты точек для кинематического анализа подвески

Основными характеристиками кинематической работы подвески будут  
являться следующие параметры.

- развал (камбер) – угол наклона колес относительно вертикали, положительный развал означает, что верхняя часть колес отклонена наружу, а отрицательный — внутрь, оптимальный развал улучшает сцепление шин с дорогой при поворотах;

- продольный угол наклона оси поворота (кастер) – угол наклона оси поворота колеса в продольной плоскости, положительный кастер улучшает курсовую устойчивость и возврат рулевого колеса в нейтральное положение;

- схождение (тоу) - разница в расстоянии между передними и задними краями колес на одной оси, положительное схождение означает, что передние края колес ближе друг к другу, отрицательное — дальше друг от друга. Правильная настройка схождения улучшает стабильность и управляемость.

Кинематический анализ разрабатываемой подвески является критически важным этапом в проектировании. Оптимизация углов установки колес, хода подвески и анти-эффектов позволяет достичь высоких характеристик управляемости, устойчивости и комфорта. Применение программного обеспечения для моделирования и симуляции помогает точно предсказать поведение подвески и внести необходимые изменения для достижения оптимальных результатов.

«Оценочные параметры плавности хода автомобиля должны характеризовать воздействие колебаний на водителя. Сейчас принято, что показателями плавности хода являются вертикальные ускорения, действующие на водителя и пассажиров и частоты собственных колебаний поддрессорной массы автомобиля.

В данном расчёте будут определены среднеквадратичные значения ускорений в октавных полосах частот, а также среднеквадратичное ускорение для автомобиля. Расчёты будут вестись для передней подвески автомобиля. Полученные значения будут сравнены с допустимым уровнем вибраций, определяемыми ГОСТом 12.1.012 – 78 «Вибрация. Общие требования

безопасности» и стандартом 2631 ISO «Вибрация, передаваемая человеческому телу». Стандарт 2631 устанавливает допустимые значения вертикальных среднеквадратичных виброускорений, дифференцированные по длительности воздействия» [12]

«Исходные данные для расчёта на ЭВМ:

- масса поддресоренная, действующая на переднюю ось:  $M = 6800$  Н
- масса неподдресоренная передней оси:  $m = 1000$  Н
- жёсткость подвески:  $C_p = 74285$  Н/м
- коэффициент демпфирования подвески:  $K_p = 1976$  Н·С/м
- жёсткость шины:  $C_k = 90\ 000$  Н/мм
- коэффициент демпфирования шины:  $K_k = 65,8$  Н·С/м
- масса водителя:  $m_v = 750$  Н

Расчёт ведём для двух типов дорог:

- Асфальтобетон при скоростях: 50, 100, 150, 200 км/ч
- Булыжник при скоростях: 50, 100, 150 км/ч

Данные полученные расчётом на ЭВМ сведём в таблицу 5 и график на лист.» [13]

Таблица 5 - Вертикальные среднеквадратичные виброускорения

Частота воздействия, Гц	Среднеквадратичные ускорения поддресоренной $M$ .						
	Асфальто - бетон				Булыжник		
0,5	0,045	0,044	0,04	0,036	0,0634	0,05	0,04
1	0,56	0,04	0,41	0,394	0,59	0,56	0,49
2	0,33	0,44	0,39	0,399	0,53	0,58	0,55
4	0,166	0,26	0,376	0,398	0,34	0,45	0,48
8	0,14	0,16	0,2	0,262	0,24	0,34	0,39
16	0,06	0,09	0,11	0,13	0,138	0,19	0,24
32	0,03	0,05	0,06	0,07	0,075	0,12	0,13
64	0,02	0,03	0,037	0,043	0,046	0,65	0,069
	50	100	150	200	50	100	150
	Va скорость автомобиля, км/ч						

«Применим также предлагаемую нами качественную оценку плавности хода по среднеквадратичному ускорению на всех сиденьях автомобиля и предусматривающую две нормативные величины: норма А – по плавности хода соответствие высшим достижениям автотехники и норма Б – конкурентоспособная автотехника.

Полученные при расчётах данные сведём в таблицу со сравниваемыми данными. Ускорения в автомобиле не должны превышать указанных в таблице 6 величин при скорости 100 км/ч по обоим видам дорог.

Таблица 6 – Количественная оценка ускорений

Нормы	Тип дороги	Среднеквадратичные ускорения, м/с <sup>2</sup>	
		Нормативные	Расчётные
А	Асфальтобетон	0,75	0,55
Б		1	
А	Бульжник	1	0,78
Б		1,5	

Из таблиц и графика видно, что данная подвеска удовлетворяет требованиям ГОСТа и предлагаемой количественной оценке по плавности хода. Хотя при движении по бульжнику среднеквадратичные ускорения при скоростях движения свыше 100 км/ч, выходят за пределы «уровня производительной работы» [13]

### **3.4 Расчет сил, действующих на двухрычажную поперечную подвеску**

Для расчёта сил в подвеске необходимо знать все силы и веса деталей подвесок, допустимые нагрузки, компоновочные размеры подвески, а также плечи действия сил и углы. Данные сведём в таблицу 7.

Таблица 7 – Исходные данные для расчета сил, действующих на подвеску

Нагрузка на передний мост $G_v$ , Н	6800
Нагрузка на колесо $N_v$ , Н	3400
Половина веса неподрессоренных частей $U_v / 2$ , Н	500
Максимальная сила тяги $L_{al}$ , Н	3740
Плечо обкатки $R_0$	0
Угол наклона оси поворота в поперечной плоскости $\delta$	$7^\circ$
Угол продольного наклона оси поворота колеса $\varepsilon$	$7^\circ$
Схождение колёс $J$	$1^\circ 30'$
Расстояние между точками А и В в направлении оси $s$ , мм	221
Высота точки над поверхностью дороги $d$ , мм	240
Угол наклона верхнего рычага $\alpha$	$10^\circ$
Угол наклона нижнего рычага $\beta$	$8^\circ$
Наружный диаметр $D$ , мм	73
Статический радиус $r_{ст}$ , м	330
Динамический радиус $r_d$ , мм	345
Давление воздуха $P_1$ , МПа	0,2

«Для определения коэффициента динамичности  $K$ , необходимо знать жёсткость шины  $C$ . Допустимая нагрузка на шину составляет  $N_R = 9000$  Н при давлении в ней  $P_2 = 0,23$  МПа. По этим двум значениям для рекомендуемого давления получаем  $P_1 = 0,2$  МПа.» [24]

Прогиб

$$f_3 = D/2 - r_{cm} = 736 / 2 - 330 = 37 \text{ мм}$$

Жёсткость шины отсюда:

$$C_R = N_R / f_3 = 9000 / 37 = 237 \text{ Н/мм}$$

$$C_1 = C_R \cdot P_1 / P_2 = 237 \cdot 0,2 / 0,23 = 206 \text{ Н/мм}$$

$$C_1 / N_v = 206 / 3400 = 0,0546 \text{ мм}^{-1}$$

«С использованием коэффициента  $K_1 = 1,54$  см. рисунок 10а коэффициента динамической нагрузки на колесо получаем верхнее значение вертикальной силы

$$N_{v0} = N_v \cdot K - V_v / 2 = 3400 \cdot 1,54 - 500 = 4700 \text{ Н}$$

Коэффициент боковых сил  $MF_1$  для определения боковой силы  $S_1$ , имеющей знакопеременный характер, находим по рис. как функцию нагрузки на колесо при  $N_v = 3400 \text{ Н}$ ,  $M_{F1} = 0,34$ , рисунок 10б.» [3]

$$S_1 = N_v \cdot MF_1 = 3400 \cdot 0,34 = 1156 \text{ Н}$$

«В начале проведём расчёт верхнего значения силы в шарнирах  $B_0$ , которой нагружена нижняя шаровая опора  $B$ , при этом рычаг расположен под углом  $\beta = 8^\circ$ .

$$B_{x0} = B_0 \cos \beta; B_{y0} = B_0 \sin \beta \quad (1)$$

В соответствии с рисунком 10. уравнение моментов относительно расположенной на верхнем рычаге точки  $A$  будет иметь следующий вид:

$$B_0 = [N' v_0 a + S_1 (d - ns + c)] / [c \cos \beta - (a-b) \sin \beta] \quad (2)$$

Учитывая длину плеч:

$$ns = rg \cdot \sin^2 \varepsilon = 345 \cdot 0,0148 = 5 \text{ мм}$$

$$a = (c+d) \operatorname{tg} \delta_0 + R_0 = 461 \cdot 0 + 1227 = 56 \text{ мм}$$

$$a - b = c \operatorname{tg} \delta_0 = 221 \cdot 0,1227 = 27 \text{ мм}$$

$$B_0 = [4700 \cdot 56 + 1156 \cdot 456] / 214 = 3693 \text{ Н}$$

Следовательно:

$$B_{x_0} = 3657 \text{ Н}, B_{y_0} = 513 \text{ Н}$$

$$A_{x_0} = B_{x_0} - S_1 = 2501 \text{ Н} \gg [4]$$

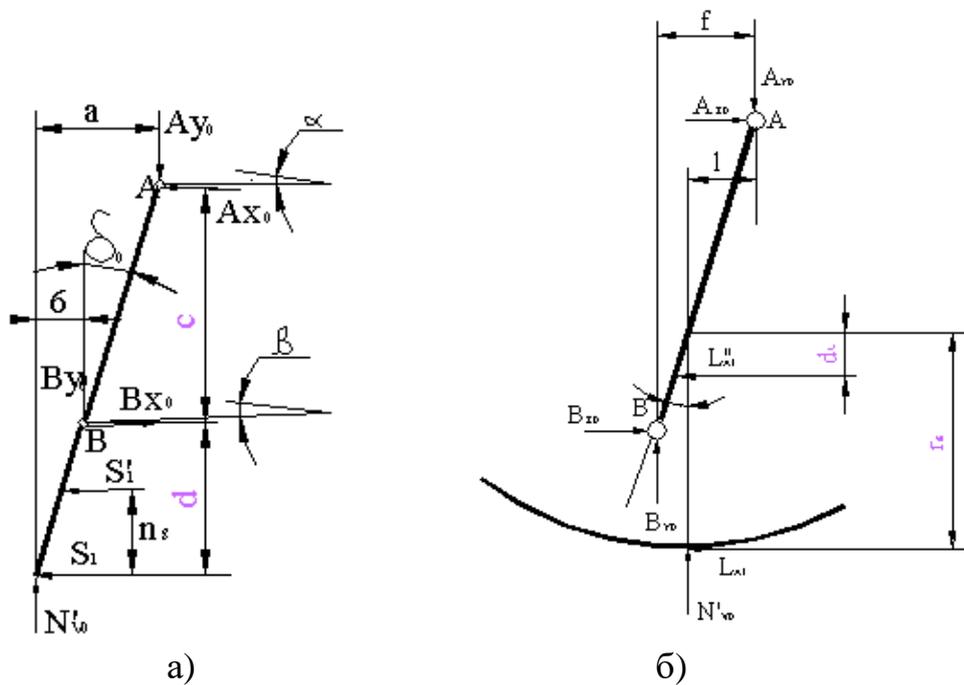


Рисунок 10 - Силы, действующие в случае, когда пружина опирается на верхний рычаг: а—вид сзади ; б—вид сбоку

«В начале проведём расчёт верхнего значения силы в шарнирах  $B_0$ , которой нагружена нижняя шаровая опора В, при этом рычаг расположен под углом  $\beta=8^\circ$ .

$$B_{x0} = B_0 \cos \beta; B_{y0} = B_0 \sin \beta \quad (3)$$

В соответствии с рисунком 10 уравнение моментов относительно расположенной на верхнем рычаге точки А будет иметь следующий вид:

$$B_0 = [N' \cdot v_0 \cdot a + S_1 (d - ns + c)] / [c \cos \beta - (a-b) \sin \beta] \quad (4)$$

Учитывая длину плеч

$$ns = rg \cdot \sin^2 \varepsilon = 345 \cdot 0,0148 = 5 \text{ мм}$$

$$a = (c+d) \operatorname{tg} \delta_0 + R_0 = 461 \cdot 0 + 1227 = 56 \text{ мм}$$

$$a - b = c \operatorname{tg} \delta_0 = 221 \cdot 0,1227 = 27 \text{ мм}$$

$$B_0 = [4700 \cdot 56 + 1156 \cdot 456] / 214 = 3693 \text{ Н}$$

Следовательно,

$$B_{x0} = 3657 \text{ Н} \quad B_{y0} = 513 \text{ Н}$$

$$A_{x0} = B_{x0} - S_1 = 2501 \text{ Н}$$

$$A_{y0} = N_{v0} + B_{y0} + 5213 \text{ Н} \gg [4]$$

«Нижние значения сил в шарнирах подвески рассчитываются с целью определения возможности появления знакопеременной нагрузки.

