

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)

**Автомобили и тракторы**

(направленность (профиль))

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

на тему Разработка независимой задней подвески для легкового полноприводного  
автомобиля класса С

Обучающийся

**Д.Г. Дорохов**

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

**канд. техн. наук, доцент В.Н.Лата**

(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. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков**

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

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

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

**канд. филол. наук, доцент М. М. Бажутина**

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

Тольятти 2025

## Аннотация

Дипломный проект посвящен теме «Разработка независимой задней подвески для легкового полноприводного автомобиля класса С». Основной целью работы является создание эффективной задней независимой подвески, соответствующей современным требованиям комфортности, безопасности и управляемости автомобилей, особенно в условиях возрастания популярности полноприводных систем.

Пояснительная записка включает в себя шесть разделов, а также введение, заключение, список использованной литературы и источников, а также приложения, при этом общий объем работы составляет 102 страницы, включая приложения. Графическая часть проекта представлена в десяти листах формата А1, созданных с использованием программного обеспечения КОМПАС-3D и САТИА v.5. Дипломный проект полностью соответствует утвержденному заданию на проектирование.

В первом разделе выполнен технико-экономический анализ конструкций подвесок транспортных средств, обоснование и описание проектируемой конструкции подвески. Во втором разделе выполнен тягово-динамический расчёт автомобиля. Третий раздел включает конструктивные расчеты, касающиеся неподрессоренных масс задней подвески, цилиндрической пружины и ступичного подшипника. В четвертом разделе выбрана организационная структура сборочного процесса, определена трудоемкость сборки, а также составлен технологический процесс создания проектируемой подвески. Пятый раздел посвящен вопросам безопасности и экологичности проекта, где разработаны мероприятия, направленные на обеспечение этих аспектов. В шестом разделе определена экономическая эффективность проекта.

В заключении подведены итоги и сделаны основные выводы по результатам дипломного проекта.

## **Abstract**

The diploma project is devoted to the topic "Development of a rear independent suspension for a class C all-wheel drive passenger car". The main goal of the work is to create an effective rear independent suspension that meets modern requirements for comfort, safety and controllability of cars, especially in the context of the growing popularity of all-wheel drive systems.

The explanatory note includes six sections, as well as an introduction, conclusion, a list of references and sources, as well as appendices, while the total volume of the work is 102 pages, including appendices. The graphic part of the project is presented in ten A1 sheets created using KOMPAS-3D and CATIA v.5 software. The diploma project fully complies with the approved design assignment.

The first section contains a technical and economic analysis of vehicle suspension designs, justification and description of the designed suspension design. The second section contains a traction and dynamic calculation of the car. The third section includes design calculations related to the unsprung masses of the rear suspension, coil spring and hub bearing. In the fourth section, the organizational structure of the assembly process is selected, the labor intensity of the assembly is determined, and the technological process for creating the designed suspension is compiled. The fifth section is devoted to the safety and environmental friendliness of the project, where measures are developed to ensure these aspects. In the sixth section, the economic efficiency of the project is determined.

In conclusion, the results are summarized and the main conclusions are made based on the results of the diploma project.

## Содержание

Введение.....	6
1. Состояние вопроса .....	7
1.1 Назначение подвески и ее устройство .....	7
1.2 Классификация подвесок.....	8
1.3 Рассмотрение аналогов.....	13
1.4 Обоснование выбора конструкции задней подвески .....	16
1.5 Определение способа крепления заднего амортизатора к кузову .....	17
1.6 Определение места крепления заднего амортизатора на подвеске .....	19
2. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля .....	21
2.1 Исходные данные .....	21
2.2 Определение полной массы автомобиля .....	22
2.3 Определение статического радиуса колеса .....	23
2.4 Определение коэффициента обтекаемости .....	23
2.5 Расчет лобовой площади автомобиля .....	23
2.6 Расчет коэффициента сопротивления качению при максимальной скорости.....	24
2.7 Определение внешней скоростной характеристики двигателя.....	24
2.8 Определение передаточного числа главной передачи .....	27
2.9 Определение передаточных чисел коробки передач.....	27
2.10 Анализ тяговой динамики. Тяговый баланс автомобиля.....	30
2.11 Динамическая характеристика автомобиля.....	32
2.12 Анализ динамики разгона. Разгон автомобиля .....	32
2.13 Мощностной баланс автомобиля.....	35
2.14 Топливо-экономическая характеристика двигателя .....	36
3. Конструкторская часть .....	38
3.1. Расчет неподрессоренных масс задней подвески .....	38
3.2. Расчет цилиндрической пружины подвески .....	40
3.3 Конструирование и расчет ступичного узла .....	47
4. Технологический раздел.....	53
4.1 Основные положения построения технологической схемы сборки .....	53

4.2 Обоснование выбора технологического процесса.....	54
4.3 Составление маршрутной технологии.....	57
5. Безопасность и экологичность объекта .....	60
5.1 Опасные и вредные производственные факторы .....	60
5.2 Средства индивидуальной защиты.....	61
5.3 Идентификация профессиональных рисков.....	62
5.4 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	64
5.5 Обеспечение пожаробезопасности на производственном участке.....	67
5.6 Обеспечение экологической безопасности .....	68
6. Экономическая эффективность проекта.....	70
6.1 Технико-экономическое обоснование объекта разработки дипломного проекта.....	70
6.2 Расчет затрат и экономической эффективности .....	71
6.3 Точка безубыточности производства подвески .....	77
6.4 Коммерческая эффективность разработки подвески .....	80
6.5 Экономический эффект от повышения надежности и долговечности деталей проектируемой подвески.....	84
Заключение .....	88
Список используемой литературы и используемых источников.....	90
Приложение А .....	92
Приложение Б.....	98
Приложение В.....	99

## Введение

Современные требования к автомобилям класса С диктуют необходимость внедрения высоких стандартов комфорта, безопасности и управляемости. Одним из ключевых факторов, влияющих на эксплуатационные характеристики автомобиля, является система подвески. За последние годы в автомобильной промышленности произошли значительные изменения, связанные с развитием технологий и материалов.

Цель данной выпускной квалификационной работы – разработка независимой задней подвески для автомобиля класса С, которая обеспечит оптимальный баланс между управляемостью, комфортом и экономичностью. Независимая подвеска позволяет каждому колесу двигаться независимо от других, что обеспечивает лучшую контактную поверхность с дорогой и, как следствие, повышает стабильность автомобиля при различных дорожных условиях.

В работе будут проанализированы существующие типы независимых задних подвесок, их преимущества и недостатки, а также проведено сравнительное исследование с зависимыми аналогами. Кроме того, особое внимание будет уделено выбору материалов и технологий, направленных на уменьшение массы конструкции и улучшение ее прочностных характеристик.

К концу работы будет представлена концептуальная модель разработанной подвески, а также ее предполагаемая интеграция в существующие автомобильные платформы класса С. Результаты исследования окажут влияние не только на качество автомобилей, но и на их экологические показатели, повышая эффективность топливо потребления.

Такой подход позволит соответствовать современным требованиям потребителей и тенденциям рынка, а также обеспечит надежность и безопасность автомобилей класса С в условиях динамично меняющейся автомобильной отрасли.

## 1. Состояние вопроса

### 1.1 Назначение подвески и ее устройство

«Автомобильная подвеска – это совокупность устройств, обеспечивающих упругую связь между несущей системой (несущим кузовом или рамой) и колесами или мостами автомобиля.

Подвеска автомобиля предназначена:

- для снижения интенсивности вибраций и динамических нагрузок, действующих на пассажиров, перевозимый груз и элементы конструкции автомобиля при его движении;

- для осуществления передачи сил и моментов, возникающих от внешних воздействий, как на колеса, так и на несущую систему;

- для демпфирования вертикальных колебаний колес и вертикальных и угловых колебаний несущей системы.

Таким образом, подвеска должна обеспечивать надежный контакт колес с дорогой, необходимый комфорт пассажирам и сохранность грузов, а также снижать вероятность возникновения отказов и неисправностей составных частей автомобиля.

Подвеска должна обеспечивать:

- рациональную компоновочную схему собственных устройств и элементов;

- надежный контакт колес с дорогой;

- хорошую плавность хода;

- требуемую устойчивость и управляемость автомобиля;

- правильную кинематику управляемых колес при их вертикальных перемещениях (минимальное изменение колеи и углов установки колес; соответствие кинематики колес кинематике рулевого привода, исключая колебания управляемых колес вокруг оси поворота);

- надежность (долговечность, безотказность и ремонтпригодность) собственных устройств и элементов и бесшумность их работы.

Подвеска должна иметь благоприятную характеристику упругости собственных устройств и элементов и их малую массу (особенно массу неподрессоренных частей).» [11]

## **1.2 Классификация подвесок**

Классификация подвесок может быть проведена по разным критериям, но одной из основных классификаций является по типу кинематической схемы направляющего устройства:

- Зависимая подвеска

«Тип подвески, в котором оба колеса на одной оси соединены жестким элементом, обычно называемым мостом. Это означает, что движение одного колеса напрямую влияет на движение другого колеса. Зависимая подвеска до сих пор широко используется в некоторых транспортных средствах, включая грузовики и внедорожники. Она обеспечивает отличную устойчивость, что делает ее идеальной для тяжелых нагрузок и жестких внедорожных условий.

Недостатки зависимой подвески: она обеспечивает менее комфортную езду, чем независимая подвеска, особенно на неровных дорогах. Колебания одного колеса передаются на другое и, следовательно, на весь кузов с пассажирами. Кроме того, она более тяжёлая и занимает больше места, чем независимая подвеска.» [2]



Рисунок 1 – Зависимая задняя подвеска автомобиля Lada Niva

#### - Независимая подвеска

Тип подвески, в котором каждое колесо автомобиля может двигаться независимо от других. Это означает, что движение одного колеса не влияет на движение другого на той же оси.

Разновидностей независимых подвесок достаточно большое количество, но по своей структуре они отличаются формой и направлением расположения рычагов подвески. Рассмотрим несколько типов независимых подвесок, которые чаще чем остальные можно увидеть на современных автомобилях.

«Подвеска на двойных поперечных рычагах - независимая подвеска автомобиля, направляющими элементами которой для каждого колеса являются пара рычагов неравной длины, расположенных с каждой стороны автомобиля выше и ниже оси колеса и соединённых с кузовом или рамой таким образом, что их угловая подвижность возможна только в поперечной плоскости автомобиля. Сочетается с любым типом упругих элементов: с рессорами, торсионами, пружинами, пневматическими и гидропневматическими демпферами. Может применяться для управляемых и неуправляемых колёс, для ведущих и не ведущих осей.» [23] Разновеликие рычаги позволяют компенсировать изменение развала колёс при ходе

подвески. Также путём подбора длины, взаимного расположения рычагов и точек их крепления к кузову (раме) можно обеспечить желаемую кинематику, что положительно влияет на устойчивость и управляемость автомобиля.

Такой тип подвески можно встретить на передней подвески Lada Niva или, например, на задней подвеске автомобиля Tesla Model S.

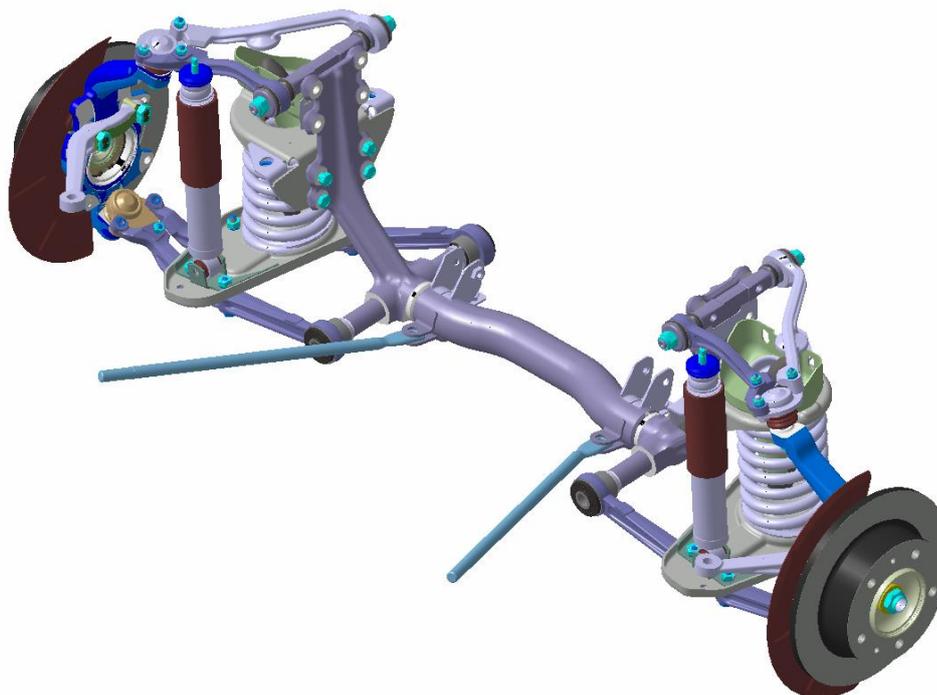


Рисунок 2 – Подвеска на двойных поперечных рычагах (Lada Niva)

«Подвеска Макферсон или подвеска на направляющих стойках – тип автомобильной подвески, основным элементом которой является амортизаторная стойка. Названа по имени инженера-конструктора автомобильной компании «General Motors» Эрла Стила Макферсона, автора конструкции.