Приняв за центр точку  $A$ , получаем (рисунок 11).

$$N^l v = N v - V v \div 2 = 3400 - 500 = 2900 \text{ Н}$$

$$B_u = [S1 (d - ns + c) - N^l v \cdot a] / [c \cdot \cos \beta - (a - b) \sin \beta] = [1156 \cdot 456 - 2900 \cdot 56] / 214 = 1704 \text{ Н} \text{ [6]}$$

$$B_{xu} = B_u \cos \beta = 1687 \text{ Н}; \quad B_{yu} = B_u \sin \beta = 237 \text{ Н}$$

Отсюда получаем:

$$A_{xu} = B_{xu} - S1 = 1687 - 1156 = 531 \text{ Н}$$

«Чтобы определить поперечную силу  $B_c$ , которая изгибает поворотную цапфу, следует дополнительно определить составляющие, действующие в направлении оси  $Z$ . При этом речь идёт о силе тяги  $LAI$  и реакциях опоры, вызываемых продольным наклоном оси поворота.» [6], [9]

Плечо силы  $LAI$  равна:

$$a l = R \sin \delta o \sqrt{(1 + tg^2 \varepsilon) / (1 + tg^2 \varepsilon + tg^2 \delta o)} + r g \sin \delta o \cdot \sin (\delta o + \gamma o) = 345 \cdot \sin 7 \cdot \sin (8^\circ 30') = a l = 6 \text{ мм.}$$

Плечи  $e$  и  $f$ , рисунок 11, равны:

$$e = (c + d - r g) tg \varepsilon = 14 \text{ мм.}$$

$$f = c \cdot tg \varepsilon = 27 \text{ мм.}$$

Из уравнения моментов относительно точки А получаем:

$$B_{zo} = [N'_{vo} + L_{al}(d + c + a l - rg) - B_{yof}] / c = B_{zo} = [4700 + 3740(240 + 221 + 6 - 345) - 513 \cdot 27] / 221 \Rightarrow \text{где: } L_{al} = N_v \cdot 1,1 = 3740 \text{ Н}$$

$$B_{zo} = 2023 \text{ Н}$$

Откуда:

$$A_{zo} = L_{al} - B_{zo} = 3740 - 2023 = 1717 \text{ Н}$$

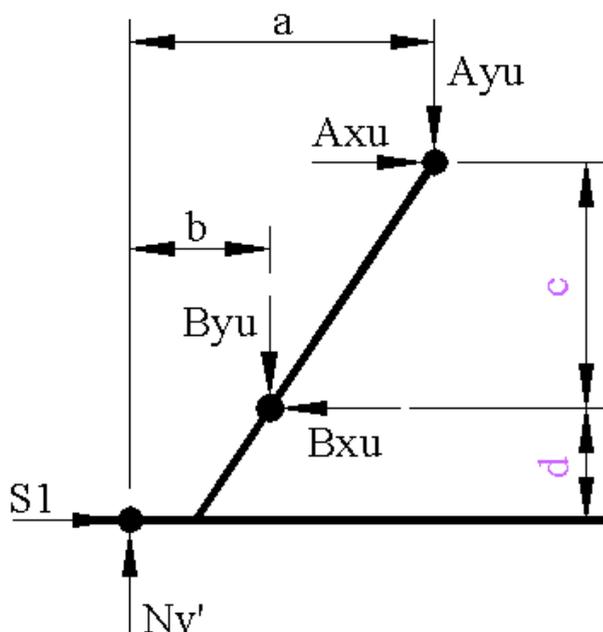


Рисунок 11 – Схема поворотной стойки для определения нижнего значения длительно действующих сил в шаровых шарнирах А и В

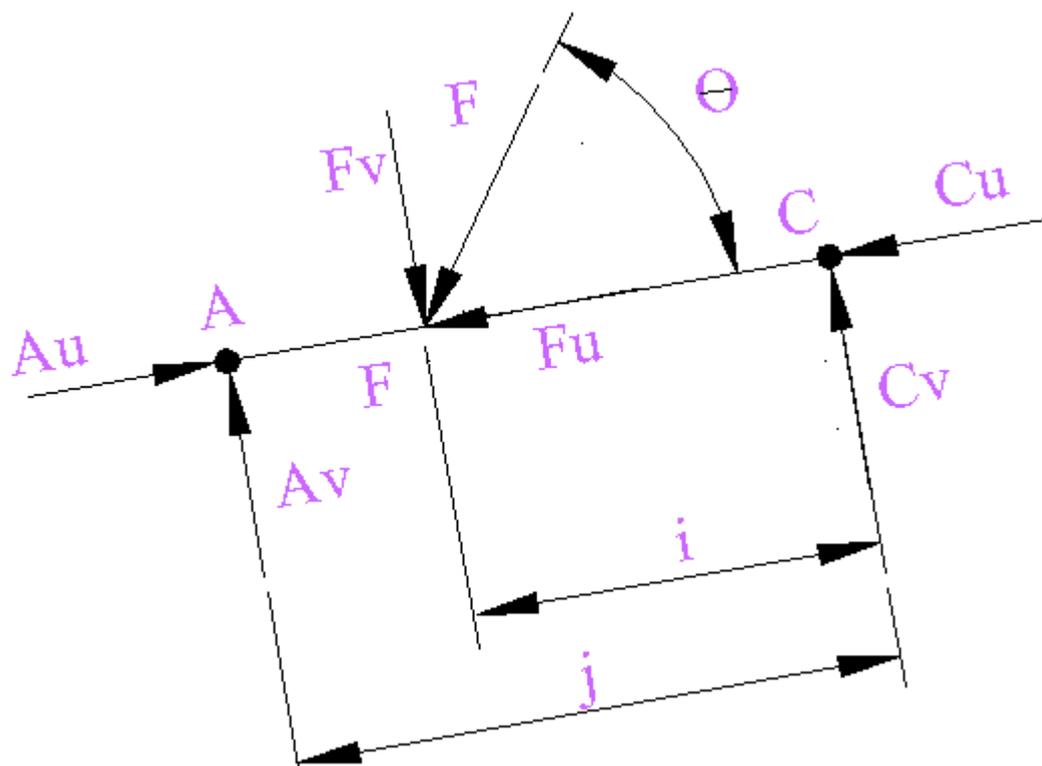


Рисунок 12 – Схема сил для определения силы  $F$  пружины

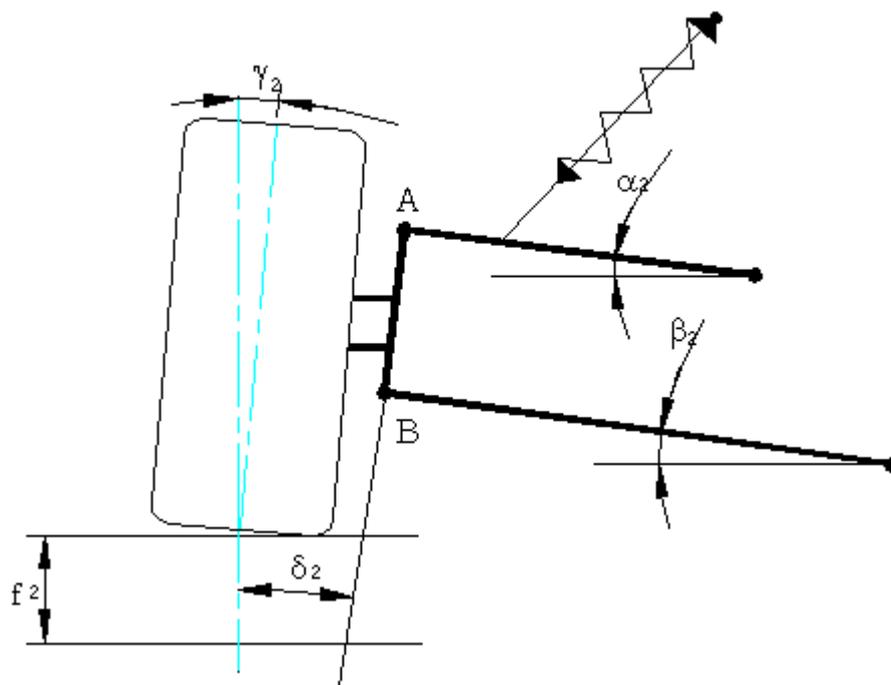


Рисунок 13 - Подвеска в крайне верхнем положении.

«Знакопостоянная сила, создающая в верхнем шарнире напряжения сжатия.

$$A_{y0} = 5213 \text{ Н}$$

Напряжения изгиба в шаровом пальце вызываются действующими на шарнир радиальными силами  $A_{x0}$  и  $A_{z0}$ , которые в соответствии с п. 4.1.2 следует просуммировать:

$$A_{\varepsilon} = \sqrt{A_{x0}^2 + A_{z0}^2} = \sqrt{2501^2 + 1717^2} = 3033 \text{ Н}$$

Силы, действующие на нижний шарнир  $B$ :

Сложим, также 3 силы  $B_{x0}$ ,  $B_{x1}$  и  $B_{z0}$ , действующие в радиальном направлении на нижний шарнир  $B$ , и отделим от растягивающих и сжимающих шарнир составляющих  $B_{y0}$  и  $B_{y1}$ , рисунок 12.

$$B_{\varepsilon} = \sqrt{(B_{x0} + B_{x1})^2 + B_{z0}^2} = \sqrt{(3687 + 1687)^2 + 2023^2} = 5714 \text{ Н}$$

Жёсткость пружины определяется при действии верхних значений сил на подвеску при статическом положении. Для определения жёсткости необходимо определить силу пружины  $F$  и ход амортизаторной стойки от отбоя до статики.» [6]

«Для определения силы  $F$  пружины, составляющие  $A_x$  и  $A_y$  на опоре  $A$ , необходимо разложить по направлениям осей  $U$  и  $V$ , вдоль и поперёк рычага, рисунок 13.» [3]

$$A_v = A_y \cos \alpha + A_x \sin \alpha$$

$$A_u = A_x \cos \alpha - A_y \sin \alpha$$

$$A_v = 5213 \cos 10 + 2501 \sin 10 = 4697 \text{ Н}$$

$$A_u = 2501 \cos 10 - 5213 \sin 10 = 1557 \text{ Н}$$

Составляем уравнение моментов сил относительно точки С:

$$\varepsilon_{Mc} (F_i) = 0$$

$$F_v \cdot i - A_v j = 0$$

Из чертежа известно, что :  $i = 293 \text{ мм}$ ,  $j = 363 \text{ мм}$ ,  $\Theta = 50^\circ$ .

$$F_v = A_v j / i = 4697 / 293 = 5819 \text{ Н}$$

Сила на пружине:

$$F = F_v / \sin \Theta = 5819 / \sin 50 = 7596 \text{ Н}$$

Составляющая сила вдоль рычага :

$$F_u = F \cos \Theta = 7596 \cdot \cos 50 = 4882 \text{ Н}$$

«Так как известна сила пружины и ход подвески от отбоя до статики, то жёсткость пружины мы можем найти по формуле:» [1]

$$C = F / f, \text{ Н/мм} \quad (5)$$

где  $f, = 70 \text{ мм}$

$$C = 7596 / 70 = 108 \text{ Н /мм}$$

«Так как у нас в каждой подвеске по две амортизаторные стойки, жёсткость одной пружины  $C = 54 \text{ Н / мм}$ . Жёсткость 2-х пружин  $C = 108 \text{ Н/мм}$ . Наклон амортизаторной стойки к верхнему рычагу при сжатии:  $\Theta_2 = 70^\circ$ . Ход амортизаторной стойки полный:  $f = 171$ . Отсюда:» [15]

$$F_{max} = c f \quad (6)$$

$$F = 108 \cdot 171 = 18468 \text{ Н на 2-х пружинах}$$

$$F_1 = 9234 \text{ Н на одной пружине.}$$

Разложим силу  $F_{max}$  вдоль и поперёк рычага, рисунок 14а.

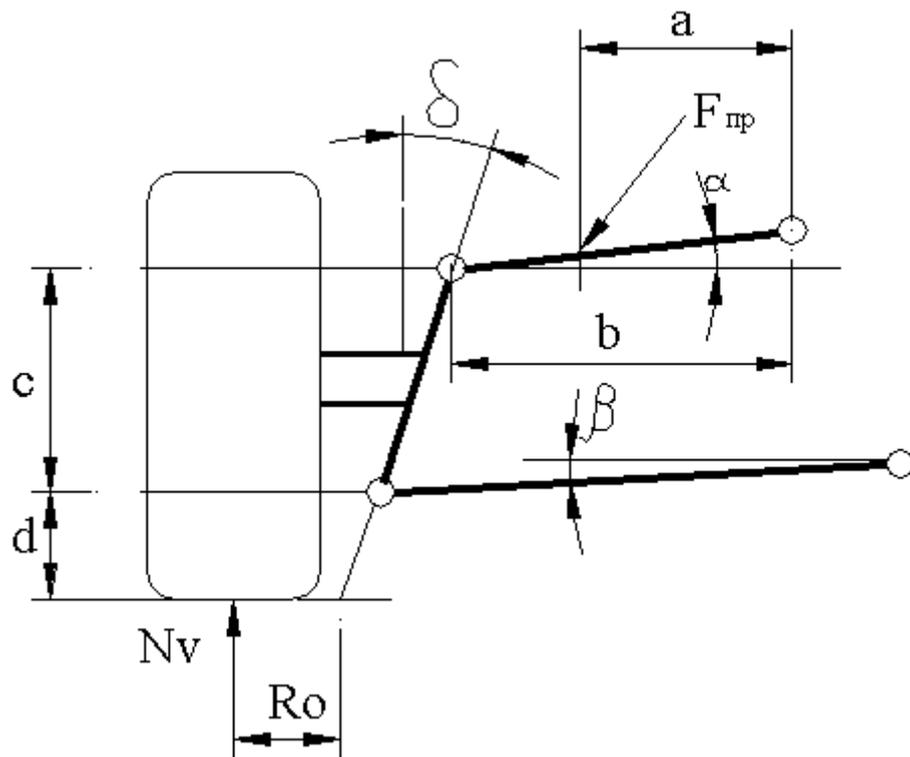
$$F_{v2} = F \sin \alpha = 18468 \sin 70 = 17354 \text{ Н}$$

$$F_{u2} = F \cos \alpha = 18468 \cos 70 = 6316 \text{ Н}$$

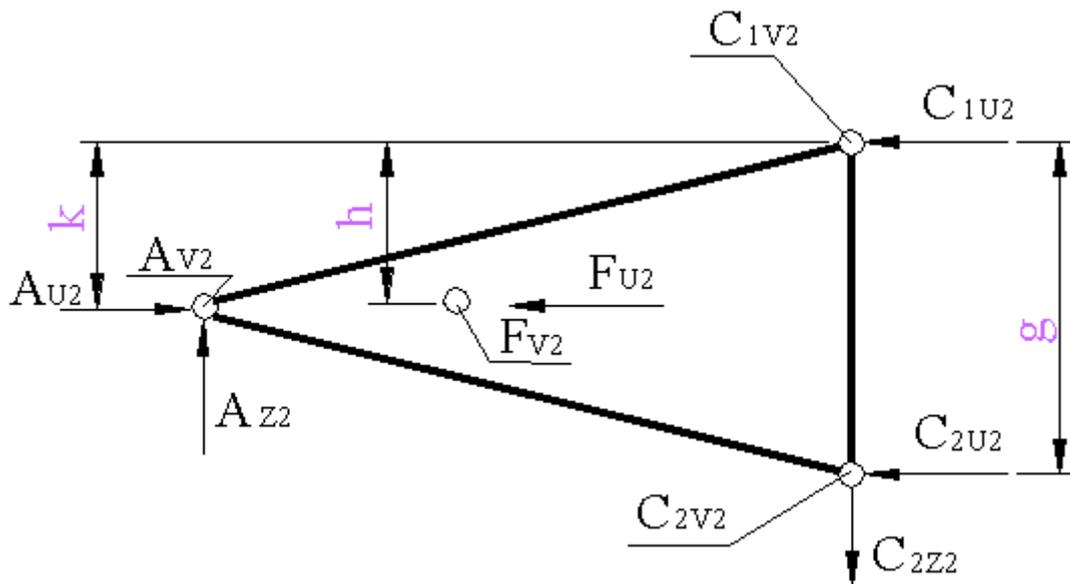
Расчёты передаточных отношений по силам и перемещениям сведём в таблицу 8.