Была получена дальнейшим развитием подвески на двойных поперечных рычагах, но имеет лишь один поперечный рычаг внизу. Вместо второго рычага применён высоко расположенный под крылом шарнир —



Такой тип подвески в качестве задней можно встретить на современных автомобилях класса С и выше.



Рисунок 4 – Многорычажная задняя подвеска автомобиля Volkswagen Tiguan

- Полунезависимая подвеска

«Это компромисс между зависимой и независимой подвесками. В ней колёса на одной оси всё ещё связаны между собой, но есть элементы, которые позволяют им двигаться с некоторой степенью независимости.» [16]

«Полунезависимая подвеска представляет собой два продольных рычага, соединённых между собой поперечиной. Она применяется только на задней оси, но на большинстве переднеприводных автомобилей.» [19]

Преимущество полунезависимой подвески: лёгкость монтажа, компактность, небольшой вес, уменьшенная неподрессоренная масса. К недостаткам можно отнести использование только на неведущих задних мостах.

Данный тип подвески можно увидеть на доступных автомобилях класса А и В, а также на некоторых переднеприводных версиях автомобилей класса С.

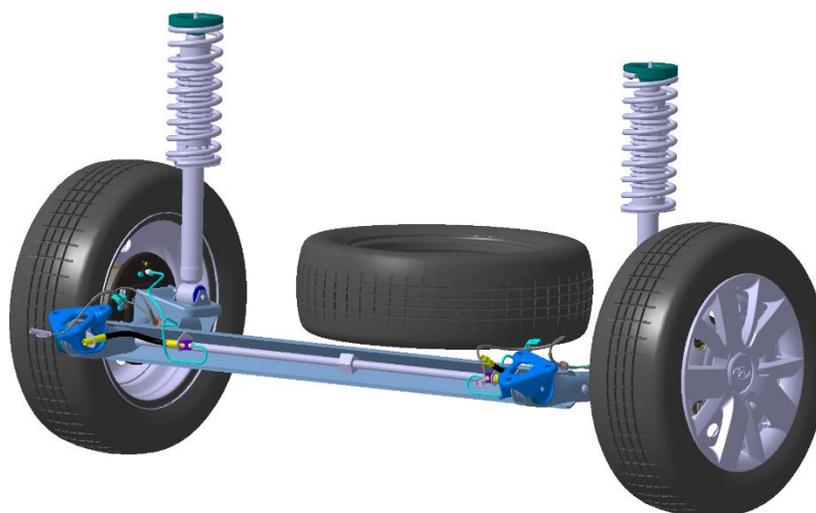


Рисунок 5 – Полунезависимая задняя подвеска автомобиля Lada Granta

### 1.3 Рассмотрение аналогов

Для того, чтобы качественно провести анализ автомобилей аналогов, воспользуемся рейтингом наиболее продаваемых моделей легковых автомобильных марок в России от журнала «АвтоБизнесРевю». Рейтинг представлен 25 автомобилями, которые были лидерами продаж в 2023 году. В большей мере он представлен автомобилями В и С класса.

Лидируют по продажам в России автомобили АО «АвтоВАЗ»: Lada Granta – 1 место и Lada Vesta – 5 место (достаточно низкий показатель для данного автомобиля, связан в 2023 году с проблемами комплектующих). Это автомобили В класса и на них преимущественно в качестве задней подвески применяется полунезависимая подвеска (торсионная балка).

А автомобили класса С, попавшие в данный рейтинг - Haval Dargo, Chery Tiggo 7, Geely Tugella, Exeed LX и т.д., оснащаются независимой задней подвеской. Обусловлено это тем, что данные автомобили имеют возможность подключения полного привода и независимая задняя подвеска – это необходимость.

«Для автомобилей класса С популярным выбором является задняя подвеска – трехрычажная с корректирующей тягой или Control blade. Control blade — это тип задней подвески, который был введен компанией Ford на своих автомобилях в конце 1990-х гг. Первый автомобиль, оснащенный таким типом подвески, был Ford Focus. Она была разработана для улучшения управляемости и устойчивости автомобиля, особенно на высоких скоростях.» [24]

Конструкция задней подвески Control blade включает несколько рычагов, каждый из которых отвечает за изменение соответствующего угла колеса и восприятие определённых нагрузок:

- Продольный рычаг (на автомобиле Ford Focus объединён с кулаком в один узел) воспринимает продольные нагрузки. Этот тип подвески получил свое название, в честь этого рычага.

- Нижний рычаг, на который опирается пружина, фиксирует колесо в поперечном направлении. К подрамнику крепится через болты особой формы, со смещённым положением шляпки, которые позволяют регулировать развал колёс.

- Верхний (развальный) изогнутый рычаг также определяет положение колеса в поперечном направлении. На универсалах Ford Focus применяется свой рычаг, такой же по длине, как у седана, но прямой формы.

- Корректирующая тяга отвечает за изменение схождения колеса. Когда машина кренится в повороте, подвеска сжимается, колесо идёт вверх, и этот рычаг оттягивает всю конструкцию таким образом, что схождение колеса изменяется.



Рисунок 6 – рычаги подвески Control blade

Подвеска Control blade широко применяется китайскими автопроизводителями, как наглядно показано на рисунке 7.

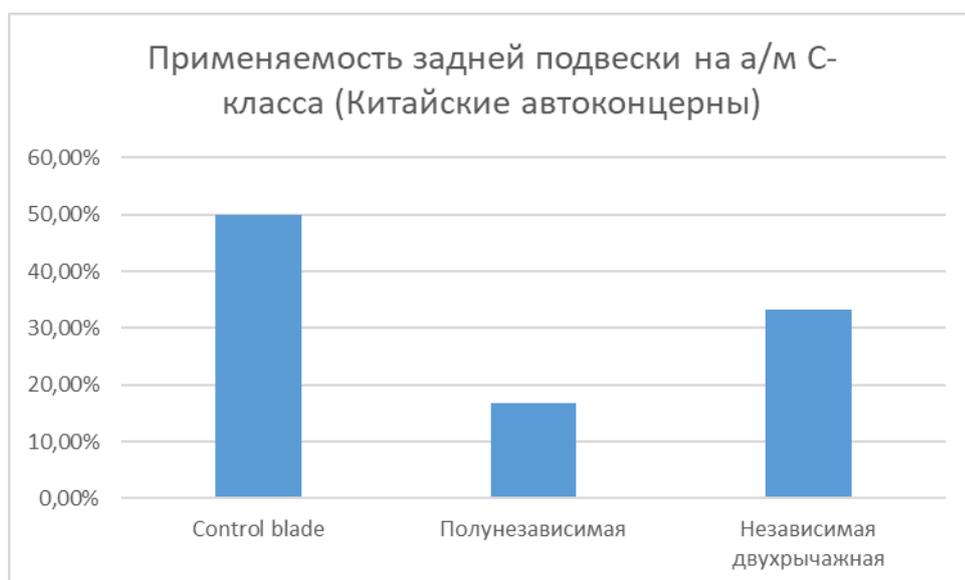


Рисунок 7 – Применяемость задней подвески на автомобилях С класса

## 1.4 Обоснование выбора конструкции задней подвески

Для того, чтобы выбрать оптимальную конструкцию задней независимой подвески была проведена сравнительная оценка различных типов подвесок, участниками которой выступили 5 экспертов АО «АвтоВАЗ». Их попросили оценить 7 выдвинутых типов задней подвески по следующим категориям: возможность полного привода, управляемость, комфорт, стоимость, вес, компануемость, ремонтпригодность, требования к новой технологии. Каждая категория оценивалась по пятибалльной шкале и имела свой вес. Максимальная оценка, которую могла набрать подвеска составляет 110. Результаты сравнительной оценки различных типов подвески сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Выбор типа задней подвески

Типы задних подвесок	Рисунок	Итоги оценки по категориям					Общая оценка
		Эксперт 1	Эксперт 2	Эксперт 3	Эксперт 4	Эксперт 5	
Связанные рычаги (twist beam)		59	72	78	72	72	71
поперечные рычаги		79	82	82	84	79	81
3-х рычажная		68	86	86	86	81	81
5-ти рычажная		73	83	81	84	81	80
Control blade		80	80	92	80	82	83
McPherson		66	86	89	88	77	83
диагональный рычаг с пружиной		66	86	79	89	78	80

По результатам опроса наибольшую оценку получили два типа подвески: Control blade и McPherson. В процессе рассмотрения классификаций подвесок и анализа аналогов было принято решение использование задней подвески типа Control blade. Во-первых, она обеспечивает лучшую устойчивость и управляемость автомобиля благодаря более жесткой конструкции. Это делает ее более эффективной на поворотах и при высоких скоростях. Во-вторых, подвеска Control blade обеспечивает более комфортное движение за счет лучшей амортизации и уменьшения вибраций.

Таким образом, можно сказать, что подвеска типа Control blade предлагает более высокий уровень производительности, комфорта и надежности по сравнению с подвеской типа МакФерсон. В качестве аналога для проектирования будут использоваться автомобили аналоги Volkswagen Tiguan и Ford Focus.

## **1.5 Определение способа крепления заднего подрамника к кузову**

Одним из ключевых узлов задней независимой подвески выступает подрамник. Именно подрамник служит точкой крепления для узлов и агрегатов задней подвески.

Выделяют 2 основных способа крепления подрамника к кузову автомобиля – «жесткое» и «мягкое». «Жесткое» крепление предполагает, что подрамник закреплен неподвижно через металлические втулки, и удары в кузов передаются на более высоких частотах. Некоторые преимущества такого крепления: улучшается управляемость автомобиля, в том числе уменьшается крен в поворотах. Однако при «жестком» закреплении подрамника на российских дорогах некоторые автомобилисты отмечают, что удары в кузов становятся более слышны и ощутимы. «Мягкое» крепление подразумевает, что подрамник закреплен на кузове через эластичные опоры и может двигаться, тем самым влияя на комфорт езды.

Для того чтобы выбрать способ крепления заднего подрамника к кузову для разрабатываемой задней подвески проведем анализ автомобилей аналогов и представим его в виде таблицы 1.

Таблица 2 – способ крепления подрамника к кузову на автомобилях аналогах

Автомобиль	Тип кузова	Снаряженная масса	Жесткое крепление	Мягкое крепление
Changan UNI-V	лифтбек	1400	+	
Chery Arrizo 8	седан	1489		+
Skoda Octavia	лифтбек	1341	+	
VW Jetta	седан	1355	+	
Geely Preface	седан	1610		+
Toyota Camry	седан	1585		+
Hyundai Sonata	седан	1484		+
Skoda Kodiaq	универсал	1707		+
Exeed LX	универсал	1658		+
Kia Sportage	универсал	1687		+
Mazda CX-5	универсал	1650		+
Geely Tugela	универсал	1815		+

Проведя анализ аналогов, можно сделать вывод о том, что на автомобилях с полным приводом чаще применяется подрамник с резинометаллическими шарнирами. Также стоит учесть, что подрамник с эластичными опорами хорошо справляется с высокочастотными колебаниями, но динамическая деформация резиновых элементов шарниров приводит к повышению частоты собственных (низкочастотных) колебаний на 10-15% по сравнению с «жестким» креплением.

Каждый из типов крепления имеет свои достоинства и недостатки. Для ходового макета более оптимальное решение – «жесткое» крепление подрамника задней подвески к кузову.

## 1.6 Определение места крепления заднего амортизатора на подвеске

В автомобилях с задней подвеской Control blade общая конструкция остается неизменной, но существуют некоторые решения, которые отличают одну подвеску от другой. Одним из таких решений является место крепления амортизатора на подвеске.

Изучив аналоги, можно с уверенностью сказать, что выделяют два варианта крепления амортизатора – на кулаке и на продольном нижнем рычаге. Перед тем, как выбрать место крепления для разрабатываемой подвески, изучим аналоги и сведем результат в таблицу 2.