Таблица 8 – Передаточные отношения по силе и по ходу

Положение подвески	ix передаточное отношение по ходу	ix передаточное отношение по силе
Отбой	1,369	1,25
Статика	1,435	1,362
Сжатие	1,65	1,34



а)



б)

Рисунок 14 - Силы, действующие на рычаг при переезде через железную дорогу: а) вид сбоку, б) вид сверху

«При расчёте максимальных вертикальных нагрузок колесо следует установить в крайне верхнее положение, сместив его от статики на величину хода  $f$ , . При этом изменятся углы:

- $\alpha_2 = 20^\circ$ , наклона верхнего рычага
- $\beta_2 = 13,5^\circ$ , наклона нижнего рычага
- $\delta_2 = 9,5^\circ$ , наклона оси поворота

При этом ход подвески от статики  $f$ , = 190 мм.

Плечи и расстояния, необходимые для расчёта, рисунок 14.

- $i = 293$  мм
- $j = 363$  мм
- $g = 360$  мм
- $k = h = 180$  мм

Но так угол наклона оси поворота изменился незначительно, расстояния  $a, b, c, d$ , могут считаться неизменными.

Прежде чем рассчитать силы в пятне контакта определим максимальную силу при сжатии на пружине, а также передаточные отношения по силе и по перемещению, таблица 8.» [15]

Находим силы контакта колеса с дорогой. Максимальная вертикальная сила:

$$N_{v2} = F/i_y = 18468 / 1,34 = 13782 \text{ Н}$$

$$N_{v2}^l = 13782 - V_v / 2 = 13782 - 500 = 13282 \text{ Н}$$

$$S_l = M_{Fl} \cdot N_v = 0,34 \cdot 13782 = 4685 \text{ Н}$$

«Силы в нижнем рычаге направляющего устройства подвески.

Составляющие  $B_{x2}$   $B_{y2}$  определяются направлением рычага и связаны между собой углом  $\beta_2$ . Составляя управление моментов относительно точки  $A$  в соответствии с рисунком 14 получим:» [15]

$$N_{v2}^l = a + S_1 (c + d - n_s) - B_{x2} \cdot c - B_{y2} (a-b) = 0 \quad (7)$$

$$B_{x2} = [N_{v2}^l \cdot a + S_1 (c + d - n_s)] / [c + (a-b) \operatorname{tg} \beta_2] \quad (8)$$

$$B_{x2} = 13282 \cdot 56 + 4658 (221 + 240 - 5) / 221 + (56-29) \cdot \operatorname{tg} 13,5 = 12661 \text{ Н}$$

$$B_{y2} = B_{x2} \cdot \operatorname{tg} \beta_2 = 12661 \cdot \operatorname{tg} 13,5 = 3039 \text{ Н}$$

«В связи с тем, что вертикальная нагрузка выросла, составляющая по оси Z должна быть пересчитана:

$$B_{z2} = \{ N_{v2}^l \cdot e - B_{y2} \cdot f + L_A [c+d - (r_g - a_1)] \} / c \quad (9)$$

$$B_{z2} = 13282 \cdot 14 - 3039 \cdot 27 + 3740 [221 + 240 - (345 - 6)] / 221$$

$$B_{z2} = 2534 \text{ Н}$$

Чтобы определить максимальную силу, действующую в поперечном направлении, следует сложить составляющие в направлениях осей X и Z;

$$B_2 = \sqrt{B_{y2}^2 + B_{z2}^2} = \sqrt{12661^2 + 2534^2} = 12912 \text{ Н}$$

Составляющая  $B_{y2} = 3039 \text{ Н}$  создаёт в нижнем направляющем рычаге напряжения сжатия. Чтобы рассчитать все силы, действующие на нижний рычаг, необходимо разложить составляющие реакцией  $B_x$  и  $B_y$  на связанные с рычагом направления осей  $U$  и  $V$ .» [15]

$$B_{y2} = B_{y2} \cos \beta_2 + B_{x2} \sin \beta_2 \quad (10)$$

$$B_{u2} = B_{x2} \cos \beta_2 - B_{y2} \sin \beta_2 \quad (11)$$

$$B_{v2} = 3039 \cos 13,5 + 12661 \sin 13,5 = 5910 \text{ Н}$$

$$B_{u2} = 12661 \cos 13,5 - 3039 \sin 13,5 = 11601 \text{ Н}$$

«Определяем силы в опорах  $D_1$  и  $D_2$ , а также промежуточном стержне  $D_3$

$$D_1 = B_{u2}^l \cos(\alpha/2 + \alpha_p) / \sin \alpha \quad (12)$$

$$D_2 = B_{u2}^l \cos(\alpha/2 - \alpha_p) / \sin \alpha \quad (13)$$

$$D_3 = B_{u2}^l \cos(\alpha/2 - \alpha_p) / \sin \alpha (\sin \alpha / 2) \quad (14)$$

где:

$$B_{u2}^l = \sqrt{B_{u2}^2 + B_{z2}^2} = \sqrt{11601^2 + 2534^2} = 11875 \text{ Н}$$

$$\alpha_p = \arccos B_{z2} / B_{u2}^l = \arccos 2534 / 11875 = 77^\circ$$

$$D_1 = 11875 \cos(21+77) / \sin 42 = -2469 \text{ Н}$$

$$D_2 = 11875 \cos(21-77) / \sin 42 = 9923 \text{ Н}$$

$$D_3 = 11875 \cos(21-77) / \sin 42 \cdot (\sin 21) = 3556 \text{ Н}$$

Составляющие силы в шарнире А, рисунок 11.» [15]

$$A_{x2} = B_{x2} - S_I = 12661 - 4685 = 7976 \text{ Н}$$

$$A_{y2} = N^l_{vz} - B_{y2} = 13282 - 3039 = 10243 \text{ Н}$$

$$A_{z2} = L_{A1} - B_{z2} = 3740 - 2534 + 1206 \text{ Н}$$

«Из сил, действующих на верхний рычаг,  $A_{y2}=10243 \text{ Н}$  является самой большой сжимающей силой.

Поперечная сила:

$$A_{z\varepsilon} = \sqrt{A_x^2 + A_z^2} = \sqrt{7976^2 + 1206^2} = 8066 \text{ Н}$$

Разложение сил на составляющие в направлениях  $U$  и  $V$

Чтобы определить нагрузки, действующие на опорах, надо разложить силы  $A_{x2}$  и  $A_{y2}$  вдоль и поперёк рычага, рисунок 14.

$$A_{xu} = A_{x2} \cdot \cos \alpha_2 = 7976 \cdot 0,939 = 7489 \text{ Н}$$

$$A_{xv} = A_{x2} \cdot \sin \alpha_2 = 7976 \cdot 0,342 = 2727 \text{ Н}$$

$$A_{yu} = A_{y2} \cdot \sin \alpha_2 = 10243 \cdot 0,342 = 3503 \text{ Н}$$

$$A_{yv} = A_{y2} \cdot \cos \alpha_2 = 10243 \cdot 0,939 = 9618 \text{ Н}$$

$$A_{u2} = A_{xu} - A_{yu} = 7489 - 3503 = 3985 \text{ Н}$$

$$A_{v2} = A_{xv} + A_{yv} = 2727 + 9618 = 12345 \text{ Н}$$

Силы в шарнирах:» [15]

$$C_{2v2} = F_{v2h} - A_{v2} k / g = 173\,54 \cdot 180 - 12345 \cdot 180 / 360 = 13,9 \text{ Н}$$

$$C_{1v2} = F_{v2} - A_{v2} - C_{2v2} \Rightarrow C_{1v2} = 17354 - 12345 - 13,9 = 4995 \text{ Н}$$

«Составляем уравнение моментов относительно точки  $C_2$  и находим

$$C_{1u2} = A_{u2} (g-k) + A_j + F_{u2} (g-h) / g \quad (15)$$

$$C_{1u2} = 3985 \cdot 180 + 1206 \cdot 363 + 6316 \cdot 180 / 360$$

$$C_{1u2} = 6366 \text{ Н}$$

$$C_{2u2} = A_{u2} + F_{u2} - C_{1u2} \quad (16)$$

$$C_{2u2} = 3985 + 6316 - 6366 = 3935 \text{ Н}$$

При расчете необходимо учесть изменение расстояние от поверхности дороги до шарнира  $B$ , при торможении, в результате увеличении нагрузки. Используем динамический и статический радиус шин.

Разница между радиусами составляет:

$$\Delta r = r_g - r_{ct} = 345 - 330 = 15 \text{ мм}$$

Тогда расстояние до шарнира  $B$

$$d = d - \Delta r = 240 - 15 = 225 \text{ мм}$$

Остальные длины плеч остаются неизменными. При расчетах исключаем силу  $S$ .» [15]

### 3.5 Расчет верхнего и нижнего рычагов

«Для обоих рычагов выбираем сталь 30Х ГСА. Она имеет следующие прочностные характеристики:  $\sigma_B = 1080$  МПа  $\delta = 10\%$ ,  $\sigma_{0.2} = 835$  МПа

Изгибающий момент  $M_{изг}$  подсчитывается для нескольких сечений рычага, а затем для этих же сечений определяются напряжения изгиба.

$$\sigma_B = M_u / W_c \quad (17)$$

где,  $W_c$  – момент сопротивления в расчётном сечении, который зависит от его формы. В нашем случае для верхнего рычага, т.к. он имеет форму полого тонкостенного прямоугольника, момент сопротивления подсчитывается формулой:

$$W_x = \delta H^2 / 3 (3 \cdot B/H + 1) \quad (18)$$

$$W_y = \delta B^2 / 3 (3 \cdot H/B + 1) \quad (19)$$

$$W_x = W_y = \pi \delta d^2 / 4 \quad (20)$$

Напряжения изгиба должны быть меньше напряжения текучести, они должны удовлетворять условию:

$$K_g \cdot \sigma_{изг} < [\sigma_{изг}] = 0,7 [\sigma_T] \quad (21)$$

где  $K_g$  - коэффициент динамичности.» [15]

«Прведём расчёт на прочность верхнего рычага. Максимальные нагрузки в подвеске возникают при переезде железной дороги, т.е. при максимально сжатом положении подвески. Чтобы не считать напряжения изгиба в нескольких местах, определим “опасное сечение” в рычаге и определим  $\sigma_{изг \max}$ . Приложим к верхнему рычагу максимальные силы и

построим эпюры нагрузений, рисунок 15 и разрез рычага в опасном сечении рисунок 16.» [25]

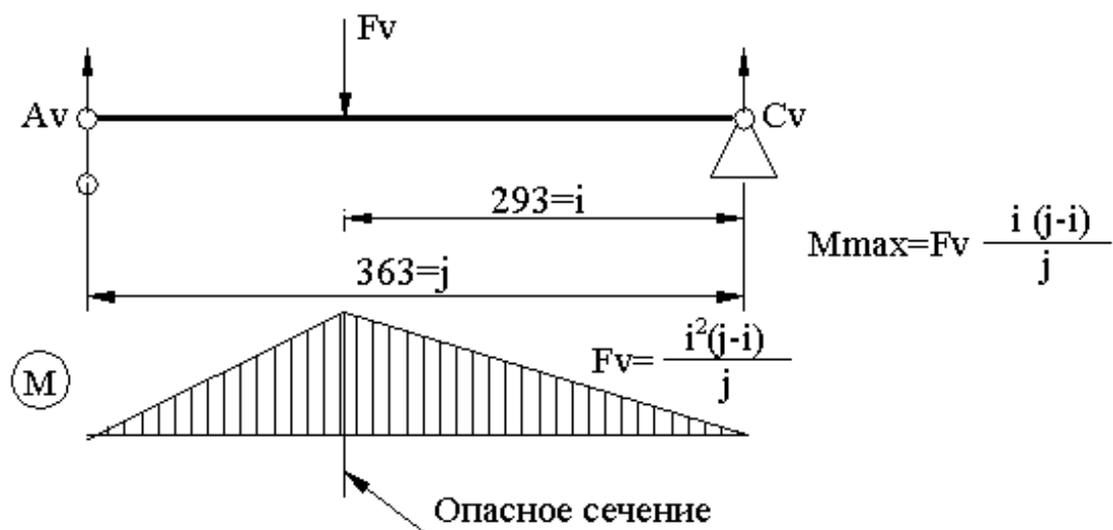


Рисунок 15 - Эпюра нагружения верхнего рычага

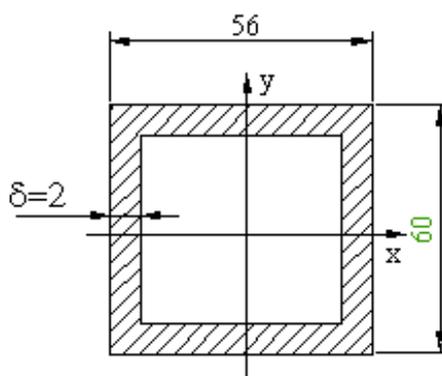


Рисунок 16 - Разрез рычага в опасном сечении

Отсюда:

$$\sigma_{и \max} = F_{v \max} i^2 (j-1) / j \cdot (\delta H^2 / 3) \cdot (3B / H + 1) \quad (22)$$

$$\sigma_{и\ max} = 17354 \cdot 293 \cdot 70 \cdot 3 / (363 \cdot 3 \cdot 60^2) (3 \cdot 56 / 60 + 1) = 135 \text{ м Па}$$

для нашего случая  $K_g = 5 \cdot 135 = 675 < [\sigma_{и}]$

Выбор материала и толщины стенки рычага оптимален.