Таблица 3 – место крепления заднего амортизатора на автомобилях-аналогах

Автомобиль	Тип кузова	Снаряженная масса	Место крепления
Toyota Camry	седан	1585	Кулак
Changan UNI-V	лифтбек	1400	Кулак
Geely Preface	седан	1610	Рычаг
Chery Arrizo 8	седан	1489	Кулак
Hyundai Sonata	седан	1484	Рычаг
Skoda Kodiaq	универсал	1707	Рычаг
Exeed LX	универсал	1658	Кулак
Kia Sportage	универсал	1687	Рычаг
Mazda CX-5	универсал	1650	Кулак
Geely Tugela	универсал	1815	Рычаг

Проанализировав таблицу 2, можно заметить, что автоконцерны по всему миру крепят амортизатор и на кулаке, и на рычаге. С одной стороны, крепление амортизатора на продольном нижнем рычаге создает на нем дополнительную нагрузку. Но, с другой стороны, определяющим фактором все равно остаются компоновочные соображения.

Так как на многих автомобилях этого класса используется задний тормоз с довольно габаритным блоком электрического стояночного тормоза, амортизатор крепится на продольном нижнем рычаге. Разрабатываемая задняя подвеска подразумевает наличие этого узла, и поэтому было выбрано место крепление на рычаге.

## 2. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля

«Тягово-динамический расчет – это методология расчета параметров движения транспортного средства, учитывающая влияние тяговых усилий, сил сопротивления и других динамических факторов на его движение. Этот расчет проводится для определения необходимой мощности двигателя, выбора оптимальной передачи, расчета тяговых характеристик и других параметров, которые влияют на эффективность работы транспортного средства.

Тягово-динамический расчет проводится как для разработки новых моделей транспортных средств, так и для оптимизации работы уже существующих. Он позволяет учесть все факторы, влияющие на движение транспортного средства, и провести анализ его эффективности и производительности.» [17]

### 2.1 Исходные данные

«Тип автомобиля .....	полноприводный легковой автомобиль класса С
Колесная формула .....	4x4
Количество мест (n) .....	5
Длина .....	4530 мм
Ширина ( $B_r$ ) .....	1842 мм
Высота ( $H_r$ ) .....	1687 мм
Масса в снаряженном состоянии ( $m_0$ ) .....	1800 кг
Шины .....	235/55 R18
Коэффициент аэродинамического сопротивления ( $C_x$ ) .....	0,32
Коэффициент сопротивления качению ( $f_0$ ) .....	0,012
Коэффициент преодолеваемого уклона ( $\alpha_{i\max}$ ) .....	0,30
Максимальная скорость ( $V_{\max}$ ) .....	55,56 м/с (200 км/ч)

Максимальная частота вращения коленчатого вала ( $\omega_{\max}$ ) .....	628рад/с
Минимальная частота вращения коленчатого вала ( $\omega_{\min}$ ) .....	88рад/с
Коэффициент полезного действия трансмиссии ( $\eta_{\text{тр}}$ ) .....	0,92
Число передач в коробке передач.....	6
Распределение массы автомобиля по осям:	
Передняя ось.....	55%
Задняя ось.....	45%
Плотность воздуха ( $\rho$ ) .....	1,293 кг/м <sup>3</sup>
Плотность топлива ( $\rho_t$ ) .....	0,72 кг/л

## 2.2 Определение полной массы автомобиля

$$\eta_m = \frac{m_r}{m_0}, \quad (1)$$

где  $\eta_m$  – удельная грузоподъемность автомобиля;

$m_r$  – грузоподъемность автомобиля;

$m_0$  – снаряженная масса автомобиля.

$$\eta_m = \frac{580}{1800} = 0,322$$

$$m_a = m_0 + m_{\text{ч}}(n) + m_{\delta}, \quad (2)$$

«где  $m_a$  – полная масса автомобиля;

$m_0$  – снаряженная масса автомобиля;

$m_{\text{ч}}$  – масса человека (75 кг);

$m_{\delta}$  – масса багажа (по 10 килограмм на одного человека);

$n$  – количество пассажиров, включая водителя. » [4]

$$m_a = 1800 + 75 \cdot 5 + 50 = 2225 \text{ (кг)}$$

### 2.3 Определение статического радиуса колеса

$$r_{ст} = 0,5d + \lambda_z H, \quad (3)$$

где  $r_{ст}$  – статический радиус колеса;

$d$  – посадочный диаметр шин - 18 дюймов (0,46 м);

$\lambda_z = 0.85$  – коэффициент вертикальной деформации;

$H$  - 0,12925 м – высота профиля шины;

$B$  - 0,235 м – ширина профиля шины.

$$r_{ст} = 0,5 \cdot 0,46 + 0,85 \cdot 0,12925 = 0,340 \text{ (м)}$$

$$r_{ст} \approx r_d \approx r_k, \quad (4)$$

«где  $r_d$  – динамический радиус колеса;

$r_k$  – радиус качения колеса. » [4]

### 2.4 Определение коэффициента обтекаемости

$$k = \frac{C_x \cdot \rho}{2}, \quad (5)$$

где  $C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;

$\rho$  – плотность воздуха в нормальных условиях - 1,293.

$$k = \frac{0,32 \cdot 1,293}{2} = 0,207 \left( \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4} \right)$$

### 2.5 Расчет лобовой площади автомобиля

$$F = 0,8 \cdot B_r \cdot H_r, \quad (6)$$

где  $F$  – лобовая площадь автомобиля;

$B_r$  – габаритная ширина автомобиля;

$H_r$  – габаритная высота автомобиля.

$$F = 0,8 \cdot 1,842 \cdot 1,687 = 2,49 \text{ (м}^2\text{)}$$

## 2.6 Расчет коэффициента сопротивления качению при максимальной скорости

$$f = f_0 \left( 1 + \frac{V_{max}^2}{2000} \right), \quad (7)$$

где  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению;

$V_{max}$  – максимальная скорость автомобиля.

$$f = 0,0085 \cdot \left( 1 + \frac{(55,56)^2}{2000} \right) = 0,0216$$

## 2.7 Определение внешней скоростной характеристики двигателя

«Сначала определим мощность двигателя при максимальной скорости автомобиля с помощью формулы мощностного баланса с учетом КПД трансмиссии:

$$N_v = \frac{1}{\eta_{тр}} \left( G_a \psi_v V_{max} + \frac{C_x \cdot \rho}{2} \cdot F \cdot V_{max}^3 \right), \quad (8)$$

где  $G_a$  – полный вес автомобиля;

$\psi_v$  – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля.» [18]

$$G_a = m_a g, \quad (9)$$

где  $m_a$  – полная масса автомобиля;

$g$  - 9,81 м/с<sup>2</sup> – ускорение свободного падения.

$$G_a = 2225 \cdot 9,81 = 21827,3 \text{ (H)}$$

«Для легковых автомобилей коэффициент суммарного дорожного сопротивления назначают равным коэффициенту качения при максимальной скорости.» [14]

$$\psi_v = f = 0,0216$$

$$\begin{aligned} N_v &= \frac{1}{0,92} \cdot \left( 21827,3 \cdot 0,0216 \cdot 55,56 + \frac{0,32 \cdot 1,293}{2} \cdot 2,49 \cdot (55,56)^3 \right) \\ &= 124504,8 \text{ Вт} \approx 124,5 \text{ кВт} \end{aligned}$$

«Далее находим максимальную мощность двигателя в зависимости от его типа:» [13]

$$N_{max} = \frac{N_v}{a\lambda + b\lambda^2 - c\lambda^3}, \quad (10)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты;

$$\lambda = \frac{\omega_{max}}{\omega_n} \text{ – отношение максимальной частоты вращения коленчатого}$$

вала к частоте вращения коленчатого вала при максимальной скорости.

$$a=b=c=1;$$

$$\lambda=1,1$$

$$N_{max} = \frac{124504,8}{1 \cdot 1,1 + 1 \cdot 1,1^2 - 1 \cdot 1,1^3} = 127175 \text{ Вт} = 127,175 \text{ кВт}$$

Определим частоту вращения коленчатого вала при максимальной мощности:

$$\omega_N = \frac{\omega_{max}}{\lambda}, \quad (11)$$

где  $\omega_{max}$  – максимальная частота вращения коленчатого вала.

$$\omega_N = \frac{628}{1,1} = 570,9 \text{ рад/с}$$

«По полученным значениям  $N_{max}$  и  $N_v$  рассчитаем внешнюю скоростную характеристику двигателя по формуле:

$$N_e = N_{max} \left[ a \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \cdot \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - c \cdot \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right], \quad (12)$$

где  $\omega_e$  – текущие значения угловой скорости коленчатого вала (рад/с);

$N_e$  – текущие значения эффективной мощности двигателя (Вт). » [4]

Затем рассчитаем эффективный момент двигателя:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \quad (13)$$

Примем минимальную частоту вращения коленчатого вала:

$$\omega_{min} = 88 \text{ рад/с}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 4:

Таблица 4 – Зависимость эффективной мощности двигателя и эффективного момента от угловой скорости коленчатого вала.

$\omega_e$ , рад/с	88	163	240	316	390	470	550	628
$N_e$ , кВт	22,16	43,72	66,49	87,79	105,68	119,93	126,79	124,5
$M_e$ , Нм	251,82	268,22	277,04	277,81	270,97	255,17	230,53	198,25

## 2.8 Определение передаточного числа главной передачи

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

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \cdot \frac{\omega_{max}}{V_{max}}, \quad (14)$$

где  $\omega_{max}$  – максимальная угловая скорость коленчатого вала двигателя;

$U_k$  – передаточное число высшей передачи в коробке передач, на которой обеспечивается максимальная скорость автомобиля;

$r_k$  – радиус колеса. » [12]

$$U_0 = \frac{0,340}{0,853} \cdot \frac{628}{55,56} = 4,505$$

## 2.9 Определение передаточных чисел коробки передач

«Для обеспечения возможности движения автомобиля при заданном максимальном дорожном сопротивлении тяговая сила на ведущих колесах  $P_T$  должна быть больше силы сопротивления дороги  $P_d$ , т. е.

$$U_1 \geq \frac{G_a \cdot \psi_{max} \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0}, \quad (15)$$

где  $U_1$  – передаточное число коробки передач при включении первой передачи;

$M_{max}$  – максимальный эффективный момент двигателя. » [4]

$$\psi_{max} = \alpha_{max} + f_0 = 0,30 + 0,0216 = 0,3216 \quad (16)$$

$\Psi_{max}$  – максимальный коэффициент сопротивления дороги.

$$U_1 \geq \frac{21827,25 \cdot 0,3216 \cdot 0,340}{277,81 \cdot 0,92 \cdot 4,505} \geq 2,07$$

«Во избежание буксования ведущих колес тяговая сила на первой передаче должна быть меньше силы сцепления колес с дорогой:

$$U_1 \leq \frac{G_{\text{сц}} \cdot \varphi \cdot r_{\text{к}}}{M_{\text{max}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0}, \quad (17)$$

где  $G_{\text{сц}}$  – сцепной вес автомобиля;

$\varphi$  – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой (сухое асфальтовое шоссе в хорошем состоянии). Пример равным 0,8.» [18]

Для полноприводных автомобилей  $G_{\text{сц}} = G_a$

$$U_1 \leq \frac{21827,25 \cdot 0,8 \cdot 0,340}{277,81 \cdot 0,92 \cdot 4,505} \leq 5,16$$

Примем передаточные отношения шестиступенчатой коробки передач, полученные на АО «АвтоВАЗ» в ходе прохождения преддипломной практики в 9 семестре:

$U_0=4,313$ ;  $U_1=3,769$ ;  $U_2=2,211$ ;  $U_3=1,423$ ;  $U_4=1,094$ ;  $U_5=0,853$ ;  $U_6=0,725$ ;  
 $U_{\text{з.х.}}=3,538$ .