«Приведём расчёт на прочность нижнего рычага. Максимальные напряжения в нижнем рычаге возникают также при переезде железной дороги. Схема нагружения представлена на рисунке 17.» [22]

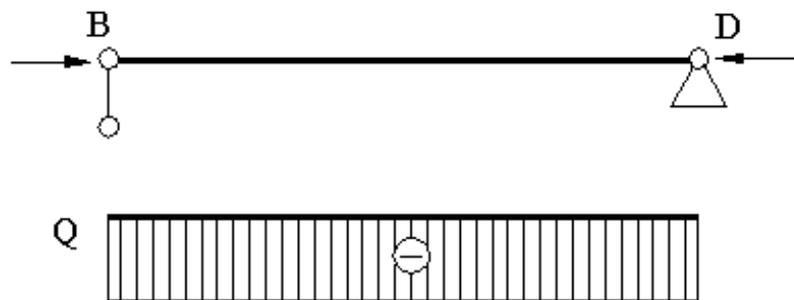


Рисунок 17 – Расчетная эпюра нижнего рычага

«В нашем случае:

$$K_g \cdot \sigma_{сж} \leq [\sigma_T] \quad (23)$$

$$\sigma_{сж} = Q_{max} / W \quad (24)$$

где:  $W = 3,14 \cdot 2 \cdot 30^2 / 4 = 175 \text{ мм}^2$

$$\sigma_{сж} = 9923 / 175 = 55,7 \text{ мПа}$$

$$K_g = 5 \Rightarrow 5 \cdot 55,7 = 278 \leq [\sigma_T]$$

Выбор толщины трубы и материала оптимален.» [8], [18]

### 3.6 Расчет на долговечность шаровых соединений опор рычагов

Расчёт проведём для шаровых соединений нижнего рычага, так как в них действуют максимальные нагрузки. Расчёт ведём как для подшипников качения. ШН – 17Ю имеет следующие характеристики:

$$C_d = 6500 \text{ кН [L}_h] = 2000 \text{ часов}$$

$$C_{ст} = 5840 \text{ кН}$$

Расчётная долговечность  $L$  в млн. оборотов определяется по формуле:

$$L = (C_d / P_3)^3 \quad (25)$$

$$L_h = 10^6 L / 60 \text{ н} \quad (26)$$

Эквивалентная нагрузка определяется по формуле:

$$P_3 = (x \nu F_2 + \nu F_a) K_6 \cdot K_T, \quad (27)$$

где:  $x = 1$  – коэффициент радиальной нагрузки

$\nu = 1,2$  – коэффициент, учитывающий вращение колец

$\nu = 0,5$  – коэффициент осевой нагрузки

$F_a = 3556 \text{ Н}$  осевая нагрузка

$F_2 = 9923 \text{ Н}$  радиальная нагрузка

$K_6 = 3$  – коэффициент безопасности

$K_T = 1$  – температурный коэффициент

$$P_3 = (1 \cdot 1,2 \cdot 9923 + 0,5 \cdot 3556) \cdot 1 \cdot 3 = 41056 \text{ Н}$$

$$L = (65000 / 41056)^3 = 3,95 \text{ млн. об.}$$

Частоту вращения подшипника принимаем равной  $n = 60$  об/мин.

$$L_n = 10^6 L / 60 \cdot 60 = 1097,22 \leq [L_n]$$

Отсюда следует, что выбор «подшипникового узла» правилен.

В ходе выполнения конструкторского раздела дипломного проекта на тему "Разработка подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе LADA NIVA" были получены следующие результаты

Проведен детальный анализ существующих конструкций подвесок с целью определения наиболее подходящей для условий ралли-рейдов. Выбрана независимая подвеска благодаря её преимуществам в управляемости, устойчивости и адаптивности к различным условиям эксплуатации. Определены основные параметры и компоненты подвески, включая верхние и нижние рычаги, амортизационные стойки, стабилизаторы поперечной устойчивости и прочие элементы.

Разработана кинематическая схема подвески, обеспечивающая оптимальные углы установки колес для улучшения сцепления шин с дорогой и минимизации изменений углов при ходе подвески. Оптимизированы параметры развала, кастора и схождения, что позволило улучшить управляемость и стабильность автомобиля в условиях ралли-рейдов.

Выполнен анализ и расчет характеристик амортизаторов и пружин, обеспечивающих необходимую плавность хода и комфорт при движении по неровным поверхностям. Подобраны оптимальные параметры демпфирования и жесткости пружин, что позволило снизить передачу ударов и вибраций на кузов. Разработаны системы демпфирования и стабилизации, уменьшающие крены кузова и обеспечивающие комфортное и безопасное движение.

Проведены силовые расчеты для определения нагрузок на основные компоненты подвески в различных режимах эксплуатации. Выполнены прочностные расчеты с использованием методов конечных элементов для оценки надежности и долговечности элементов подвески. Определены и

проверены на прочность критические элементы конструкции, такие как рычаги, амортизационные стойки, крепежные элементы и стабилизаторы.

Благодаря выбранной конструкции и проведенным расчетам, подвеска обеспечивает высокие характеристики управляемости и устойчивости, что особенно важно для ралли-рейдов. Оптимизация кинематики и характеристик амортизаторов и пружин позволила достичь высокой плавности хода и комфорта при движении по неровным поверхностям. Проведенные силовые и прочностные расчеты подтвердили надежность и долговечность разработанных компонентов подвески, что гарантирует стабильную работу в условиях экстремальных нагрузок. Конструкция подвески обеспечивает возможность настройки параметров для адаптации к различным условиям эксплуатации, что повышает универсальность и эффективность использования автомобиля в ралли-рейдах.

Результаты конструкторского раздела подтверждают, что разработанная подвеска для автомобиля на базе LADA NIVA отвечает всем требованиям, предъявляемым к подвескам раллийных автомобилей, и обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики в условиях ралли-рейдов.

#### 4 Технологический раздел дипломного проекта

Разработанная конструкция подвески подразумевает монтаж на автомобиль Лада Нива с колесной формулой 4x4. Согласно конструкторскому разделу, принята конструкция независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами. Разработка будет вестись исходя из этих особенностей конструкции.

«Операционно-технологическая карта отражает последовательность операций технического обслуживания или отдельных видов работ по этим воздействиям по агрегату, системе автомобиля.

Постовая технологическая карта отражает последовательность операций технического обслуживания по агрегатам, системам, которые выполняются на одном из постов технического обслуживания.

В соответствии с требованиями операционно-технологическая и постовая технологическая карты выполняются по форме 1,1а, 2 и 2а МУ-200 РСФСР-12-0139-81, таблица 9.

Любая технологическая карта является руководящей инструкцией для каждого исполнителя, кроме того, служит документом для технического контроля выполнения технического обслуживания.

Технологические карты составляются на:

- определенный вид работ технического обслуживания;
- специализированный пост зоны технического обслуживания (постовая карта);
- специализированное переходящее звено рабочих при методе универсальных постов;
- операцию технического обслуживания;
- операции, выполняемые одним или несколькими рабочими (карта на рабочее место).» [14]

Таблица 9 – Технологическая карта сборки подвески

№ пер	Наименование операции / перехода	Содержание операций, переходов	Используемое оборудование и инструмент	Время, чел-мин
<b>1. Сборка рычагов подвески</b>				
005	Сборка верхнего рычага	1. Установить вкладыш в проушину 2. Установить палец в проушину 3. Установить сайлент-блок	Пресс 20т Набор слесарных инструментов Масло трансмиссионное	3,45
010	Сборка нижнего рычага	1. Установить вкладыш в проушину 2. Установить палец в проушину 3. Установить сайлент-блок 4. Собрать кронштейн амортизатора	Пресс 20т Набор слесарных инструментов Масло трансмиссионное	3,60
<b>2. Сборка подвески</b>				
015	Сборка амортизатора	1. Установить гайку на амортизатор 2. Установить пружину на амортизатор 3. Установить буфер 4. Установить проушину 5. Закрепить проушину гайкой	Набор слесарных инструментов Масло трансмиссионное	3,65
020	Сборка подвески	1. Установить ось нижнего рычага 2. Установить амортизатор на нижний рычаг 3. Установить ось верхнего рычага 4. Закрепить проушину амортизатора на кузове	Набор слесарных инструментов Масло трансмиссионное	3,20

В процессе разработки технологии сборки независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами были учтены основные этапы и последовательность операций для эффективной и качественной сборки. Были оптимизированы методы и инструменты с учетом особенностей конструкции и требований к надежности тормозной системы.

Разработанная технология направлена на обеспечение высокой точности сборки деталей независимой подвески на А-образных рычагах со

сдвоенными амортизаторами, обеспечивающих надежность эксплуатации транспортного средства для исключения возможных дефектов узла на протяжении всего срока эксплуатации. Были разработаны рекомендации по контролю качества на различных этапах сборки для предотвращения возможных ошибок и повышения надежности работы трансмиссии автомобиля.

Технология сборки независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами разработана с учетом экономических аспектов, направленных на оптимизацию времени и затрат на процесс сборки. Были предложены рекомендации по рационализации рабочих операций и использованию ресурсов с целью повышения эффективности и экономичности процесса сборки. В целом, разработанная технология сборки независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами представляет собой важный этап в создании качественной и надежной системы пассивной безопасности, обеспечивая безопасность и комфорт в эксплуатации автомобиля.

## **5 Безопасность и экологичность участка механической сборки**

### **5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технического объекта**

В рамках выполнения дипломного проекта рассматривается технологический процесс сборки узлов и агрегатов транспортного средства, а также операции связанные с заготовительными и сборочно-сварочными работами по раме транспортного средства. Для осуществления данного технологического процесса, для его безопасной организации при производстве необходимо рассмотреть комплекс факторов, оказывающих влияние на рабочих, занятых при осуществлении комплексного технологического процесса сборки. Рассмотрим основные моменты, связанные с особенностями проведения технологического процесса, а также характеристики участка, на котором осуществляется технологическая операция.

Рама изделия, проектируемого в рамках дипломного проекта, представляет собой, изготовленную из стального проката различного сортамента. Материал труб – сталь 20 и сталь 20кп.

«В рамках раздела нами исследуется сборочный участок, на котором осуществляется технологический процесс сборки транспортного средства. Сборочный участок является основным местом осуществления технологической операции сборки и относится к мелкосерийному производству. В первую очередь это означает, что данный участок, являясь частью опытно-промышленного производства, не ориентирован на специализированные работы, а занят в широком спектре выполняемых производственных функций. Оборудование, которое находится на участке – универсальное. Оборудование группируется по своему функционалу – сварочное, металлорежущее, шлифовальное и т.п.

Зоны выполнения работ, связанных с избыточным тепловыделением, выделением продуктов горения или ультрафиолетового излучения, таких как

сварка на стапеле, зона термической обработки металла отделяются от основного помещения защитными экранами и оснащаются вытяжкой. Те же ограждения применяются для групп оборудования, чья работа связана с повышенным шумом, например абразивно-режущие станки.

Половое покрытие на всем участке выполнено из каучуковой плитки. Термические зоны имеют половое покрытие из наливного термостойкого полимера.» [19]

Общие технические характеристики участка приведены в таблице 10.

Таблица 10 – Общие технические характеристики сборочного участка

Наименование технической характеристики участка	Значение характеристики
Класс функциональной пожарной опасности	Ф1.3
Степень огнестойкости	I
Класс конструктивной пожарной опасности	С0
Степень долговечности здания	II
Уровень ответственности здания	II
Электроснабжение участка	трехфазная, 380В
Выделенная мощность, кВА	25

Основные технологические операции, осуществляемые на сборочном участке, осуществляются в рамках технологического процесса. Основными этапами процесса сборки будут являться:

- заготовительные операции;
- операции черновой механической обработки;
- операции чистовой механической обработки;
- сварочные операции;
- сборочные операции из корпусных изделий и сборочных единиц;
- окрашивание или нанесение защитных покрытий.

В таблице 11 приводится перечень технологических операций, осуществляемых на исследуемом участке.

Таблица 11 – Осуществляемые на участке технологические процессы и операции

Наименование технологического процесса	Наименование технологической операции и, вида выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, устройство, приспособление	Материал, вещества
Заготовительная операция	Резка профильной трубы	Слесарь 5-го разряда	Торцевая абразивная пила PRN-320	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Черновая механическая обработка	Подрезка стыков	Слесарь 5-го разряда	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Чистовая механическая обработка	Шлифовка	Слесарь 5-го разряда	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20к
Сварочная операция	Сварка труб каркаса	Сварщик	Инверторный аппарат дуговой сварки MMA-200S	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Сборочная операция	Сборка	Слесарь-сборщик	Стапель сборки	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Нанесение защитного слоя на металлическую раму	Окраска	Маляр	Краскопульт безвоздушного распыления Graco	Эмаль ЭЦ

Таким образом, определен перечень технологических операций, осуществляемых на участке. Далее следует определить перечень опасных и вредных факторов, воздействующих на работников, исходя из означенного перечня технологических операций.

## 5.2 Идентификация профессиональных рисков

Процесс механической обработки заготовок, изготовления узловых конструкций и окончательная сборка сопряжены с различными профессиональными рисками для работников. Рассмотрим основные угрозы, с которыми сталкиваются сотрудники на участке механической сборки, и выявим способы их предотвращения для обеспечения безопасности и здоровья персонала на производстве. Идентификация профессиональных рисков приведена в таблице 12.

Таблица 12 - Идентификация профессиональных рисков

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и вредный производственный фактор	Источник опасного и вредного производственного фактора
Заготовительные работы и механическая обработка	Повышенный уровень шума,	Угловая шлифовальная машина
	Карборундовая пыль	Материал шлифовальных камней и дисков
	Возгорание пыли при обработке деталей и изделий	Искры
	Статическая нагрузка	Угловая шлифовальная машина
	Шум	Угловая шлифовальная машина
	Ультразвук	Угловая шлифовальная машина
	Вибрации	Угловая шлифовальная машина

Продолжение таблицы 12

Сварка	Интенсивное ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Сварочный аппарат
	Искры, брызги расплавленного металла	Материал детали
	Электромагнитные поля	Сварочный аппарат
	Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества	Материал детали
	Шум	Сварочный аппарат
	Ультразвук	Сварочный аппарат
	Статическая нагрузка	Сварочный аппарат
Чистовая механическая обработка	Повышенный уровень шума,	Угловая шлифовальная машина
	Металлическая и абразивная пыль	Материал детали и шлифовального диска
	Возгорание пыли при обработке деталей и изделий	Искры
	Статическая нагрузка	Угловая шлифовальная машина
	Шум	Угловая шлифовальная машина
	Ультразвук	Угловая шлифовальная машина
Нанесение защитного слоя на металлическую раму	Испарение токсичных веществ	Эмаль ЭЦ
	Статическая нагрузка	Краскопульт безвоздушного распыления Graco

Выявленные профессиональные риски позволят разработать методы для их минимизации или нейтрализации, а также произвести подбор необходимых средств индивидуальной защиты (СИЗ).