Передаточное число для заднего хода автомобиля определяется во время компоновки коробки передач.

$$U_{\text{з.х.}} = 1,25 \cdot U_1 \quad (18)$$

«Расчет передаточного числа понижающей передачи раздаточной коробки можно произвести исходя из условия отсутствия буксования ведущих колес. Для этого используется формула:» [22]

$$U_p = \frac{G_{сц} \cdot \varphi \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot U_1}, \quad (19)$$

$$U_p = \frac{21827,25 \cdot 0,8 \cdot 0,340}{277,81 \cdot 0,92 \cdot 4,313 \cdot 3,769} = 1,43$$

«В соответствии с принятыми числами произведем расчет скорости автомобиля на разных передачах:» [4]

$$V = \frac{r_k \cdot \omega_B}{U_0 \cdot U_k} \quad (20)$$

Результаты сведем в таблицу 5:

Таблица 5 – Скорость автомобиля на различных передачах

$\omega_B, c^{-1}$	Скорость на передаче, м/с					
	1	2	3	4	5	6
88	1,84	3,14	4,88	6,34	8,13	9,57
163	3,41	5,81	9,03	11,75	15,06	17,72
240	5,02	8,56	13,30	17,29	22,18	26,10
316	6,61	11,27	17,51	22,77	29,20	34,36
390	8,16	13,91	21,61	28,10	36,04	42,41
470	9,83	16,76	26,04	33,87	43,44	51,10
550	11,50	19,61	30,47	39,63	50,83	59,80
628	13,13	22,39	34,79	45,25	58,04	68,28

«Передаточные числа высших передач могут быть несколько сближены с учетом потерь скорости автомобиля при переключении передач и использовании наибольшей средней мощности двигателя при разгоне на высших передачах. Поэтому должно выполняться неравенство:» [21]

$$\frac{U_3}{U_4} \geq \frac{U_4}{U_5} \quad (21)$$

$$\frac{1,423}{1,094} > \frac{1,094}{0,853}$$

## 2.10 Анализ тяговой динамики. Тяговый баланс автомобиля

«Сила тяги на ведущих колесах автомобиля, в зависимости от скорости автомобиля, для каждой из передач в коробке передач:» [4]

$$P_T = \frac{U_k \cdot U_0 \cdot U_P \cdot M_e \cdot \eta_{тр}}{r_k} \quad (22)$$

«При движении автомобиль приобретает силу сопротивления воздуха, которую определяют по формуле:» [4]

$$P_B = \frac{1}{2} C_x \cdot \rho \cdot F \cdot V^2 \quad (23)$$

Сила сопротивления качению автомобиля:

$$P_d = G_a \cdot \psi, \quad (24)$$

где  $\psi=f$ .

Суммарная сила сопротивления движению автомобиля:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{в}} + P_{\text{д}} \quad (25)$$

Результаты расчетов сведем в таблицы 6 и 7:

Таблица 6 – Тяговая сила автомобиля на различных передачах.

$\omega_{\text{в}},$ $\text{с}^{-1}$	Тяговая сила на ведущих колесах, на передачах, Н						Сила сопротивления на 6 передаче, Н		
	1	2	3	4	5	6	$P_{\text{в}}$	$P_{\text{д}}$	$P_{\Sigma}$
88	15839,5	9291,9	5980,3	4597,6	3584,8	3046,9	47,2	269,9	317,1
163	16871,0	9897,0	6369,7	4897,0	3818,3	3245,3	161,8	289,2	451,0
240	17425,8	10222,5	6579,2	5058,1	3943,8	3352,0	350,9	321,1	672,0
316	17474,2	10250,9	6597,5	5072,1	3954,9	3361,3	608,2	364,5	972,7
390	17044,0	9998,5	6435,0	4947,2	3857,4	3278,6	926,5	418,1	1344,6
470	16050,2	9415,5	6059,8	4658,8	3632,5	3087,4	1345,1	488,7	1833,8
550	14500,3	8506,30	5474,7	4208,9	3281,7	2789,3	1842,1	572,5	2414,6
628	12469,9	7315,2	4708,06	3619,6	2822,2	2398,7	2401,6	666,8	3068,4

Таблица 7 – Сила сопротивления воздуха при различной скорости автомобиля.

1		2		3		4		5		6	
V, м/с	$P_{\text{в}},$ Н	V, м/с	$P_{\text{в}},$ Н								
1,84	1,7	3,14	5,1	4,88	12,3	6,34	20,7	8,13	34,0	9,57	47,2
3,41	6,0	5,81	17,4	9,03	42,0	11,75	71,1	15,06	116,8	17,72	161,8
5,02	13,0	8,56	37,7	13,30	91,1	17,29	154,0	22,18	253,4	26,10	350,9
6,61	22,5	11,27	65,4	17,51	157,9	22,77	267,1	29,20	439,2	34,36	608,2
8,16	34,3	13,91	99,7	21,61	240,6	28,10	406,8	36,04	669,1	42,41	926,5
9,83	49,9	16,76	144,7	26,04	349,3	33,87	590,9	43,44	972,0	51,10	1345,1
11,50	68,1	19,61	198,1	30,47	478,3	39,63	809,0	50,83	1330,9	59,80	1842,1
13,13	88,8	22,39	258,2	34,79	623,5	45,25	1054,8	58,04	1735,3	68,28	2401,6

## 2.11 Динамическая характеристика автомобиля

«Динамическим фактором  $D$  автомобиля называют отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу автомобиля:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a} \quad (26)$$

Результаты расчетов динамического фактора сведены в таблицу 8.» [1]

Таблица 8 – Результаты расчетов динамического фактора  $D$  и коэффициента сопротивления  $f$ .

$\omega_B,$ $c^{-1}$	Динамический фактор $D$ на передаче					
	1	2	3	4	5	6
88	0,725	0,425	0,273	0,210	0,163	0,137
163	0,773	0,453	0,290	0,221	0,170	0,141
240	0,798	0,467	0,297	0,225	0,169	0,137
316	0,800	0,467	0,295	0,220	0,161	0,126
390	0,779	0,454	0,284	0,208	0,146	0,108
470	0,733	0,425	0,262	0,186	0,122	0,080
550	0,661	0,381	0,229	0,156	0,089	0,043
628	0,567	0,323	0,187	0,118	0,050	-

## 2.12 Анализ динамики разгона. Разгон автомобиля

«Ускорение во время разгона определяют для случая движения автомобиля по горизонтальной дороге ( $i=0$ ) с твердым покрытием хорошего качества при максимальном использовании мощности двигателя и отсутствия буксования ведущих колес. Ускорение находят из выражения:

$$J = \frac{(D - f) \cdot g}{\delta_{вр}}, \quad (27)$$

Откуда

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{(I_m \cdot \eta_{тр} \cdot U_{тр}^2 + I_k) \cdot g}{G_a \cdot r_k^2}, \quad (28)$$

где  $I_m$  – момент инерции вращающихся частей двигателя;

$U_{тр} = U_0 \cdot U_k$  – передаточное число трансмиссии;

$I_k$  – суммарный момент инерции ведущих колес.

Если точное значение  $I_m$  и  $I_k$  неизвестно, то  $\delta_{вр}$  определяют по формуле:

$$\delta_{вр} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_k^2), \quad (29)$$

где  $U_k$  – передаточное число коробки передач на данной передаче;

$\delta_1$  – коэффициент учета вращающихся масс колес;

$\delta_2$  – коэффициент учета вращающихся масс двигателя;

$\delta_1 = \delta_2 = 0,03 - 0,05$ .

Результаты расчетов на каждой передаче коэффициента учета вращающихся масс:

1 передача -  $\delta_{вр} = 1,760$

2 передача -  $\delta_{вр} = 1,294$

3 передача -  $\delta_{вр} = 1,151$

4 передача -  $\delta_{вр} = 1,110$

5 передача -  $\delta_{вр} = 1,086$

6 передача -  $\delta_{вр} = 1,076$

Результаты расчетов ускорения  $J$  и обратных ускорения  $1/J$  сведены в таблицу 9.» [4]

Таблица 9 – Ускорение и обратное ускорение на передачах.

$\omega_{в},$ $c^{-1}$	Ускорение на передаче, $m/c^2$						Величина, обратная ускорению на передаче, $c^2/m$					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
88	3,87	2,99	2,06	1,58	1,19	0,97	0,25	0,33	0,48	0,63	0,83	1,02
163	4,13	3,20	2,21	1,68	1,26	1,00	0,24	0,31	0,45	0,59	0,79	0,99
240	4,27	3,30	2,27	1,71	1,25	0,97	0,23	0,30	0,44	0,58	0,79	1,02
316	4,28	3,30	2,25	1,67	1,17	0,87	0,23	0,30	0,44	0,59	0,84	1,14
390	4,17	3,21	2,16	1,56	1,04	0,70	0,23	0,31	0,46	0,63	0,95	1,41
470	3,91	2,99	1,97	1,37	0,82	0,45	0,25	0,33	0,50	0,72	1,20	2,21
550	3,51	2,65	1,69	1,10	0,52	0,11	0,28	0,37	0,59	0,90	1,89	8,77
628	2,99	2,21	1,33	0,77	0,17	-	0,33	0,45	0,74	1,29	5,67	-

«Время и путь разгона автомобиля определяем графоаналитическим способом. Интегрирование заменяем суммой конечных величин.» [15]

$$\Delta t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{J} \cdot dv \approx \left( \frac{1}{J_{cp}} \right)_2 \cdot (V_2 - V_1) \quad (30)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 10.

Таблица 10 – время и путь разгона автомобиля.

V	t	$1/J_{cp}$	$\Delta S$	S
0	0	0	0	0
13,13	3,41	0,26	44,8	44,8
22,39	6,59	0,34	147,6	192,4
34,79	13,04	0,52	453,7	646,1
45,25	20,89	0,75	945,3	1591,4
58,04	41,74	1,63	2422,6	4014,0
68,28	66,00	2,37	4506,5	8520,5

## 2.13 Мощностной баланс автомобиля

«По аналогии с уравнением силового баланса записывается уравнение мощностного баланса:

$$N_T = N_e - N_{тр} = N_f + N_{п} + N_{в} + N_{и}, \quad (31)$$

$$N_T = N_e \cdot \eta_{тр}, \quad (32)$$

$$N_f = P_f \cdot V, \quad (33)$$

$$N_{п} = P_{п} \cdot V, \quad (34)$$

$$N_{в} = P_{в} \cdot V, \quad (35)$$

$$N_{и} = P_{и} \cdot V, \quad (36)$$

$$N_{д} = P_{д} \cdot V = N_f + N_{п}, \quad (37)$$

где  $N_T$  – тяговая мощность;

$N_{тр}$  – мощность, теряемая в агрегатах трансмиссии;

$N_f$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления качения колес;

$N_{п}$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления подъему;

$N_{в}$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления воздуха;

$N_{и}$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления дороги. »

[4]

Результаты расчетов мощностного баланса автомобиля сводим в таблицу 11:

Таблица 11 – значения затраченных мощностей.

$V_{\max}$	9,57	17,72	26,1	34,36	42,41	51,1	59,8	68,28
$N_e$	22,16	43,72	66,49	87,79	105,68	119,93	126,79	124,5
$N_T$	20,39	40,22	61,17	80,77	97,23	110,34	116,65	114,54
$N_B$	0,45	2,87	9,16	20,90	39,29	68,73	110,16	163,98
$N_D$	2,58	5,12	8,38	12,52	17,73	24,97	34,24	45,53
$N_B+N_D$	3,03	7,99	17,54	33,42	57,02	93,7	144,4	209,51
$(N_B+N_D)/N_T$	0,15	0,20	0,29	0,41	0,59	0,85	1,23	1,83

## 2.14 Топливо-экономическая характеристика двигателя

«Для получения топливо-экономической характеристики следует рассчитать расход топлива при движении автомобиля на высшей передаче по горизонтальной дороге с заданными постоянными скоростями от минимально устойчивой до максимальной.

Путевой расход топлива:

$$q_{\Pi} = \frac{K_{ck} \cdot K_{и} \cdot (P_{д} + P_{в}) \cdot q_{emin} \cdot 1,1}{36000 \cdot \rho_{т} \cdot \eta_{тг}}, \quad (38)$$

где  $K_{ck}$  – коэффициент, учитывающий соответственно изменения эффективного расхода топлива в зависимости от  $\omega_e$ ;

$K_{и}$  – коэффициент, учитывающий соответственно изменения эффективного расхода топлива в зависимости от  $N$  двигателя;

$q_{emin}$  - 290 г/кВт\*ч – удельный эффективный расход топлива;

$\rho_{т}$  - 0,73 кг/л – плотность топлива. » [4]

Рассчитанные данные сводим в таблицу 12.

Таблица 12 – Путь расход топлива.

$V, \text{ м/с}$	$K_n$	$I$	$K_{ск}$	$q_n, \text{ л}$
9,57	1,3	0,15	1,15	6,25
17,72	1,25	0,18	1,1	8,18
26,1	1,2	0,25	1,08	11,49
34,36	1,1	0,34	1,05	14,81
42,41	0,9	0,47	0,98	15,64
51,1	0,8	0,67	0,95	18,38
59,8	1	0,96	0,98	31,21

### Выводы по разделу

«После выполнения тягово-динамического расчета автомобиля С класса (аналог Volkswagen Tiguan) можно сделать следующие выводы:

- определены основные характеристики автомобиля, такие как масса, мощность двигателя, коэффициент сопротивления движению, коэффициент аэродинамического сопротивления. Эти данные позволяют оценить общие технические характеристики автомобиля;

- рассчитаны тяговые характеристики автомобиля, такие как максимальная тяга, ускорение, максимальная скорость. Это позволяет оценить динамические возможности автомобиля и его способность преодолевать различные препятствия;

- определены оптимальные передаточные числа трансмиссии для достижения максимальной производительности автомобиля. Это позволяет оптимизировать работу трансмиссии и улучшить тягово-динамические характеристики автомобиля;» [4]

В общем и целом, общий анализ тягово-динамических характеристик автомобиля позволяет получить информацию о его производительности и поведении на дороге, что помогает определить его конкурентоспособность и потенциальные области для улучшения конструкции.

### 3. Конструкторская часть

#### 3.1. Расчет неподрессоренных масс задней подвески

«Конструкция подвески автомобиля в значительной степени определяется соотношением между поддрессоренными и неподрессоренными массами. Поддрессоренной массой автомобиля считается та часть его общей массы, которая воспринимается подвеской и через ее упругие элементы передается на опорную поверхность (дорогу). К неподрессоренной массе (массе неподрессоренных частей) относятся все оставшиеся сборочные единицы и детали: колеса в сборе, ведущие мосты в сборе, балки управляемых мостов, ступичные узлы колес, колесные тормозные механизмы.» [20]

Недрессоренная масса имеет очень большое значение для автомобиля. Чем она меньше, тем меньше передаваемое на кузов усилие – колебания, вибрации, возникающие при наезде на любую неровность дорожного покрытия. По этой причине автопроизводители по всему миру усиленно работают над уменьшением неподрессоренной массы путем использования в процессе изготовления узлов и агрегатов прочных, но в то же время легких материалов.

В данном подразделе будет рассчитана неподрессоренная масса задней подвески автомобиля класса С, аналогом которой выступит Volkswagen Tiguan. Массы деталей, представленные в таблице 13, получены на АО «АвтоВАЗ» в ходе прохождения Преддипломной практики в 9 семестре. Также на практике получены коэффициенты распределение неподрессоренной массы детали задней независимой подвески по стандартам Renault.

$$M = m \cdot k \cdot n, \quad (39)$$

где  $M$  – неподрессоренная масса;

$m$  – масса детали;

$k$  – коэффициент неподрессоренной массы детали или узла;

$n$  – количество деталей на ось.

Таблица 13 – Расчет неподрессоренной массы задней подвески

Наименование детали	Масса, кг	Количество на ось	Коэффициент неподрессоренной массы	Неподрессоренная масса, кг
Шина 235/45 R18	12	2	1	24
Колесо	11,1	2	1	22,2
Вентиль	0,012	2	1	0,024
Крепление колеса	0,05	10	1	0,5
Балансировочные грузы	0,03	4	1	0,12
Колпак колеса	0,015	2	1	0,03
Кулак	6,85	2	1	13,7
Ступичный подшипник	2,87	2	1	5,73
Тормозной диск	4,65	2	1	9,29
Кожух тормозного диска	0,32	2	1	0,64
Крепление кожуха	0,04	8	1	0,32
Задний тормоз	3,6	2	1	7,2
Тормозные шланги	0,073	2	0,5	0,073
Продольный рычаг	1,61	2	0,5	1,61
Поперечный верхний рычаг	1,28	2	0,5	1,28
Корректирующая тяга	0,57	2	0,5	0,57
Поперечный нижний рычаг	2,35	2	0,5	2,35
Шарниры	0,09	6	1	0,54
Крепление рычагов подвески	0,17	10	1	1,7
Штанга стабилизатора	2,89	1	0,17	0,49
Стойка стабилизатора	0,15	2	1	0,3
Амортизатор (без штока)	1,81	2	0,9	3,27
Пружина	2,12	2	0,5	2,12
Прокладка пружины	0,07	2	1	0,14
Вал и гайка привода трансмиссии	2,57	2	0,5	2,57
ШРУС	2,26	2	1	4,52
Неподрессоренная масса задней подвески				105,3

Неподдрессоренная масса задней подвески автомобиля составила 105,3 килограмм, что является удовлетворительным результатом для полноприводного автомобиля с независимой подвеской. К примеру, неподдрессоренная масса задней подвески автомобиля Lada Niva Travel равна 117 килограмм, а автомобиля Lada Vesta 76.

### **3.2. Расчет цилиндрической пружины подвески**

Пружина подвески — это упругий элемент, который используется для амортизации ударов и вибраций, которые возникают при движении автомобиля. Пружина подвески позволяет обеспечить комфортное и плавное движение автомобиля, а также управляемость и устойчивость на дороге. Она располагается между кузовом автомобиля и осью колеса, а ее основной задачей является поддержание определенного уровня нагрузки на колеса и обеспечение их постоянного контакта с дорогой.

Пружины сложной формы с модификацией материала рассчитываются с использованием метода конечных элементов. Глобальные поставщики обычно владеют этими методами, но автопроизводитель может использовать упрощенные методы для оценки физической выполнимости пружины в условиях компоновочных ограничений и условий нагружения.

В простейшем случае пружина имеет цилиндрическую форму, с постоянным шагом между витками и постоянным диаметром прутка. Для такой пружины все зависимости между деформацией, напряжениями и усилиями выведены в аналитической форме.

Однако значительно чаще в настоящее время применяются фасонные пружины с переменным диаметром, диаметром прутка и шагом. В этом случае пружина может рассматриваться как составная конструкция из множества «элементарных» цилиндрических пружин количество рабочих витков может

быть дробным. Общая податливость такой составной пружины равна сумме податливостей элементарных пружин.

Расчет каждой «элементарной» цилиндрической пружины ведется по стандартным формулам. При расчете характеристик фасонной или составной пружины необходимо принимать во внимание выключение из работы смыкающихся витков. Такой подход может быть использован для грубой оценки пружин, но вряд ли может быть рекомендован для проектирования новых пружин.

Нижняя опорная чашка пружины обычно применяется большего диаметра, хотя опорный виток может иметь малый диаметр. Такой размер нужен для улавливания пружины в случае поломки опорного витка.

Основные требования к пружине:

1. Геометрические размеры – габаритные, присоединительные, форма и длина при определенной нагрузке;

2. Жесткость пружины;

3. Минимальный межвитковый зазор в положении полного хода сжатия подвески;

4. Прочность пружины статическая и долговечность под воздействием эксплуатационных нагрузок. Оценивается обычно стендовыми испытаниями – циклическое нагружение, несколько сотен тысяч циклов, отсутствие поломки и уменьшение длины пружины в допусках;

5. Коррозионная стойкость и связанная с этим долговечность пружины. Оценивается обычно циклическими испытаниями после испытаний на коррозионную стойкость покрытия;

6. Минимальный вес пружины;

7. Минимальная стоимость пружины с предъявленными техническими требованиями.

Существует две основные технологии производства пружин – методами холодной и горячей навивки. От применяемой технологии производства

пружины зависят возможности обеспечения формы (геометрии пружины), а также возможности применения материалов.

Для пружин холодной навивки обычно используется сталь 54SiCr6 или аналог, но для повышения физико-математических свойств могут добавляться дополнительные легирующие элементы.

Исходные данные для расчета пружины:

1. Статическая нагрузка на пружину  $P_1$  - 5119 Н;
2. Модуль сдвига материала пружины  $G$  - 78000 Мпа;
3. Внутренний диаметр пружины  $D_{вн}$  - 92,2 мм;
4. Диаметр прутка  $d_{пр}$  - 14 мм;
5. Рабочее число витков  $n$  - 5;
6. Полное число витков  $n_1$  - 6;
7. Длина пружины при конструктивной нагрузке  $L_1$  - 198 мм;
8. Длина пружины при полном сжатии подвески  $L_2$  - 131,6 мм.

Внутренний диаметр и диаметр прутка пружины были сохранены, как у автомобиля Lada Vesta SW Cross, чтобы добиться унификации с прокладками пружин данного автомобиля. Другие данные были получены с помощью 3D макета задней подвески (из компоновочных соображений).

Для начала определим средний диаметр пружины:

$$D_{ср} = D_{вн} + d_{пр} \quad (40)$$

$$D_{ср} = 92,2 + 14 = 106,2 \text{ мм}$$

Жесткость пружины рассчитывается следующим образом:

$$C_{пр} = \frac{G * d_{пр}^4}{8 * n * D_{ср}^3} \quad (41)$$

$$C_{\text{пр}} = \frac{78000 \cdot 14^4}{8 \cdot 5 \cdot (106,2)^3} = 62,5 \frac{\text{Н}}{\text{мм}}$$

Статический прогиб пружины определяется по формуле 42:

$$f_{\text{ст}} = \frac{P_1}{C_{\text{пр}}} \quad (42)$$

$$f_{\text{ст}} = \frac{5119}{62,5} = 81,9 \text{ мм}$$

Длина пружины в свободном состоянии:

$$L_0 = L_1 + f_{\text{ст}} \quad (43)$$

$$L_0 = 198 + 81,9 = 279,9 \text{ мм}$$

Длина пружины, сжатой до соприкосновения витков:

$$L_3 = (n_1 + 1) \cdot d_{\text{пр}} + (n_1 + 1) \cdot K_1 + d_{\text{пр}} \cdot K_2, \quad (44)$$

«где  $K_1$  – коэффициент, учитывающий толщину покрытия и допуск на диаметр прутка;

$K_2$  – коэффициент, учитывающий допуск на длину концевых (опорных) витков. » [25]

Примем, что  $K_1$  и  $K_2$  равны 0,05 и рассчитаем третью контрольную длину:

$$L_3 = (6 + 1) \cdot 14 + (6 + 1) \cdot 0,05 + 14 \cdot 0,05 = 99,05 \text{ мм}$$

Одним из важных параметров пружины является межвитковый зазор. Обычно допускаемый межвитковый зазор в пружине при полном ходе сжатия подвески должен быть не менее 3 мм. Зазор определяется следующим образом:

$$\delta = \frac{L_2 - L_3}{n} \quad (45)$$

$$\delta = \frac{131,6 - 99,05}{5} = 6,51 \text{ мм}$$

Межвитковый зазор пружины составил 6,51 мм, что удовлетворяет условию, описанному ранее.

Нагрузка пружины при полном динамическом ходе:

$$P_2 = (L_0 - L_2) \cdot C_{\text{пр}} \quad (46)$$

$$P_2 = (279,9 - 131,6) \cdot 62,5 = 9269 \text{ Н}$$

Нагрузка пружины, сжатой до соприкосновения витков:

$$P_3 = (L_0 - L_3) \cdot C_{\text{пр}} \quad (47)$$

$$P_3 = (279,9 - 99,05) \cdot 62,5 = 11303 \text{ Н}$$

«Определим напряжения сдвига на внутренней поверхности витка пружины (суммарные касательные напряжения от кручения и поперечной силы):» [5]

$$\tau_1 = \frac{8 \cdot k \cdot D_{\text{ср}}}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^3} \cdot P_1 \quad (48)$$

$$\tau_2 = \frac{8 \cdot k \cdot D_{\text{ср}}}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^3} \cdot P_2 \quad (49)$$

$$\tau_3 = \frac{8 \cdot k \cdot D_{\text{ср}}}{\pi \cdot d_{\text{пр}}^3} \cdot P_3 \quad (50)$$

где  $k$  – коэффициент формы пружины, учитывающий концентрацию напряжений на внутренней поверхности витка от кривизны прутка и действия поперечной силы. Определяется в зависимости от:

$$W = \frac{D_{\text{ср}}}{d_{\text{пр}}} \quad (51)$$

$$k = \frac{W + 0,5}{W - 0,75} \quad (52)$$

$$W = \frac{106,2}{14} = 7,586$$

$$k = \frac{7,586 + 0,5}{7,586 - 0,75} = 1,183$$

$$\tau_1 = \frac{8 \cdot 1,183 \cdot 106,2}{3,14 \cdot 14^3} \cdot 5119 = 597 \text{ мПа}$$

$$\tau_2 = \frac{8 \cdot 1,183 \cdot 106,2}{3,14 \cdot 14^3} \cdot 9269 = 1081 \text{ мПа}$$

$$\tau_2 = \frac{8 \cdot 1,183 \cdot 106,2}{3,14 \cdot 14^3} \cdot 11303 = 1318 \text{ мПа}$$

Предельное допускаемое расчетное напряжение 900 мПа – для технологии горячей навивки при полном сжатии подвески. Для пружин холодной навивки достигает 1200 мПа и выше. Поэтому расчетный вариант пружин следует навивать методом холодной навивки.