### 5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В современных условиях охраны труда и производственной безопасности важно не только осознавать возможные профессиональные риски на рабочем месте, но и активно принимать меры по их снижению и предотвращению. Рассмотрим разнообразные методы и средства, которые могут быть использованы для сокращения возможных опасностей на участке

механической сборки. Будут определены как технические аспекты, включающие внедрение безопасного оборудования и технологий, так и организационные меры, такие как обучение персонала, разработка процедур безопасной работы и поощрение соблюдения правил безопасности. Определим средства персональной защиты, необходимость профилактических медицинских осмотров и других методов, направленных на создание безопасной и здоровой рабочей среды для сотрудников участка механической сборки.

«Приказ Министерства труда и социальной защиты российской федерации от 19 августа 2016 г. № 438н «Об утверждении типового положения о системе управления охраной труда». Методы, приведённые в таблице 13, соответствуют приказу. Они были специально разработаны, как и средства индивидуальной и коллективной защиты, для снижения воздействия каждого опасного и вредного производственного фактора. Соответственно всё было проверено на практике и только после этого утверждено, следует они являются эффективными.» [19]

Таблица 13 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

Опасный и вредный производственный фактор	Методы и средства защиты, снижения, устранения опасного и вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Использования специальной одежды. Применение средств коллективной защиты (нанесение предупреждающих надписей, информационных табличек, меток и т.д.)	Сварочная маска, сварочные перчатки
Искры, брызги расплавленного металла	Использования специальной одежды. Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания.	Спецовка, защитные очки, защитные перчатки, специальные ботинки.

Продолжение таблицы 13

Электромагнитные поля	Использование согласованных нагрузок и поглотителей мощности, снижающих напряженность и плотность потока энергии электромагнитных волн;	Очки и спецодежда, выполненная их металлизированной ткани.
Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества. Мелкодисперсная пыль. Наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ	Проветривание помещения. Применение средств индивидуальной защиты.	Респиратор, фильтрующая маска.
Шум	Уменьшение акустики помещения за счёт специальных материалов, наложенных на стены или крупные металлические предметы.	Беруши
Ультразвук	Использование изолирующих корпусов и экранов. Недопущение длительного воздействия. Обеспечение технических перерывов в работе	Противошумы. Резиновые и хлопчато-бумажные перчатки надетые совместно.

Обозначенные методы снижения профессиональных рисков позволяют значительно снизить воздействие на работающих и повысить общий уровень безопасности на производстве.

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В обеспечении пожарной безопасности технического объекта заключается один из важнейших аспектов обеспечения надежной и безопасной работы предприятия. Пожарная безопасность является неотъемлемой частью общей системы безопасности и требует комплексного подхода и постоянного контроля. Понимание и строгое соблюдение мер по обеспечению пожарной безопасности являются ключевым элементом для защиты жизни и имущества на техническом объекте.

«В таблице 14 приведена идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара, с разработкой технических средств.» [19]

Таблица 14 – Идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара

Наименование участка	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Сборочный участок	Инверторный аппарат дуговой сварки MMA-200S	А – твёрдые материалы.	Дым, искра, открытый огонь, интенсивное тепловое излучение.	Низкая влага, наличие рядом с источником возгорания хлопчатобумажных изделий, древесины, и др. горючих материалов
	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115	А – твёрдые материалы.	Дым, искра, открытый огонь, интенсивное тепловое излучение.	Низкая влага, наличие рядом с источником возгорания хлопчатобумажных изделий, древесины, и др. горючих материалов
	Краскопульт безвоздушного распыления Graco	В – горение жидкостей	Натуральные и синтетические масла, лакокрасочные изделия.	Пары легковоспламеняющихся жидкостей, которые взрываются при смешении с воздухом

«В таблице 15 приведена первичные и мобильные средства пожаротушения, средства пожарной автоматики и индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре, пожарное оборудование и инструмент.» [19]

Таблица 15 – Средства пожаротушения и противопожарное оборудование

Первичные средства пожаротушения	Огнетушитель, бочка с водой, ткань асбестовая, ящики с песком
Мобильные средства пожаротушения	Пожарный автомобиль
Установки пожаротушения	Автоматические установки пожаротушения
Средства пожарной автоматики	приборы приемно-контрольные пожарные приборы управления пожарные технические средства оповещения и управления эвакуацией пожарные системы передачи извещений о пожаре
Пожарное оборудование	Модуль порошкового пожаротушения
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	средства защиты органов дыхания (респираторы, противогазы, самоспасатели изготовленные из подручных средств, противопыльные тканевые маски и марлевые повязки), средства защиты кожного покрова (защитные костюмы, резиновые сапоги и др.)
Пожарный инструмент (механизированный и не механизированный)	Немеханизированный: пожарная багра, топор, лом. Механизированный: гидронасос, силовой режущий узел.
Пожарная сигнализация, связь и оповещение	Система оповещения о пожаре, сигнализация

«В соответствии с видами выполняемых заготовительных,

обрабатывающих и сборочных работ в здании и с учетом типа и особенностей реализуемых технологических процессов, в таблице 16 указаны эффективные организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара.» [19]

Таблица 16 – Организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара

Наименование технологического процесса, вид объекта	Наименование видов работ	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Сваривание металлических труб	Сварка	Отсутствие рядом с электродами сварки легковоспламеняющихся жидкостей, газов и тканей.
Шлифование сварных соединений	Шлифовка	Отсутствие рядом с работающей шлифовальной машиной легковоспламеняющихся жидкостей, газов и тканей.
Нанесение защитного слоя на металлическую раму	Окраска	Отсутствие рядом открытого огня.

Обеспечение пожарной безопасности на техническом объекте является фундаментальным аспектом правильной эксплуатации и защиты от чрезвычайных ситуаций. Ключевыми мерами являются обучение персонала безопасным методам действий в случае пожара, регулярные проверки систем пожарной сигнализации и тушения, а также строгое соблюдение норм и требований пожарной безопасности. Важно помнить о необходимости планирования и проведения учений по эвакуации персонала для минимизации потенциальных угроз. Обеспечение пожарной безопасности на техническом объекте требует постоянного внимания, проактивного подхода и готовности к действиям в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

## 5.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Экологическая безопасность участка сборки должна обеспечиваться в рамках общей экологической безопасности всего предприятия. Обеспечение экологической безопасности на техническом объекте является необходимым условием для соблюдения экологических стандартов, минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду и предотвращения экологических чрезвычайных ситуаций.

«В таблице 17 приведена идентификация негативных экологических факторов, возникающих при создании проектируемого объекта. На основании идентификации разработаны мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.» [19]

Таблица 17 – Идентификация негативных экологических факторов

Наименование технического объекта разработки	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие объекта на атмосферу	Воздействие объекта на гидросферу	Воздействие объекта на литосферу
Рама сборочного стапеля	Сталь 20. Сварка, шлифовка, окраска.	Испарений из емкостей для хранения химических веществ. Газообразные выделения сварки. Пыль с поверхности, сыпучих строительных материалов	Изменение качества воды, вызванное выбросами нефтепродуктов и тяжелых металлов	Загрязнение. Вторичное засоление и заболачивание. Отчуждение земель производства

Обеспечение безопасности и экологичности на предприятии сегодня становится все более неотъемлемой частью успешной деятельности компании. Успешная реализация мероприятий по безопасности и экологичности требует

постоянного контроля, обучения персонала, использования современных технологий и систем управления. Важно также формирование экологической культуры среди работников и внедрение принципов ответственного потребления ресурсов.

В разделе определены технологические операции, осуществляемые на сборочном участке. На основании перечня технологических операций, были идентифицированы профессиональные риски и определен перечень воздействующих на работников вредных и опасных производственных факторов. Выявленные профессиональные риски позволили выполнить разработку методов для их минимизации или нейтрализации, а также произвести подбор необходимых средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Определены факторы пожарной опасности, на основании чего разработан комплекс организационно-технических мероприятий по предотвращению пожара. Также выполнена идентификация негативных экологических факторов, что также позволило разработать мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.

На основании изложенного, можно сделать вывод о выполнении задач в рамках выполнения раздела безопасность и экологичности участка.

## **6 Экономический раздел дипломного проекта**

### **6.1 Техничко-экономическое обоснование объекта разработки дипломного проекта**

Техничко-экономическое обоснование является важной частью любого проекта, включая проектирование технического устройства в рамках дипломного проекта. Оно включает в себя анализ технической и экономической целесообразности выполняемого проекта.

Объектом дипломного проектирования является новый тип узла транспортного средства, который обладает уникальным функционалом и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Разрабатываемый агрегат представляет собой сложное техническое устройство, предназначенное для установки на транспортное средство с целью улучшения его технических и эксплуатационных характеристик, а также функциональности. Проектируемый в рамках дипломного проекта узел обладает новыми техническими возможностями, такими как эффективность работы, повышенная производительность, позволяющая уменьшить расход топлива, надежность и долговечность. Разрабатываемый в рамках дипломного проекта агрегат дает транспортному средству новый функционал, который включает дополнительные режимы работы, расширенные возможности управления транспортным средством, интеграцию с другими системами и устройствами транспортного средства. Последующая разработка узла может иметь потенциал для дальнейшего развития и модернизации, что сделает транспортные средства, оснащенные данным техническим устройством, более конкурентоспособными на рынке. Таким образом, разработка и внедрение нового агрегата с улучшенными характеристиками имеет потенциал для создания продукта, который будет выделяться на рынке технической новизной и обладать привлекательностью как для пользователей, так и для эксплуатантов транспортных средств.

Техническая целесообразность разработки нового вида конструкции продиктована требованиями, предъявляемым к современным образцам техники. Так, в конструкции узла применены конструкторские решения, которые позволяют снизить вес конструкции, в первую очередь за счет применения более легких материалов и за счет конструкторских решений, позволяющих уменьшить массу детали без снижения ее прочностных характеристик. Также общий вес конструкции удалось уменьшить за счет более рациональной компоновки деталей.

Расширение функционала автомобиля произведено за счет реализации в ходе конструкторской разработки функционала, ранее не применявшегося в данном типе транспортного средства.

## **6.2 Расчет затрат и экономической эффективности**

В рамках раздела экономической эффективности дипломного проектирования требуется произвести расчет себестоимости конструкции узла и расчет отпускной цены проектируемой конструкции. Расчет стоимости изготовления конструкции рассчитывается по формуле:

$$C = M + \Pi_{и} + Z_{осн} + Z_{доп} + СС + И_{цех} + И_{зав} + НР \quad (57)$$

где  $M$  – затраты на материалы конструкции, руб.;

$\Pi_{и}$  – затраты на покупные изделия, используемые в конструкции, руб.;

$Z_{осн}$  – основная заработная плата рабочих, руб.;

$Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата рабочих, руб.;

$СС$  – отчисления на социальное страхование,  $СС = 30\%$ ;

$И_{цех}$  – общецеховые издержки,  $И_{цех} = 85\%$ ;

$И_{зав}$  – общезаводские издержки,  $И_{зав} = 110\%$ ;

$НР$  – накладные расходы,  $НР = 7,5\%$

Выполним расчет затрат по каждой из статей расходов на изготовление проектируемой конструкции. Расчет затрат на материалы, используемые в конструкции, рассчитаны в таблице 18. Расчет материальных затрат производится по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n M_n \cdot C_n + k_3 \sum_{i=1}^n M_n \cdot C_n \quad (58)$$

где  $M_n$  – количество материала, ед;

$C_n$  – цена материала за единицу, руб.;

$k_3$  – коэффициент затрат на транспортировку и доставку,  $k_3 = 0,15$

Таблица 18 – Расчет затрат на материалы

Наименование материала	Количество материала	Цена единицы материала	Сумма, руб.
Заготовка поковка	5,00	325,00	1 625,00
Грунтовка	1,00	150,00	150,00
Краска	1,25	725,00	906,25
Круг сортовой Сталь 45, d = 60	15,50	120,00	1 860,00
Круг горячекатаный, в ассортименте	5,50	125,00	687,50
Листовой металл, h = 4	3,50	110,00	385,00
Литол Л-25	0,35	125,00	43,75
Масло ДП-11	8,00	175,00	1 400,00
Резина массив	2,00	175,00	350,00
Трубный прокат, d = 25x20	16,00	300,00	4 800,00
Прочие			3 000,00
ИТОГО			15 207,50
Транспортно-заготовительные расходы			2 281,13
ВСЕГО			17 488,63

Статья, учитывающая затраты на покупные изделия и полуфабрикаты, используемые в изготавливаемой конструкции, рассчитываются по формуле:

$$\text{Пи} = \sum_{i=1}^n \text{Пи}_n \cdot \text{С}_n + k_3 \sum_{i=1}^n \text{Пи}_n \cdot \text{С}_n \quad (59)$$

где  $\text{Пи}_n$  – количество покупных изделий, ед;

$\text{С}_n$  – цена за единицу покупного изделия, руб.;

$k_3$  – коэффициент затрат на транспортировку и доставку,  $k_3 = 0,1$

Для удобства проведения расчетов по затратам на закупку и доставку покупных изделий конструкции, сведем их в таблицу 19.

Таблица 19 – Расчет затрат на покупные изделия

Наименование и вид покупного изделия	Количество покупных изделий	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Амортизаторы	6	22 500,00	135 000,00
Болты М12	8	85,90	687,20
Болты в асс., кг	1,2	225,00	270,00
Винты М12	20	16,00	320,00
Гайки М12	20	9,00	180,00
Манжеты для гидравлических устройств по ГОСТ 14896-78 d = 52	6	325,00	1 950,00
Шайбы пружинные	16	5,50	88,00
Прочие			2 000,00
ИТОГО			140 495,20
Транспортно-заготовительные расходы			4 214,86
ВСЕГО			144 710,06

Наряду с затратами на материалы и покупные изделия, при изготовлении новой конструкции предприятие несет издержки также на заработную плату, как основную, так и дополнительную. Расчет заработной платы производится по формуле:

$$\text{Зо} = \sum_{i=1}^n (\text{T}_i \cdot \text{С}_\text{T}_i \cdot k_{\text{ч}_i} \cdot k_{\text{пр}}) \quad (60)$$

где  $T_i$  – трудоемкость выполнения  $i$ -той операции, чел-час;

$Ст_i$  – часовая тарифная ставка рабочего, занятого на выполнении  $i$ -той операции, руб.;

$kч_i$  – коэффициент доплат заработной платы до часового фонда работающих,  $kч_i = 1,05...1,15$ ;

$kпр$  – коэффициент премирования,  $kпр = 1,24$ .