После расчета параметров пружины рассчитываются параметры технологические, которые вносятся в чертеж. Одним из таких параметров является податливость пружины:

$$S = \frac{1}{C_{\text{пр}}} \quad (53)$$

$$S = \frac{1}{62,5} = 0,016$$

Также рассчитывается длина прутка:

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{(n \cdot \pi \cdot D_{\text{ср}})^2 + L_0^2 + (n_1 - n) \cdot D_{\text{ср}} \cdot \pi} \quad (54)$$

$$l_{\text{пр}} = \sqrt{(5 \cdot 3,14 \cdot 106,2)^2 + (279,9)^2 + (6 - 5) \cdot 106,2 \cdot 3,14} = 1690,8 \text{ мм}$$

$$= 1,69 \text{ м}$$

Масса пружины определяется следующим образом:

$$m = \frac{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2}{4} l_{\text{пр}} \cdot \rho; \quad (55)$$

где  $\rho$  – плотность применяемой стали.

$$m = \frac{3,14 \cdot (0,014)^2}{4} \cdot 1,69 \cdot 7850 = 2,04 \text{ кг}$$

Масса пружины составила 2,04 килограмм.

### **3.3 Конструирование и расчет ступичного узла**

Ступичные узлы бывают 0, 1, 2, 3, 4 поколений. Узел 0 поколения включает в себя ступицу и два роликовых конических подшипника. Пример такого узла – передний узел автомобиля ВАЗ 2101-07.

В подшипниках 1-4 поколений применяются двухрядные шариковые или роликовые подшипники. Монтаж этих подшипников может быть разным. Запрессовка внутренних и наружных колец характерна для подшипников первого поколения. Подшипники 2 поколения отличаются тем, что одно из колец одновременно является ступицей или частью поворотного кулака. У подшипника 3 поколения и внутреннее, и наружное кольцо являются одновременно ступицей и частью кулака. Подшипник 4 поколения – это подшипник, у которого частью кольца является корпус ШРУС.

Если применяется поворотный кулак из алюминия, то подшипник к такому кулаку присоединен болтами. То есть подшипники 1 поколения в таких случаях не применяются.

Валидация ступичного узла включает испытания при воздействии грязесолевого раствора. При этом ступичный узел нагружается внешней нагрузкой, и ступица вращается определенное количество циклов. Такое испытание может включать периодическое охлаждение узла для имитации зимних условий эксплуатации автомобиля.

«Ступица выполняет набор функций. Исполнение этих функций обеспечивается ее геометрией и применяемым материалом. Функция передачи крутящего момента для ступицы ведущего колеса обеспечивается за счет шлицевого соединения ступицы с хвостовиком ШРУС. В мире применяется несколько различных вариантов шлиц. На автомобилях Lada используются так называемые американские шлицы с эвольвентным профилем и углом профиля

45 градусов. На автомобиле Lada Granta – 22 шлица, Lada Vesta, Largus - 23 шлица, Lada Niva – 24 шлица. Количество шлиц зависит в первую очередь от величины передаваемого крутящего момента. Допуски на шлицы на хвостовике ШРУС и на ступице таковы, чтобы обеспечивать минимальный окружной зазор в соединении, иначе возможно появление щелчков при передаче крутящего момента.» [6]



Рисунок 8 – ступичные узлы различных поколений

Максимальный ресурс подшипника обеспечивается при наличии преднатяга в подшипнике. В узлах первого поколения преднатяг обеспечивается отчасти за счет запрессовки наружного и внутренних колец, а отчасти затяжкой ступичной гайки. В состоянии поставки (до установки в узел) подшипники имеют зазор. Поэтому допуски на диаметры колец и диаметры поверхностей сопрягаемых деталей тщательно выбираются, чтобы гарантировать работу узла с преднатягом, одновременно не допуская

чрезмерного натяга. В современных узлах третьего поколения преднатяг обеспечивается производителем подшипника.

Расчет ресурса ступичного подшипника, как и любого другого, основан на анализе контактных напряжений, действующих на шарик.

«Основные геометрические параметры подшипника 3 поколения:

1. Диаметр шарика  $D_w$  – 11,9062 мм;
2. Диаметр окружности центров шариков подшипника  $D_{pw}$  – 60,05 мм;
3. Расстояние между рядами шариков подшипника  $L_p$  – 22,32 мм;
4. Угол контакта  $\alpha$  – 35 град;
5. Количество шариков в одном ряду  $N_w$  – 16.» [6]

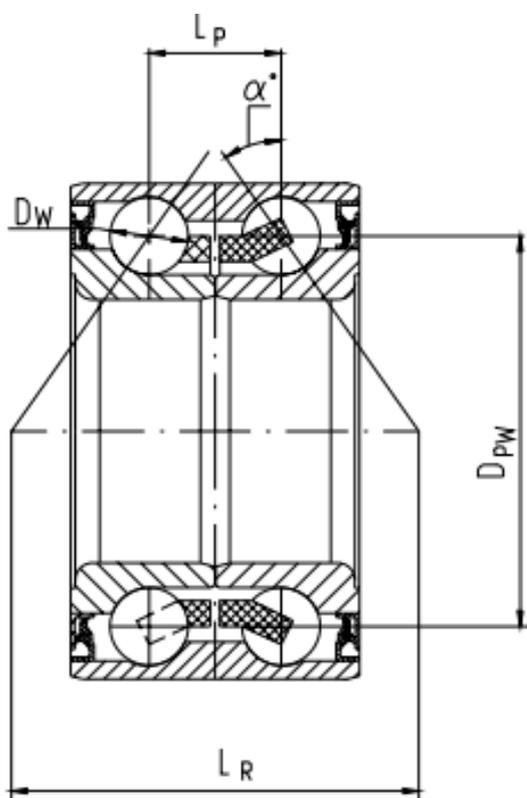


Рисунок 9 – геометрические параметры подшипника

Рассчитаем опорную базу подшипника:

$$L_r = L_p + D_{pw} \cdot \tan \alpha \quad (56)$$

$$L_r = 22,32 + 60,05 \cdot 0,7 = 64,35 \text{ мм}$$

«В случае, если в документации на подшипник не приводится значение его статической грузоподъемности, ее можно определить по формуле:

$$C_o = 12,3 \cdot i \cdot N_w \cdot D_w^2 \cdot \cos \alpha, \quad (57)$$

где  $i = 2$  – число рядов шариков подшипника.

$$C_o = 12,3 \cdot 2 \cdot 16 \cdot (11,9062)^2 \cdot 0,82 = 45705 \text{ Н}$$

В случае, если в документации на подшипник не приводится значение его динамической грузоподъемности, ее можно определить по формуле:

$$C_D = f_c \cdot (2 \cos \alpha)^{0,7} \cdot N_w^{\frac{2}{3}} \cdot D_w^{1,8}, \quad (58)$$

где  $f_c$  – коэффициент, зависящий от геометрии деталей подшипника, точности их изготовления и материала.

Числовые значения коэффициента  $f_c$  в зависимости от соотношения  $D_w \cos \alpha / D_{pw}$  приведены в таблице 14. Для промежуточных значений соотношения коэффициент  $f_c$  может быть определен с использованием линейной интерполяции.» [6]

Таблица 14 – Числовые значения коэффициента  $f_c$

$D_w \cos \alpha / D_{pw}$	Коэффициент $f_c$
0,05	46,7
0,06	49,1
0,07	51,1
0,08	52,8
0,09	54,3
0,10	55,5
0,12	57,5
0,14	58,8
0,16	59,6
0,18	59,9
0,20	59,9

Рассчитываемый ступичный подшипник имеет коэффициент  $f_c$  равный 59,64.

$$C_D = 59,64 \cdot (2 \cdot 0,82)^{0,7} \cdot (16)^{\frac{2}{3}} \cdot (11,9062)^{1,8} = 46210 \text{ Н}$$

Для одного ряда подшипника:

$$C_{D1} = f_c \cdot (\cos \alpha)^{0,7} \cdot N_W^{\frac{2}{3}} \cdot D_W^{1,8} \quad (59)$$

$$C_{D1} = 59,64 \cdot (0,82)^{0,7} \cdot (16)^{\frac{2}{3}} \cdot (11,9062)^{1,8} = 28467 \text{ Н}$$

«Расчетный 90-процентный ресурс подшипника LS90, выраженный в километрах пробега автомобиля, определяется для наиболее нагруженного ряда шариков подшипника по формуле:

$$L_{S90} = \left( \frac{C_{D1}}{R \cdot K_{\sigma}} \right)^3 \cdot 2000 \cdot \pi \cdot r_k, \quad (60)$$

где  $K_{\sigma}$  – коэффициент безопасности (в данном расчете следует принимать  $K_{\sigma}=1,4$ );

$R$  – эквивалентная динамическая нагрузка самого нагруженного ряда подшипника, Н;

$r_k$  – радиус колеса, м;

$C_{D1}$  – динамическая грузоподъемность одного ряда шариков подшипника. » [6]

Расчетный ресурс подшипника определен по учебному пособию В.Н. Латы «Расчет двухрядного радиально-упорного шарикоподшипника передней ступицы переднеприводного автомобиля» и составил 223 тысячи километров. Средний ресурс современного ступичного подшипника составляет около 150 тысяч километров. Полученный расчетный ресурс можно считать удовлетворительным. Но также стоит учесть, что срок службы подшипника может варьироваться от нескольких тысяч до десятков тысяч километров в зависимости от условий эксплуатации.

Подробный расчет ресурса подшипника вынесен в приложение.

## **4. Технологический раздел**

### **4.1 Основные положения построения технологической схемы сборки**

«Технологический процесс сборки – это совокупность операций по соединению деталей в определенной технической и экономически целесообразной последовательности для получения сборочных единиц (узлов) и изделий, соответствующих предъявляемым к ним требованиям. Различают процессы узловой и общей сборки. Объектом узловой сборки является сборочная единица – самостоятельная часть машины или устройства, которая выполняет определенную функцию в машине и может транспортироваться либо для установки в машину, либо для реализации потребителям. Машина как изделие разбирается на сборочные единицы 1-го порядка и отдельные детали. Сборочные единицы 1-го порядка разбираются на сборочные единицы 2-го порядка и отдельные детали. Сборочные единицы наибольшего ( $n - 1$ )-го порядка разбираются только на детали. Деталь изготовлена из однородного по наименованию и марке материала без применения сборочных операций. Объектом общей сборки является машина в целом. Сборочная операция – это часть технологического процесса сборки по соединению деталей, выполняемая на одном рабочем месте одним рабочим или бригадой. Сборочная операция состоит из переходов (часть операции по получению одного вида соединения одним инструментом) и позиций или установок (часть операции, выполняемая при неизменном положении объекта сборки).» [5]

«Процесс сборки имеет важное значение для обеспечения качества машины и эффективности производства, так как он завершает процесс изготовления машины. В то же время с разработки технологического процесса сборки обычно начинают технологическую подготовку производства, так как при формировании процесса сборки уточняют требования к конструкции

изделия, точности его элементов, технические условия, предъявляемые к их взаимодействию. К исходным данным для проектирования технологических процессов сборки относят сборочный чертеж изделия (сборочной единицы), технические условия его (ее) приемки, программу и период выпуска изделия. К основным этапам разработки технологических процессов сборки относят: анализ исходных данных; расчет такта сборки, определение типа производства и организационной формы сборки; отработка конструкции изделия с точки зрения ее сборочной технологичности; проведение размерного анализа конструкции изделия, выбор баз и рациональных методов сборки; разработка технологической схемы и маршрута сборки; формирование технологических операций; нормирование технологического процесса сборки.» [7]

#### **4.2 Обоснование выбора технологического процесса**

«Выбор технологического процесса сборки зависит от различных факторов, таких как тип изделия, его размеры, количество производимой продукции, требования к качеству и степени автоматизации процесса.

Одним из основных факторов является тип изделия. Например, для изделий, требующих высокой точности и мелких деталей, лучше использовать автоматизированный технологический процесс, чтобы уменьшить ошибки человеческого фактора и обеспечить повышенную точность.

Кроме того, размеры изделия могут определять, какой технологический процесс выбрать. Для производства больших изделий может потребоваться использование кранов и других тяжелых механизмов, а для мелких изделий могут использоваться автоматические линии сборки.

Ввиду того, что задняя независимая подвеска для легкового автомобиля класса С будет устанавливаться на новые перспективные модели АО «АвтоВАЗ», сборку можно осуществлять методом массовой сборки.» [5]

«Рассчитаем такт выпуска по формуле:

$$T_B = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (61)$$

где  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену;

$m$  – количество рабочих смен в сутки;

$N$  – годовой объем выпуска автомобилей.

$$T_d = \frac{1972 \cdot 60 \cdot 2}{65000} = 3,64 \text{ мин}$$

Далее составляем технологическую схему сборки.

Технологическая схема сборки – это графическое представление последовательности операций, необходимых для производства конечного продукта. Она описывает порядок выполнения всех этапов производства, начиная с получения исходных материалов и заканчивая готовым изделием.

Перечень сборочных работ узловой и общей сборки задней независимой подвески для легкового автомобиля класса представлен в таблице 15.» [7]

Таблица 15 – Перечень сборочных работ

№ опер.	Содержание основных и вспомогательных переходов	Операционное время, мин
1	2	3
1. Узловая сборка задней подвески		
1	Проверить наличие и соответствие сертификата на таре с деталями.	0,15
2	Взять подрамник из контейнера.	0,3
3	Осмотреть подрамник на наличие повреждений и дефектов.	0,5
4	Установить подрамник на сборочный кондуктор.	0,15
5	Взять нижний поперечный рычаг и осмотреть его на наличие повреждений и дефектов.	0,35

Продолжение таблицы 13

6	Установить нижний поперечный рычаг в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи эксцентрикового болта М12×1,5; шайбы; гайки М12.	0,75
7	Взять верхний поперечный рычаг и осмотреть его на наличие повреждений и дефектов.	0,25
8	Установить верхний поперечный рычаг в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи эксцентрикового болта М12×1,5; шайбы; гайки М12.	0,5
9	Взять корректирующую тягу и осмотреть ее на наличие повреждений и дефектов.	0,25
10	Установить корректирующую тягу в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи болта М12×1,5; гайки М12.	0,5
11	Взять угловой модуль в сборе и осмотреть его на наличие дефектов и повреждений.	0,5
12	Установить угловой модуль на сборочный кондуктор и зафиксировать на кулаке нижний поперечный рычаг, верхний поперечный рычаг, корректирующую тягу болтами, гайками и шайбами.	1,75
13	Взять стойку стабилизатора поперечной устойчивости и осмотреть ее на наличие дефектов и повреждений.	0,15
14	Закрепить стойку стабилизатора на кулаке с помощью гайки М10.	0,5
15	Взять стабилизатор поперечной устойчивости в сборе и осмотреть его на наличие дефектов и повреждений.	0,25
16	Закрепить стабилизатор на подрамнике и на стойке стабилизатора.	1
17	Взять продольный рычаг с кронштейном в сборе и осмотреть его на наличие дефектов и повреждений.	0,15
18	Закрепить продольный рычаг на кулаке.	0,5
19	Перенести собранный узел на основной конвейер.	1
Итого:		9,5
2. Монтаж задней подвески на кузове		

Продолжение таблицы 13

1	Закрепить подрамник задней подвески на кузове автомобиля.	1
2	Закрепить амортизатор на нижнем поперечном рычаге болтом М14×1,5.	0,5
3	Закрепить кронштейн продольного рычага на кузове автомобиля.	1
4	Проверить качество выполненных операций.	1
Итого:		3,5
Всего $\Sigma t_{оп}$		13,0

«Общее оперативное время на все виды работ по сборке задней независимой подвески определяется, как сумма отдельных оперативных времен:

$$t_{оп}^{ОБЩ} = \Sigma t_{оп} = 9,5 + 3,5 = 13,0 \text{ мин} \quad (62)$$

Суммарная трудоемкость сборки задней независимой точки:

$$t_{шт}^{ОБЩ} = t_{оп}^{ОБЩ} + t_{оп}^{ОБЩ} \cdot \left( \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (63)$$

где  $\alpha$  - часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 2%;

$\beta$  – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 4%.» [5]

$$t_{шт}^{ОБЩ} = 13 + 13 \cdot \left( \frac{2 + 4}{100} \right) = 13,78 \text{ мин}$$

### 4.3 Составление маршрутной технологии

Технологический маршрут процесса сборки задней независимой подвески представлен в таблице 16.

Таблица 16 – Технологическая карта

№ опер	Наименование операции	Содержание операций, переходов	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин
1	2	3	4	5
005	Узловая сборка задней подвески	<p>Проверить наличие и соответствие сертификата на таре с деталями.</p> <p>Взять подрамник из контейнера.</p> <p>Осмотреть подрамник на наличие повреждений и дефектов.</p> <p>Установить подрамник на сборочный кондуктор.</p> <p>Взять нижний поперечный рычаг и осмотреть его на наличие повреждений и дефектов.</p> <p>Установить нижний поперечный рычаг в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи эксцентрикового болта М12×1,5; шайбы; гайки М12.</p> <p>Взять верхний поперечный рычаг и осмотреть его на наличие повреждений и дефектов.</p> <p>Установить верхний поперечный рычаг в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи эксцентрикового болта М12×1,5; шайбы; гайки М12.</p> <p>Взять корректирующую тягу и осмотреть ее на наличие повреждений и дефектов.</p> <p>Установить корректирующую тягу в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи болта М12×1,5; гайки М12.</p> <p>Взять угловой модуль в сборе и осмотреть его на наличие дефектов и повреждений.</p> <p>Установить угловой модуль на сборочный кондуктор и зафиксировать на кулаке нижний поперечный рычаг, верхний поперечный рычаг, корректирующую тягу болтами, гайками и шайбами.</p> <p>Взять стойку стабилизатора поперечной устойчивости и осмотреть ее на наличие дефектов и повреждений.</p> <p>Закрепить стойку стабилизатора на кулаке с помощью гайки М10.</p> <p>Взять стабилизатор поперечной устойчивости в сборе и осмотреть его на наличие дефектов и повреждений.</p> <p>Закрепить стабилизатор на подрамнике и на стойке стабилизатора.</p> <p>Взять продольный рычаг с кронштейном в сборе и осмотреть его на наличие дефектов и повреждений.</p> <p>Закрепить продольный рычаг на кулаке.</p> <p>Перенести собранный узел на основной конвейер.</p>	<p>Набор ключей (торцевые, рожковые, комбинированные); отвертки (плоские и крестообразные); гаечные ключи; моментный ключ; ударная отвертка или гайковерт; устройство для настройки гайковерта; уровень для проверки горизонтального положения; ящики для инструментов и деталей; тележка для инструментов; техническая документация; средства индивидуальной защиты.</p>	9,50

## Продолжение таблицы 16

010	Монтаж задней подвески на кузове	<p>Закрепить подрамник задней подвески на кузове автомобиля.</p> <p>Закрепить амортизатор на нижнем поперечном рычаге болтом М14×1,5.</p> <p>Закрепить кронштейн продольного рычага на кузове автомобиля.</p> <p>Проверить качество выполненных операций.</p>	<p>Грузонесущий подвесной конвейер;</p> <p>набор ключей (торцевые, рожковые, комбинированные);</p> <p>отвертки (плоские и крестообразные);</p> <p>гаечные ключи;</p> <p>моментный ключ;</p> <p>ударная отвертка или гайковерт;</p> <p>устройство для настройки гайковерта;</p> <p>уровень для проверки горизонтального положения;</p> <p>ящики для инструментов и деталей;</p> <p>тележка для инструментов;</p> <p>техническая документация;</p> <p>средства индивидуальной защиты.</p>	3,50
-----	----------------------------------	---	---	------

Технологическая схема сборки задней независимой подвески представлена в графической части ВКР.

### Выводы по разделу

«В разделе выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, спроектирован технологический процесс сборки задней независимой подвески легкового автомобиля класса С, представленный в графической части ВКР.» [3]

## **5. Безопасность и экологичность объекта**

### **5.1 Опасные и вредные производственные факторы**

В современном производственном процессе конвейерные системы играют ключевую роль, обеспечивая высокую скорость и эффективность сборки продукции. Однако, несмотря на их неоспоримые преимущества, работа на сборочном конвейере сопряжена с рядом рисков, которые могут представлять угрозу для здоровья и безопасности работников.

«Вредные производственные факторы (ВПФ) – факторы, приводящие к заболеванию, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания.

Опасные производственные факторы (ОПФ) – факторы, приводящие к травме, в том числе смертельной.» [8]

При сборке задней независимой подвески рабочие могут столкнуться с рядом вредных производственных факторов, которые могут негативно сказаться на их здоровье и безопасности. Некоторые из них включают:

**Шум:** в процессе сборки используются различные механизмы и инструменты, которые могут создавать высокий уровень шума, что может привести к повреждению слуха.

**Вибрация:** длительное воздействие на руки и тело вибрации от инструментов и оборудования также может вызвать профессиональные заболевания, такие как синдром вибрационной болезни.

**Пыль и химические вещества:** во время работы могут образовываться пыль и пары от масел, смазок и других химических веществ, что может вызывать респираторные заболевания и аллергические реакции.

**Некорректные позы и нагрузки:** сборка подвески требует выполнения различных манипуляций, которые могут привести к мышечно-скелетным расстройствам, если рабочие не соблюдают правильные рабочие позы.

Температурные условия: работа в условиях высокой температуры (например, в жарком цехе) или низкой температуры (например, на открытом воздухе в зимний период) может негативно сказаться на здоровье.

Риск травматизма: использование тяжелых деталей и инструментов, работа с механическим оборудованием увеличивает риск получения травм, связанных с падением объектов, ударами или порезами.

Электромагнитные поля: если используются электрические инструменты, могут возникать электромагнитные поля, которые также могут иметь негативное воздействие на здоровье.

Для минимизации воздействия этих факторов необходимо соблюдать правила охраны труда, использовать средства индивидуальной защиты и проводить обучение по технике безопасности.

## **5.2 Средства индивидуальной защиты**

«Средства индивидуальной защиты (СИЗ) – это изделия, предохраняющие человека от воздействия неблагоприятных, вредных и опасных поражающих факторов.

На сборочных конвейерах работники подвергаются различным рискам, связанным с механическими, химическими, физическими и биологическими факторами. Для обеспечения безопасности на таком производстве используются различные средства индивидуальной защиты.» [8] Вот основные из них:

Защитные каски – защита головы от падения предметов, ударов и других механических воздействий.

Защитные очки – предохраняют глаза от пыли, металлических осколков, химических брызг и ультрафиолетового излучения.

Наушники или противошумные вкладыши – защита слуха от вредного уровня шума на производстве.

Перчатки – различные типы перчаток, в зависимости от характера работы (защита от механических повреждений, химических веществ, высоких или низких температур).

«Защитная одежда – специальные комбинезоны или куртки, защищающие от механических, химических, термических или электрических воздействий.» [8]

Специальная обувь – защита ног от механических повреждений (например, обувь с металлическим носком), скользкости и воздействия химических веществ.

Сигнальные жилеты – повышенная видимость, особенно в ситуациях с движущимися транспортными средствами на территории завода.

Важно отметить, что выбор конкретных средств индивидуальной защиты зависит от характера выполняемых работ и потенциальных рисков на конкретном производственном участке. Работодатели обязаны провести оценку рисков и обеспечить работников необходимыми СИЗ. Сегодня на ВАЗе в номенклатуре более 200 наименований СИЗ.

### **5.3 Идентификация профессиональных рисков**

«Важным аспектом является необходимость идентификации риска в организации, чтобы поддерживать или улучшать правильное и всестороннее определение эффективности охраны труда.

Для этого необходимо провести следующие шаги:

Идентификация опасностей: определение всех потенциальных и реальных опасностей, которые могут быть причиной профессиональных рисков. Это может включать физические, химические, биологические, психологические и эргономические опасности.

Оценка риска: определение вероятности возникновения негативных событий, связанных с опасностями, и их потенциальных последствий на здоровье и безопасность работников.

Управление рисками: разработка и внедрение мер по уменьшению и контролю рисков, включая обучение сотрудников, использование персональных защитных средств, технические улучшения, проведение аудитов.

Мониторинг и анализ: регулярное проведение анализа профессиональных рисков, оценка эффективности принятых мер по управлению рисками и корректировка стратегии при необходимости.

Идентификация профессиональных рисков позволит организации эффективно управлять ими, минимизировать потенциальные угрозы для здоровья и безопасности работников и обеспечить бесперебойное функционирование.

Таблица 17 содержит результаты идентификации профессиональных рисков сборки задней независимой подвески.» [8]

Таблица 17 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Профессия	Группа ОВПФ по ГОСТ 12.0.003-2015	Наименование ОВПФ	Источник ОВПФ	Воздействие ОВПФ на человека
Слесарь механосборочных работ	Факторы, обладающие свойствами физического воздействия	опасные и вредные производственные факторы, связанные с силами и энергией механического движения	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей автомобиля	Порезы, раны, ушибы, травмы, инфицированные раны
		опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей	Инструмент в зоне проведения сборки автомобиля	Вибрационная болезнь

Продолжение таблицы 17

		опасные и вредные производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий	Инструмент в зоне проведения сборки автомобиля	Поражение электрическим током
		Опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума	Рабочее пространство	Нарушения периферического кровообращения; повышение артериального давления
Факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия		Статические перегрузки, связанные с рабочей позой	Нахождение в неудобном положении во время рабочей смены	Нарушения деятельности нервной системы
		Перенапряжение анализаторов	Повышенное число объектов одновременного наблюдения	
		Монотонность труда	Выполнение должностных обязанностей	

#### 5.4 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Обучение по охране труда и проверка знаний требований охраны труда работников организаций проводятся для обеспечения профилактических мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний.