Расчет основной заработной платы рабочих приводится в таблице 20.

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

Виды операций	Трудоемкость, чел-час	Часовая тарифная ставка	Основная зарплата
Литейная	4,00	210,30	900,08
Гибочная	2,50	210,30	562,55
Сварочная	8,00	210,30	1 800,17
Токарная	6,00	250,50	1 608,21
Фрезерная	4,00	250,50	1 072,14
Шлифовальная	4,00	250,50	1 072,14
Термическая	8,00	210,30	1 800,17
Слесарная	4,00	185,25	792,87
Сборочная	12,00	185,25	2 378,61
Окрасочная	2,00	160,45	343,36
Испытательная	10,00	210,30	2 250,21
ИТОГО			14 580,52
Премиальные доплаты			3 499,32
Основная заработная плата			18 079,84

Наряду с основной заработной платой, рассчитывается размер дополнительной заработной платы. Дополнительная заработная плата – это переменная часть общей заработной платы, которая выплачивается рабочему, например за определенные условия труда и как определенная гарантия от работодателя. Расчет заработной платы производится по формуле:

$$Здоп = Зо \cdot kдоп, \quad (61)$$

где  $k_{доп}$  – коэффициент дополнительной заработной платы,  $k_{доп} = 0,25$ .

$$З_{доп} = 18\,079,84 \cdot 0,25 = 4\,519,96 \text{ руб}$$

Отчисления в фонд социального страхования являются важным компонентом формирования фонда оплаты труда. В отличие от основной и дополнительной заработной платы, эта часть фонда оплаты труда не выплачивается работнику, а оплачивается работодателем в фонд социального страхования напрямую. Расчет величины отчислений в фонд социального страхования рассчитывается по формуле:

$$З_{ФСС} = (З_о + З_{доп}) \cdot 0,3 \quad (62)$$

$$З_{ФСС} = (18\,079,84 + 4\,519,96) \cdot 0,3 = 6\,779,94 \text{ руб}$$

Также предприятие несет издержки, связанные с ремонтом оборудования и его обслуживанием. Соответственно, эта статья затрат должна находить свое отношение в структуре себестоимости. Расчет затрат на содержание и эксплуатацию оборудования определяется как процент от затрат на основную заработную плату. В соответствии с принятой практикой расчетов, принимаем для затрат на содержание и эксплуатацию 104% от затрат на основную заработную плату. Расчет производится по формуле:

$$Р_{об} = З_о \cdot 1,04 \quad (63)$$

$$Р_{об} = 18\,079,84 \cdot 1,04 = 18\,803,03 \text{ руб}$$

Общехозяйственные расходы – это расходы по цеху, занятого в производственном процессе. Как правило, это расходы, связанные с поддержанием работоспособности цеха, транспортировкой и

технологическими перемещениями внутри цеха и заработную плату вспомогательного персонала. Расчет общехозяйственных расходов производится как процент от затрат на основную заработную плату. В соответствии с принятой практикой расчетов, принимаем для затрат на общехозяйственные расходы 25% от затрат на основную заработную плату. Расчет производится по формуле:

$$P_{ох} = Z_о \cdot 0,25 \quad (64)$$

$$P_{ох} = 18\,079,84 \cdot 0,25 = 4\,519,96 \text{ руб}$$

Общепроизводственные расходы – это расходы предприятия, связанные с выпуском продукции и осуществлением хозяйственной и коммерческой деятельности. Как правило, общепроизводственные расходы включают в себя комплекс расходов, связанных с функционированием предприятия, включая затраты на заработную плату инженерно-технического и административно-управленческого персонала. В соответствии с принятой практикой расчетов, принимаем для затрат на общепроизводственные расходы 30% от затрат на основную заработную плату. Расчет производится по формуле:

$$P_{оп} = Z_о \cdot 0,30 \quad (65)$$

$$P_{оп} = 18\,079,84 \cdot 0,30 = 5\,423,95 \text{ руб}$$

Сведение всех статей расходов в общую сумму, даст величину производственной себестоимости продукции. Это затраты предприятия на производство продукции. Добавление к производственной себестоимости внепроизводственных расходов, связанных с продвижением продукции на рынке, позволит рассчитать величину полной себестоимости. Для простоты и удобства восприятия, все статьи расходов сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Расчет себестоимости конструкции

Наименование статьи затрат	Сумма, руб	%
Затраты на материалы	17 488,63	7,71%
Затраты на покупные изделия	144 710,06	63,77%
Зарплата основная	18 079,84	7,97%
Зарплата дополнительная	4 519,96	1,99%
Отчисления на соцстрах	6 779,94	2,99%
Расходы на содержание оборудования	18 803,03	8,29%
Общепроизводственные расходы	4 519,96	1,99%
Общехозяйственные расходы	5 423,95	2,39%
Производственная себестоимость	220 325,36	97,09%
Внепроизводственные расходы	6 609,76	2,91%
Полная себестоимость	226 935,13	100,00%

Расчет полной себестоимости дает возможность выполнить расчет цены изделия и определить экономический эффект от их внедрения. Расчет цены и оценка экономического эффекта будет произведен в соответствующем подразделе экономического раздела дипломного проекта.

### **6.3 Расчет экономического эффекта от разработанной конструкции**

Экономический эффект от разработки новой конструкции является комплексным показателем, свидетельствующим об общей успешности разработанной конструкции. Экономический эффект выражается в получении дополнительной прибыли от увеличения отпускной цены. Отчасти это может объясняться большими затратами на изготовление конструкции, а отчасти повышенным спросом со стороны потребителя на разработанную конструкцию, что объясняется лучшими эксплуатационными показателями.

Для определения экономического эффекта необходимо рассчитать отпускную цену на разработанное изделие. В отпускную цену включается прибыль, которую предприятие предполагает получить от продажи изделия, а также налог на добавленную стоимость (НДС). Предполагается уровень рентабельности на уровне 15%, а НДС 20%. Расчет производится по формуле:

$$Ц_{и} = С_{п} + С_{п} \cdot 0,15 + С_{п} \cdot 0,20 \quad (66)$$

$$Ц_{и} = 226\,935,13 + 226\,935,13 \cdot 0,15 + 226\,935,13 \cdot 0,20 = 306\,362,43$$

Принимаем отпускную цену  $Ц_{и} = 310\,000$  руб. Как было отмечено ранее, экономический эффект будет достигнут за счет увеличения цены для конечного потребителя, за счет чего и будет получена прибыль предприятия. Расчет производится по формуле:

$$\mathcal{E} = Ц_{и} - Ц \quad (67)$$

В соответствии с произведенным анализом, выявлена цена на изделие на рынке у разных продавцов. Анализ средней стоимости приведен в таблице 22.

Таблица 22 – Расчет средней цены изделия

Наименование фирмы	Цена изделия, руб
ООО «Альфатюнинг», Тольятти	250 000
ООО «М-Avto», Тольятти	200 000
ООО «Лада Спорт Сервис», Тольятти	225 000
Средняя цена по компаниям	225 000

Исходя из определенной средней цены, выполним расчет экономического эффекта для одного изделия.

$$\mathcal{E} = 310\,000 - 225\,000 = 85\,000 \text{ руб}$$

Предполагается объем реализации в количестве не менее 50 изделий. Тогда годовой экономический эффект составит:

$$\mathcal{E}_г = \mathcal{E} \cdot N \quad (68)$$

где  $N$  – объем реализации продукции, ед.

$$\mathcal{E}_г = 85\,000 \cdot 50 = 4\,250\,000 \text{ руб}$$

Рассчитанный экономический эффект можно использовать при более детальной проработке эффективности внедрения изделия, которое позволит рассчитать срок окупаемости проекта, социальный эффект и ряд иных показателей, которые лежат вне рамок выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы.

Результатом выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы явился расчет стоимости изготовления конструкции нового вида и определения величины экономического эффекта.

Объектом дипломного проектирования явился новый тип узла транспортного средства, который обладает уникальным функционалом и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Проектируемый в рамках дипломного проекта узел обладает новыми техническими возможностями, такими как эффективность работы, повышенная производительность, позволяющая уменьшить расход топлива, надежность и долговечность. Таким образом, разработка и внедрение нового агрегата с улучшенными характеристиками имеет потенциал для создания продукта, который будет выделяться на рынке технической новизной и

обладать привлекательностью как для пользователей, так и для эксплуатантов транспортных средств.

Расчет полной себестоимости дает возможность выполнить расчет цены изделия и определить экономический эффект от их внедрения. Расчет цены и оценка экономического эффекта будет произведен в соответствующем подразделе экономического раздела дипломного проекта. В результате произведенных расчетов определена себестоимость изделия,  $C_{п} = 226\,935,13$  руб. Определение себестоимости позволило рассчитать отпускную цену на разработанное изделие. В отпускную цену включается прибыль, которую предприятие предполагает получить от продажи изделия, а также налог на добавленную стоимость (НДС). Принимаем отпускную цену  $C_{и} = 310\,000$  руб.

Экономический эффект от разработки новой конструкции является комплексным показателем, свидетельствующим об общей успешности разработанной конструкции. Экономический эффект выражается в получении дополнительной прибыли от увеличения отпускной цены. Отчасти это может объясняться большими затратами на изготовление конструкции, а отчасти повышенным спросом со стороны потребителя на разработанную конструкцию, что объясняется лучшими эксплуатационными показателями. Предполагается объем реализации в количестве не менее 50 изделий. Тогда годовой экономический эффект составит,  $\mathcal{E}_{г} = 4\,250\,000$  руб.

Рассчитанный экономический эффект можно использовать при более детальной проработке эффективности внедрения изделия, которое позволит рассчитать срок окупаемости проекта, социальный эффект и ряд иных показателей, которые лежат вне рамок выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы. На основании всего вышеизложенного, можно сделать вывод о выполнении задач, поставленных в рамках выполнения экономического раздела.

## Заключение

В современном автоспорте ралли-рейды занимают особое место, представляя собой один из самых динамичных и захватывающих видов мотоспорта. Эти соревнования ставят перед участниками и их транспортными средствами серьезные технические и физические испытания, требующие высокой проходимости, надежности и эффективности в самых экстремальных условиях бездорожья.

Одним из важных аспектов успешного выступления в ралли-рейдах является подвеска автомобиля, которая играет ключевую роль в обеспечении стабильности, управляемости и комфорта в условиях пересеченной местности. В рамках данного дипломного проекта рассматривается разработка оптимальной подвесочной системы для автомобиля на базе LADA NIVA, исторически известного своей надежностью и приспособленности к сложным дорожным условиям.

В ходе анализа конструкции автомобиля, взятой на проработку в рамках дипломного проектирования, были рассмотрены основные характеристики автомобиля LADA NIVA и различные типы подвесок, а также их ключевые характеристики. На основе проведенного анализа сформулированы задачи конструирования подвески для раллийного автомобиля. Автомобиль LADA NIVA обладает высоким потенциалом для использования в раллийных соревнованиях благодаря своей прочной конструкции, полноприводной трансмиссии и компактным размерам.

Основными недостатками базовой конструкции автомобиля являются ограниченные возможности штатной подвески в условиях высоких динамических нагрузок и неровных дорожных покрытий. Независимая подвеска обеспечивает лучшие характеристики управляемости и комфорта, но требует более сложной конструкции и настройки. Зависимая подвеска, используемая в базовой комплектации LADA NIVA, обладает большей прочностью и надежностью, но ограничивает возможности по улучшению

управляемости и комфорта, поэтому окончательно принимается независимая конструкция подвески.

Анализ позволил сформулировать следующие задачи, которые предстоит решить в ходе проектирования:

- определены функциональные и эксплуатационные требования к подвеске, включая высокую проходимость, устойчивость на неровных поверхностях и управление на высокой скорости;
- выбран тип подвески, который наиболее соответствует условиям эксплуатации в раллийных соревнованиях;
- разработана кинематическая схема подвески, обеспечивающая оптимальные углы установки колес и необходимый ход подвески;
- проведены расчеты нагрузок на компоненты подвески и определены их прочностные характеристики;
- подобраны материалы и технологии производства, обеспечивающие надежную работу подвески;
- разработаны системы демпфирования и стабилизации для уменьшения кренов кузова и улучшения управляемости.

Таким образом, проведенный анализ позволил выделить ключевые аспекты конструирования подвески для раллийного автомобиля на базе LADA NIVA. Решение сформулированных задач позволит создать надежную, эффективную и высокопроизводительную подвеску, способную удовлетворить требования раллийных соревнований и обеспечить конкурентоспособность автомобиля на трассе.

Тяговый расчет является ключевым этапом в проектировании автомобиля, поскольку он определяет способность транспортного средства развивать необходимую мощность для обеспечения требуемой производительности. В рамках дипломного проекта он выполняется для подтверждения заявленных тягово-мощностных характеристик автомобиля, взятого для модернизации. Для автомобиля LADA NIVA тяговый расчет позволяет определить оптимальные характеристики двигателя и трансмиссии,

учитывая массу автомобиля, коэффициент сопротивления движению, уклоны дороги и другие параметры.

Результаты тягового расчета демонстрируют не только технические возможности автомобиля, но и его эксплуатационные характеристики, такие как динамика разгона, максимальная скорость, экономичность и поведение на различных участках дороги. Важно учитывать не только тяговые характеристики двигателя, но и передачи, дифференциала и других компонентов трансмиссии, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между мощностью и моментом на колесах.

Проведенная расчетная работа играет важную роль в проектировании и оптимизации ходовых качеств автомобиля, что в конечном итоге повлияет на его эффективность, надежность и удовлетворенность пользователей. Регулярное совершенствование методов расчета и анализа проведенных расчетов позволит улучшить качество и конкурентоспособность автомобиля на современном рынке транспортных средств.

Результаты выполнения тягового расчета в виде графиков представлены в Приложении А и на листе графической части дипломного проекта.

В ходе выполнения конструкторского раздела дипломного проекта на тему "Разработка подвески автомобиля для ралли-рейдов на базе LADA NIVA" были получены следующие результаты

Проведен детальный анализ существующих конструкций подвесок с целью определения наиболее подходящей для условий ралли-рейдов. Выбрана независимая подвеска благодаря её преимуществам в управляемости, устойчивости и адаптивности к различным условиям эксплуатации. Определены основные параметры и компоненты подвески, включая верхние и нижние рычаги, амортизационные стойки, стабилизаторы поперечной устойчивости и прочие элементы.

Разработана кинематическая схема подвески, обеспечивающая оптимальные углы установки колес для улучшения сцепления шин с дорогой и минимизации изменений углов при ходе подвески. Оптимизированы

параметры развала, кастора и схождения, что позволило улучшить управляемость и стабильность автомобиля в условиях ралли-рейдов.

Выполнен анализ и расчет характеристик амортизаторов и пружин, обеспечивающих необходимую плавность хода и комфорт при движении по неровным поверхностям. Подобраны оптимальные параметры демпфирования и жесткости пружин, что позволило снизить передачу ударов и вибраций на кузов. Разработаны системы демпфирования и стабилизации, уменьшающие крены кузова и обеспечивающие комфортное и безопасное движение.

Проведены силовые расчеты для определения нагрузок на основные компоненты подвески в различных режимах эксплуатации. Выполнены прочностные расчеты с использованием методов конечных элементов для оценки надежности и долговечности элементов подвески. Определены и проверены на прочность критические элементы конструкции, такие как рычаги, амортизационные стойки, крепежные элементы и стабилизаторы.

Благодаря выбранной конструкции и проведенным расчетам, подвеска обеспечивает высокие характеристики управляемости и устойчивости, что особенно важно для ралли-рейдов. Оптимизация кинематики и характеристик амортизаторов и пружин позволила достичь высокой плавности хода и комфорта при движении по неровным поверхностям. Проведенные силовые и прочностные расчеты подтвердили надежность и долговечность разработанных компонентов подвески, что гарантирует стабильную работу в условиях экстремальных нагрузок. Конструкция подвески обеспечивает возможность настройки параметров для адаптации к различным условиям эксплуатации, что повышает универсальность и эффективность использования автомобиля в ралли-рейдах.

Результаты конструкторского раздела подтверждают, что разработанная подвеска для автомобиля на базе LADA NIVA отвечает всем требованиям, предъявляемым к подвескам раллийных автомобилей, и обеспечивает высокие эксплуатационные характеристики в условиях ралли-рейдов.

В процессе разработки технологии сборки независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами были учтены основные этапы и последовательность операций для эффективной и качественной сборки. Были оптимизированы методы и инструменты с учетом особенностей конструкции и требований к надежности тормозной системы.

Разработанная технология направлена на обеспечение высокой точности сборки деталей независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами, обеспечивающих надежность эксплуатации транспортного средства для исключения возможных дефектов узла на протяжении всего срока эксплуатации. Были разработаны рекомендации по контролю качества на различных этапах сборки для предотвращения возможных ошибок и повышения надежности работы трансмиссии автомобиля.

Технология сборки независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами разработана с учетом экономических аспектов, направленных на оптимизацию времени и затрат на процесс сборки. Были предложены рекомендации по рационализации рабочих операций и использованию ресурсов с целью повышения эффективности и экономичности процесса сборки. В целом, разработанная технология сборки независимой подвески на А-образных рычагах со сдвоенными амортизаторами представляет собой важный этап в создании качественной и надежной системы пассивной безопасности, обеспечивая безопасность и комфорт в эксплуатации автомобиля.

Обеспечение безопасности и экологичности на предприятии сегодня становится все более неотъемлемой частью успешной деятельности компании. Успешная реализация мероприятий по безопасности и экологичности требует постоянного контроля, обучения персонала, использования современных технологий и систем управления. Важно также формирование экологической культуры среди работников и внедрение принципов ответственного потребления ресурсов.

В разделе определены технологические операции, осуществляемые на сборочном участке. На основании перечня технологических операций, были идентифицированы профессиональные риски и определен перечень воздействующих на работников вредных и опасных производственных факторов. Выявленные профессиональные риски позволили выполнить разработку методов для их минимизации или нейтрализации, а также произвести подбор необходимых средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Определены факторы пожарной опасности, на основании чего разработан комплекс организационно-технических мероприятий по предотвращению пожара. Также выполнена идентификация негативных экологических факторов, что также позволило разработать мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.

На основании изложенного, можно сделать вывод о выполнении задач в рамках выполнения раздела безопасность и экологичности участка.

Результатом выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы явился расчет стоимости изготовления конструкции нового вида и определения величины экономического эффекта.

Объектом дипломного проектирования явился новый тип узла транспортного средства, который обладает уникальным функционалом и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Проектируемый в рамках дипломного проекта узел обладает новыми техническими возможностями, такими как эффективность работы, повышенная производительность, позволяющая уменьшить расход топлива, надежность и долговечность. Таким образом, разработка и внедрение нового агрегата с улучшенными характеристиками имеет потенциал для создания продукта, который будет выделяться на рынке технической новизной и обладать привлекательностью как для пользователей, так и для эксплуатантов транспортных средств.

Расчет полной себестоимости дает возможность выполнить расчет цены изделия и определить экономический эффект от их внедрения. Расчет цены и оценка экономического эффекта будет произведен в соответствующем подразделе экономического раздела дипломного проекта. В результате произведенных расчетов определена себестоимость изделия,  $C_{п} = 226\,935,13$  руб. Определение себестоимости позволило рассчитать отпускную цену на разработанное изделие. В отпускную цену включается прибыль, которую предприятие предполагает получить от продажи изделия, а также налог на добавленную стоимость (НДС). Принимаем отпускную цену  $C_{и} = 310\,000$  руб.

Экономический эффект от разработки новой конструкции является комплексным показателем, свидетельствующим об общей успешности разработанной конструкции. Экономический эффект выражается в получении дополнительной прибыли от увеличения отпускной цены. Отчасти это может объясняться большими затратами на изготовление конструкции, а отчасти повышенным спросом со стороны потребителя на разработанную конструкцию, что объясняется лучшими эксплуатационными показателями. Предполагается объём реализации в количестве не менее 50 изделий. Тогда годовой экономический эффект составит,  $Э_{г} = 4\,250\,000$  руб.

Рассчитанный экономический эффект можно использовать при более детальной проработке эффективности внедрения изделия, которое позволит рассчитать срок окупаемости проекта, социальный эффект и ряд иных показателей, которые лежат вне рамок выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы. На основании всего вышеизложенного, можно сделать вывод о выполнении задач, поставленных в рамках выполнения экономического раздела.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Автоматические системы транспортных средств: учебник / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, А.В. Тумасов. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 352 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-571-4.
2. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники : учебное пособие / Д. А. Едимичев, А. Н. Минкин, С. Н. Масаев [и др.]. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 148 с. - ISBN 978-5-7638-4289-0.
3. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет : учебное пособие / Е.В. Березина. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-018271-1.
4. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 655 с.
5. Богатырев, А. В. Электронные системы мобильных машин : учебное пособие / А.В. Богатырев. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 224 с.
6. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по технологической операции, видам работ, оборудованию, производственному цеху, участку»
7. Круглик, В. М. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта : учебное пособие / В.М. Круглик, Н.Г. Сычев. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 260 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006953-1.
8. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 506 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/974](http://www.dx.doi.org/10.12737/974). - ISBN 978-5-16-006053-8.

9. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

10. Маркина, А. А. Теория движения колесных машин : учебное пособие / А. А. Маркина, В. В. Давыдова ; М-во науки и высш. образования РФ. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. - 216 с. - ISBN 978-5-7996-3263-2.

11. Набоких, В. А. Датчики автомобильных электронных систем управления и диагностического оборудования : учебное пособие / В.А. Набоких. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 239 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014160-2.

12. Новиков, В. В. Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств : монография / В. В. Новиков, И. М. Рябов, К. В. Чернышев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 384 с. - ISBN 978-5-9729-0634-5.

13. Огороднов, С.М. Конструкция автомобилей и тракторов : учебник / С.М. Огороднов, Л.Н. Орлов, В.Н. Кравец. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 284 с. - ISBN 978-5-9729-0364-1.

14. Песков, В. И. Конструкция автомобильных трансмиссий : учебное пособие / В.И. Песков. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 146 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-016247-8..

15. Ремонт автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://automend.ru/>

16. Савич, Е. Л. Системы безопасности автомобилей : учебное пособие / Е.Л. Савич, В.В. Капустин. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 445 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104362-2.

17. Стуканов, В. А. Основы теории автомобильных двигателей и мотоцикла : учебное пособие / В.А. Стуканов. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2020. – 368 с. – (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-101654-1.

18.Тарасик, В. П. Теория автомобилей и двигателей: учебное пособие / В.П. Тарасик, М.П. Бренч. – 2-е изд., испр. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 448 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-101224-6.

19.Щелчкова, Н. Н. Практикум по безопасности жизнедеятельности. Часть II : учебно-практическое пособие / Н.Н. Щелчкова, Д.В. Натарова, Е.А. Романова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 225 с. - ISBN 978-5-16-108275-1.

20.Экономика организаций автомобильного транспорта : учебное пособие / Р. Б. Ивуть, П. И. Лапковская, Т. Л. Якубовская, М. М. Кисель. - Минск : РИПО, 2022. - 215 с. - ISBN 978-985-895-035-4.

21.Denton, Tom Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Tom Denton: Routledge, 2017 – 378p. - ISBN 9780415725781

22.Everyday English For Technical Students (Mechanical engineering, metallurgy and transport department) [Электронный ресурс]/ – Электрон. текстовые данные.– Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021.– 350 с.

23.G. A. Einicke, Smoothing, Filtering and Prediction: Estimating the Past, Present and Future (2nd ed.), Prime Publishing, 2019

24.Milliken, W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, Том 146 / W. F. Milliken, D. L. Milliken : SAE International, 1995. – 890 p. [8], [9], [10]. – ISBN 1560915269, 9781560915263.

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

Приложение А  
Графики тягового расчета

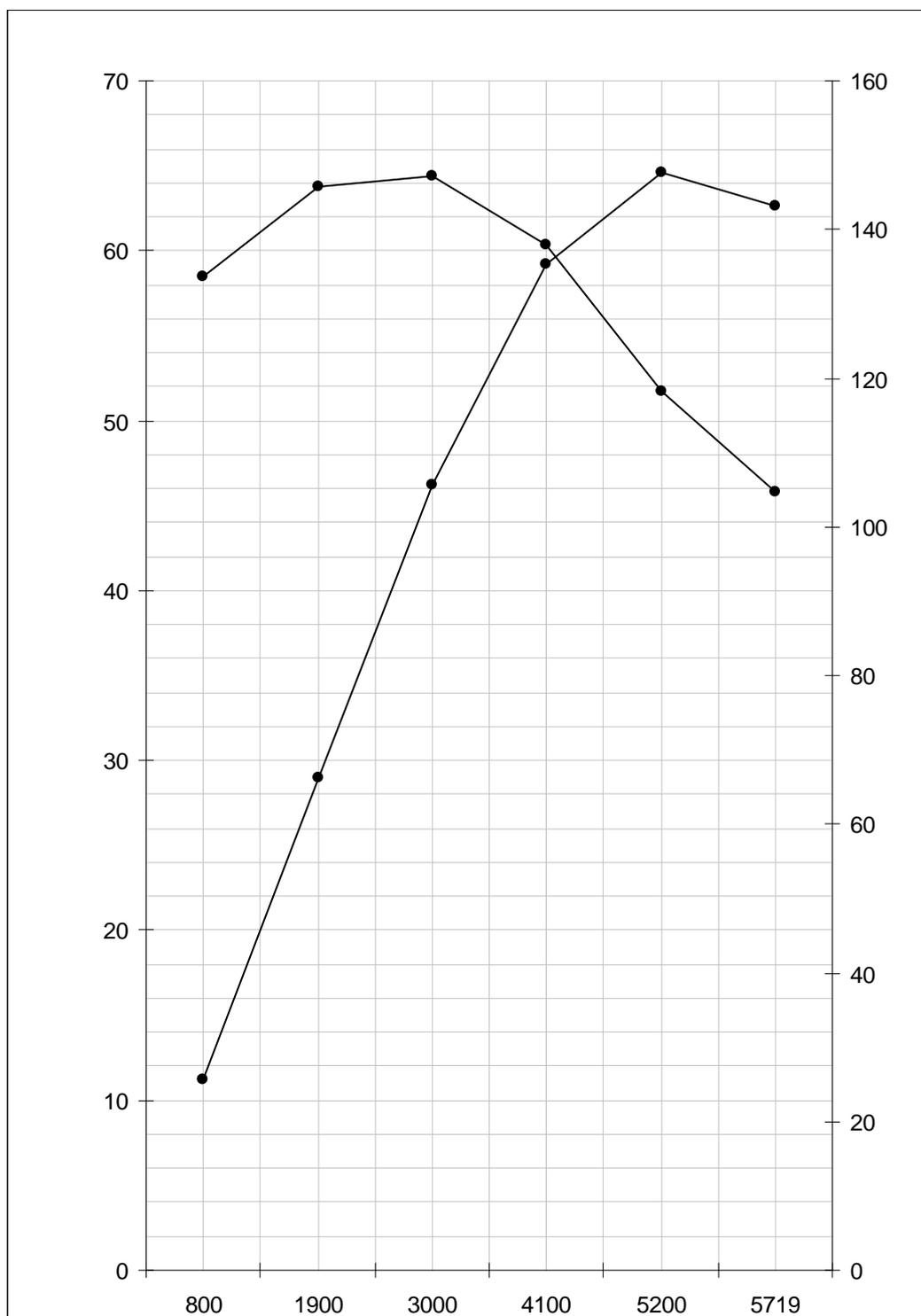


Рисунок А.1 – Внешняя скоростная характеристика

Продолжение Приложения А

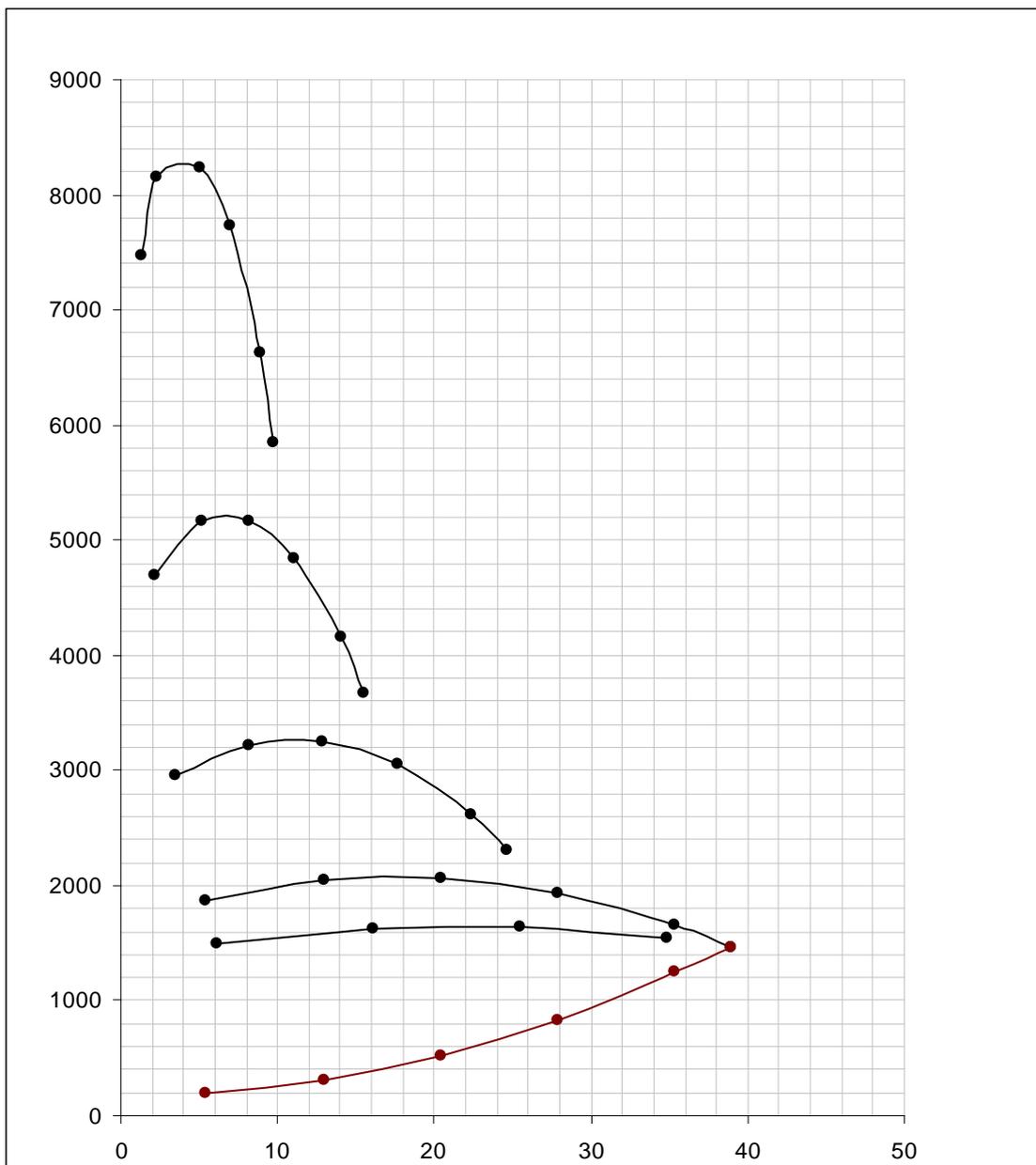


Рисунок А.2 – Тяговый баланс автомобиля

Продолжение Приложения А



Рисунок А.3 – Динамическая характеристика

Продолжение Приложения А

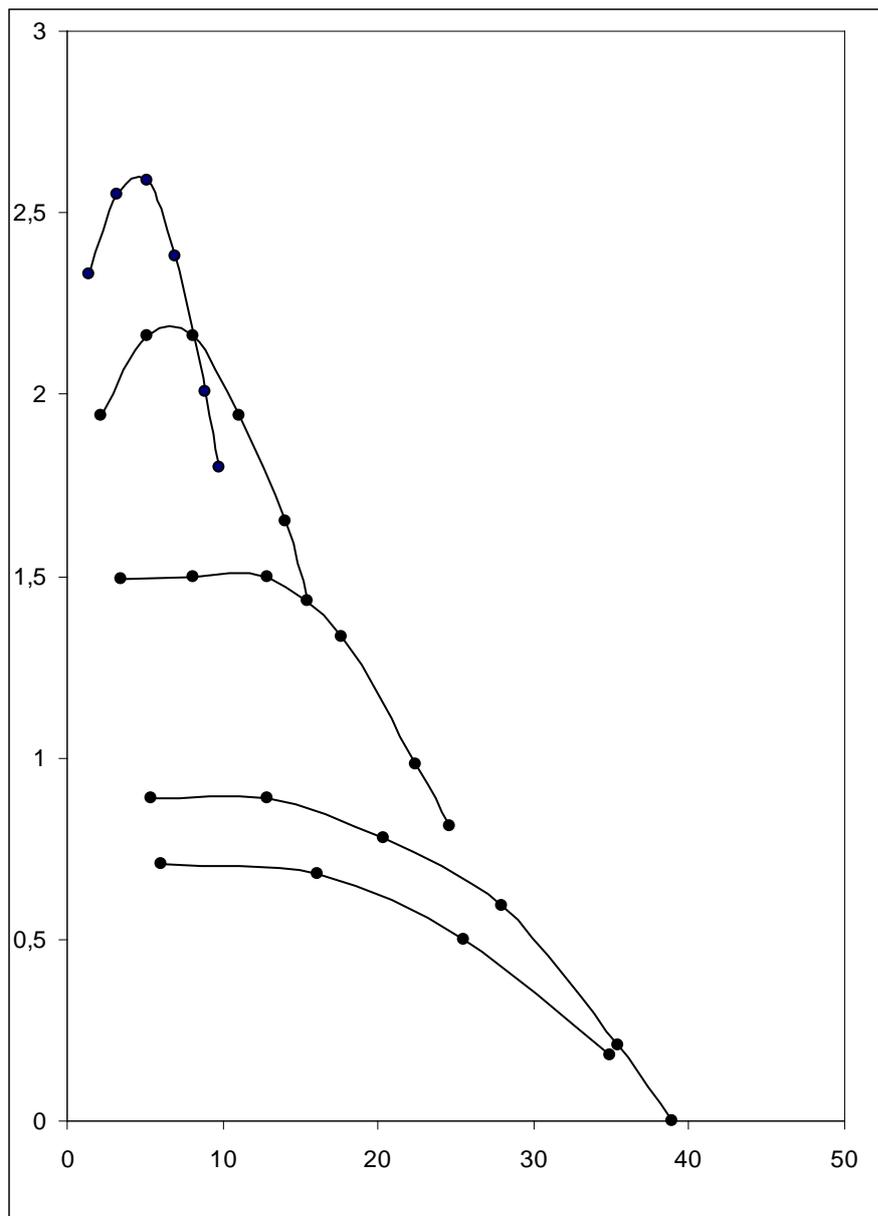


Рисунок А.4 – Ускорения автомобиля

## Продолжение Приложения А

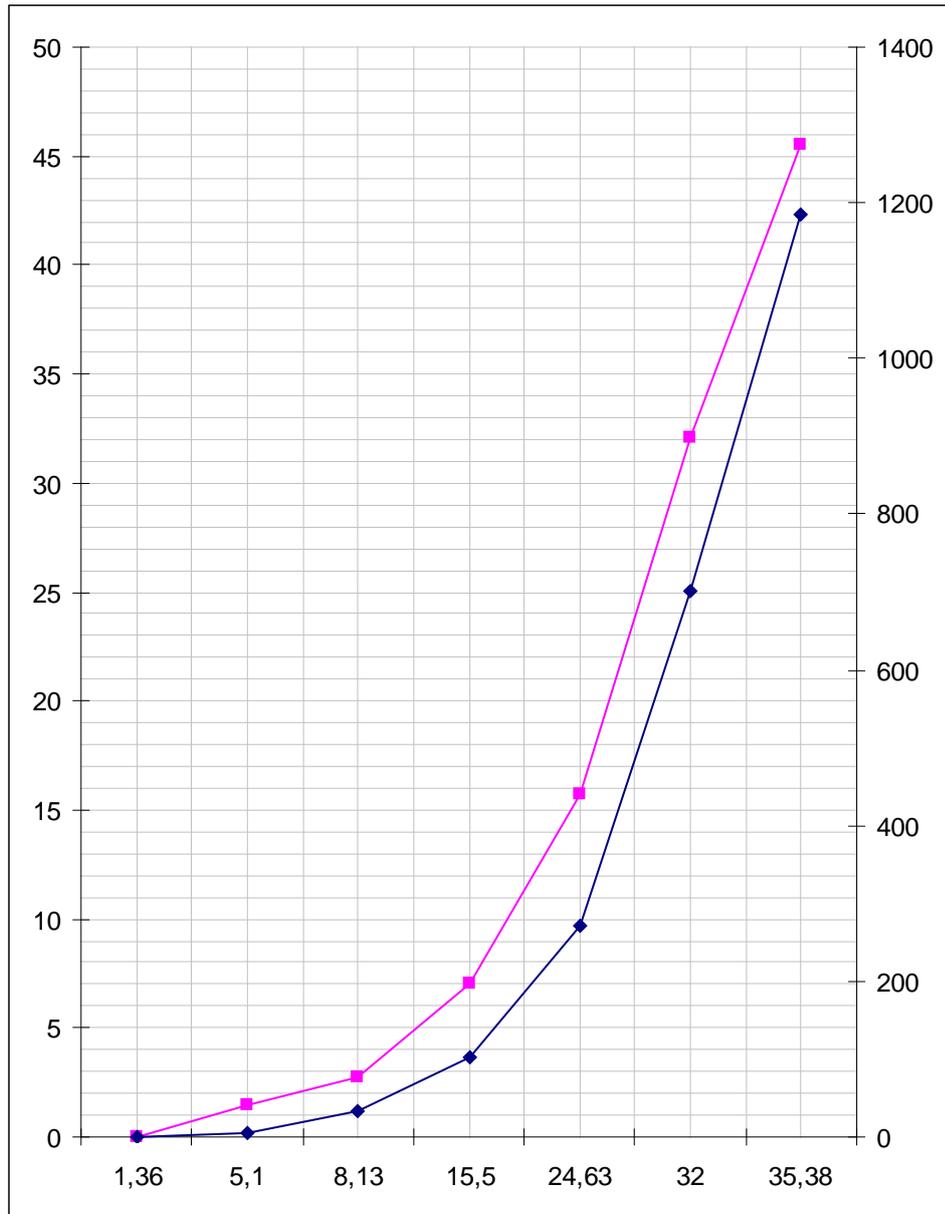


Рисунок А.5 – Время и путь разгона автомобиля

Продолжение Приложения А

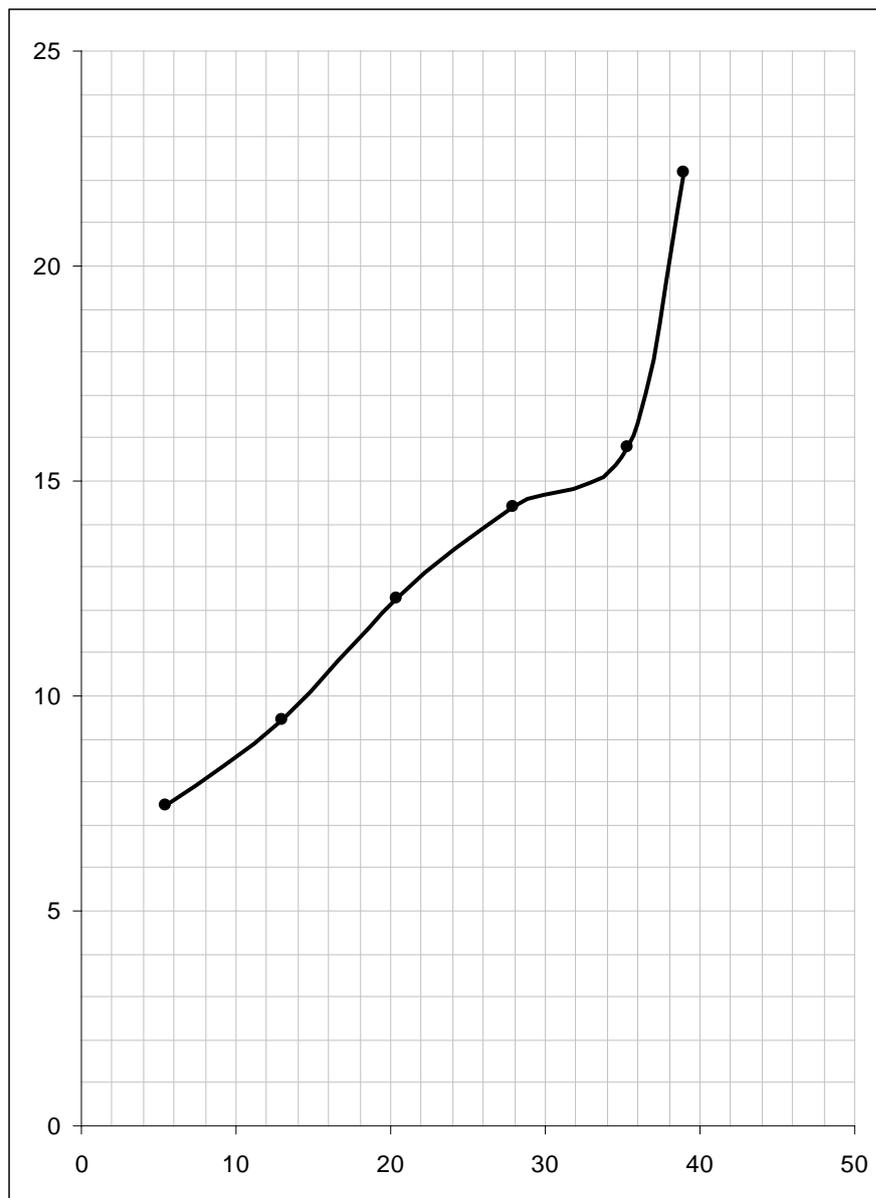


Рисунок А.6 – Топливо-экономическая характеристика