Одновременно с обучением по охране труда и проверкой знаний требований охраны труда могут проводиться обучение и аттестация

работников организаций по другим направлениям безопасности труда, устраиваемые органами государственного надзора и контроля и федеральными органами исполнительной власти в порядке, утверждаемом ими по согласованию с Министерством труда и социального развития Российской Федерации.

Обучению по охране труда и проверке знаний требований охраны труда подлежат все работники организации, в том числе ее руководитель.

Ответственность за организацию и своевременность обучения по охране труда и проверку знаний требований охраны труда работников организаций несет работодатель в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Для всех принимаемых на работу лиц, а также для работников, переводимых на другую работу, работодатель (или уполномоченное им лицо) обязан проводить инструктаж по охране труда.

Все принимаемые на работу лица, а также командированные в организацию работники и работники сторонних организаций, выполняющие работы на выделенном участке, обучающиеся образовательных учреждений соответствующих уровней, проходящие в организации производственную практику, и другие лица, участвующие в производственной деятельности организации, проходят в установленном порядке вводный инструктаж, который проводит специалист по охране труда или работник, на которого приказом работодателя (или уполномоченного им лица) возложены эти обязанности.

Кроме вводного инструктажа по охране труда проводятся первичный инструктаж на рабочем месте, повторный, внеплановый и целевой инструктажи.

Эти инструктажи на рабочем месте проводит непосредственный руководитель (производитель) работ, прошедший в установленном порядке обучение по охране труда и проверку знаний требований охраны труда.

Проведение инструктажей по охране труда включает ознакомление работников с имеющимися опасными или вредными производственными факторами, изучение требований охраны труда, содержащихся в локальных нормативных актах организации, инструкциях по охране труда, технической, эксплуатационной документации, а также применение безопасных методов и приемов выполнения работ.

«Проведение всех видов инструктажей регистрируется в соответствующих журналах проведения инструктажей с указанием даты проведения инструктажа и подписями инструктируемого и инструктирующего.» [8]

Первичный инструктаж на рабочем месте проводится руководителями структурных подразделений организации по программам, разработанным и утвержденным в установленном порядке в соответствии с требованиями законодательных и иных нормативных правовых актов по охране труда, локальных нормативных актов организации, инструкций по охране труда, технической и эксплуатационной документации.

Повторный инструктаж проходят все работники, прошедшие первичный инструктаж, не реже одного раза в шесть месяцев по программам, разработанным для проведения первичного инструктажа на рабочем месте.

Внеплановый инструктаж проводится в следующих случаях.

1. При введении в действие новых или изменении законодательных и иных нормативных правовых актов, содержащих требования охраны труда, а также инструкций по охране труда.

2. При изменении технологических процессов, замене или модернизации оборудования, приспособлений, инструмента и других факторов, влияющих на безопасность труда.

3. При нарушении работниками требований охраны труда, если эти нарушения создали реальную угрозу наступления тяжких последствий (несчастный случай на производстве, авария и т. п.).

4. По требованию должностных лиц органов государственного надзора и контроля.

5. При перерывах в работе (для работ с вредными и (или) опасными условиями – более 30 календарных дней, а для остальных работ – более двух месяцев).

Целевой инструктаж проводится при выполнении разовых работ, ликвидации последствий аварий, стихийных бедствий и работ, на которые оформляются наряд-допуск, разрешение или другие специальные документы, а также при проведении в организации массовых мероприятий.

Конкретный порядок, условия, сроки и периодичность проведения всех видов инструктажей по охране труда работников отдельных отраслей и организаций регулируются соответствующими отраслевыми и межотраслевыми нормативными правовыми актами по безопасности и охране труда.

### **5.5 Обеспечение пожаробезопасности на производственном участке**

Пожарная безопасность объекта — это возможность предотвращения возникновения пожара и его развития на объекте, воздействия на граждан и имущество его опасных факторов.

Пожаробезопасность является важным аспектом техники безопасности, так как пожар может привести к очень серьезным последствиям: к большим экономическим убыткам, к смерти или тяжелым ожогам рабочего персонала, к потере оборудования. Именно поэтому за этой частью техники безопасности постоянно следят и существуют большие штрафы.

Для уменьшения риска возникновения пожара и эффективной борьбы с ним на предприятии предусмотрены следующие мероприятия, представленные в таблице 18:

Таблица 18 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке задней подвески

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
Обучение пожарно-техническому минимуму руководителей, специалистов и работников организаций.	Обучение пожарно-техническому минимуму руководителей, специалистов и работников организаций, не связанных с взрывопожароопасным производством, проводится в течение месяца после приема на работу и с последующей периодичностью не реже одного раза в три года после последнего обучения.
Обеспечение наличия табличек с номером телефона для вызова пожарной охраны на объектах организации.	В складских, производственных, административных и общественных помещениях, местах открытого хранения веществ и материалов, а также размещения технологических установок руководитель организации обеспечивает наличие табличек с номером телефона для вызова пожарной охраны.
Обеспечение наличия планов эвакуации людей при пожаре.	На объекте с массовым пребыванием людей, руководитель организации обеспечивает наличие планов эвакуации людей при пожаре. На плане эвакуации людей при пожаре обозначаются места хранения первичных средств пожаротушения.
Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности.	Любое приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия.
Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения.	Эвакуационные маршруты в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей.
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения.	Использование неисправных средств пожаротушения и средств с истекшим сроком действия запрещено.
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности.	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности.

## 5.6 Обеспечение экологической безопасности

Так как задняя независимая подвеска будет собираться на производственных мощностях АО «АВТОВАЗ», рассмотрим обеспечение экологической безопасности на данном предприятии. В 2024 году АО «АВТОВАЗ» подтвердил соответствие международному стандарту ISO 14001.

ISO 14001 — это инструмент, который позволяет контролировать экологическое воздействие фирмы на окружающую среду, при необходимости сокращая его до минимума. Основная задача — способствовать охране

окружающей среды и предотвращению её загрязнения в балансе с удовлетворением социально-экономических потребностей (получении прибыли).

В ходе аудита был отмечен высокий уровень культуры производства и постоянное стремление улучшать производственные и логистические процессы с целью уменьшения их воздействия на окружающую среду.

Мероприятия, по улучшению экологической безопасности, которые были проведены за последнее время:

Повышение эффективности энергопотребления. Замена ртутьсодержащих ламп на светодиодные и замена покрытия кровли цехов на более эффективное с точки зрения снижения теплопотерь.

Повышение эффективности энергопотребления. Замена ртутьсодержащих ламп на светодиодные и замена покрытия кровли цехов на более эффективное с точки зрения снижения теплопотерь.

Снижение образования отходов 1-го класса опасности. Замена 152 советовых трансформаторов на более безопасные с экологической точки зрения.

### **Выводы по разделу**

В разделе были рассмотрены опасные и вредные производственные факторы, с которыми может столкнуться слесарь механосборочных работ при сборке подвески. Описаны используемые средства индивидуальной защиты и выработаны методы снижения профессиональных рисков. Также описан перечень мероприятий по обеспечению пожарной и экологической безопасности.

## **6. Экономическая эффективность проекта**

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

«Технико-экономическое обоснование представляет собой ключевой элемент любого проекта, в том числе и при разработке независимой задней подвески в рамках дипломной работы. Оно включает в себя исследование как технической, так и экономической целесообразности реализуемого проекта.

Объектом дипломного проектирования является инновационный узел транспортного средства, обладающий улучшенными техническими и эксплуатационными параметрами. Разрабатываемый агрегат представляет собой сложное техническое устройство, предназначенное для монтажа на транспортное средство с целью повышения комфортности, улучшения управления, устойчивости и амортизации автомобиля.» [9]

Последующая разработка данной подвески открывает широкие возможности для ее дальнейшего совершенствования и модернизации, что позволит транспортным средствам АО «АвтоВАЗ» с этим техническим решением занять более сильные позиции на рынке и повысить интерес к бренду. Техническая целесообразность разработки нового вида конструкции продиктована требованиями, предъявляемым к современным транспортным средствам. Появление автомобиля с независимой задней подвеской в модельном ряде АО «АвтоВАЗ» повысит имидж компании, сделав ее автомобили более привлекательными для покупателей.

Для достижения экономической эффективности проекта крайне важно находить гармонию между финансовыми вложениями и прогнозируемыми доходами. Не менее важно учитывать потенциальные риски и неопределенности, которые могут оказать влияние на результаты. Кроме того, регулярный мониторинг и анализ экономической эффективности в течении

всего жизненного цикла проекта помогут своевременно адаптировать стратегии и оптимизировать ресурсы. Такой комплексный подход обеспечит более устойчивые результаты и позволит минимизировать возможные потери.

## 6.2 Расчет затрат и экономической эффективности

«В рамках исследования экономической эффективности дипломного проектирования необходимо провести расчет себестоимости и расчет отпускной цены проектируемой конструкции. Расчет полной стоимости изготовления конструкции рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{пол}} = M + \Pi_{\text{и}} + Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} + CC + P_{\text{об}} + P_{\text{ох}} + P_{\text{оп}}, \quad (64)$$

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

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

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

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

$CC$  – отчисления на социальное страхование, руб.;

$P_{\text{об}}$  – расходы на обслуживание и ремонт оборудования, руб.;

$P_{\text{ох}}$  – общехозяйственные расходы, руб.;

$P_{\text{оп}}$  – общепроизводственные расходы, руб.

Проведем расчет затрат на изготовление задней независимой подвески. Расчет затрат на материалы, используемые в конструкции, представлены в таблице 19. Расчет материальных затрат выполняется по следующей формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n M_n \cdot C_n + K_3 \sum_{i=1}^n M_n \cdot C_n, \quad (65)$$

где  $M_n$  – количество материала, ед.;

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

$K_z$  – коэффициент затрат на транспортировку и доставку,  $K_z=0,1$ . » [9]

Таблица 19 – Расчет затрат на материалы

Наименование материала	Количество материала, кг	Цена единицы материала, руб.	Сумма, руб.
Серый перлитный чугун Gh190	10	85,00	850,00
Лист холоднокатаный 0,9 мм 08Ю	0,7	64,00	44,80
Чугун ВЧ45	16	105,00	1680,00
Резиновая смесь SBR60	0,15	500,00	75,00
Сталь 60С2Г	3	45,50	136,50
Итого			2786,30
Транспортно-заготовительные расходы			278,60
Всего			3064,90

«Статья, касающаяся расходов на приобретенные изделия, применяемые в изготавливаемой конструкции, вычисляется с использованием следующей формулы:

$$P_{и} = \sum_{i=1}^n P_{ин} \cdot C_n + K_z \sum_{i=1}^n P_{ин} \cdot C_n, \quad (66)$$

где  $P_{ин}$  – количество покупных изделий;

$C_n$  – цена за единицу покупного изделия, руб.;

$K_z$  – коэффициент затрат на транспортировку и доставку,  $K_z = 0,1$ . » [9]

Расчеты по затратам на закупку и доставку покупных изделий конструкции сведем в таблицу 20.

Таблица 20 – Расчет затрат на покупные изделия

Наименование покупного изделия	Количество покупных изделий	Цена за единицу, руб.	Сумма, руб.
Продольный рычаг в сборе	2	1600,00	3200,00
Поперечный верхний рычаг в сборе	2	1200,00	2400,00
Корректирующая тяга в сборе	2	900,00	1800,00
Поперечный нижний рычаг в сборе	2	3500,00	7000,00
Стойка стабилизатора	2	815,00	1630,00
Амортизатор задней подвески	2	2500,00	5000,00
Пружина задней подвески	2	1450,00	2900,00
Подшипник 3-го поколения	2	2500,00	5000,00
Тормоз задний в сборе	2	5200,00	10400,00
Подрамник задней подвески в сборе	1	13500,00	13500,00
Комплект болтов с шайбами и гайками на рычаги М12х1,50	1	800,00	800,00
Гайка М12х1,50	2	18,00	36,00
Болт М12х1,50	2	25,00	50,00
Болт М6х12	8	4,00	32,00
ИТОГО			53748,00
Транспортно-заготовительные расходы			5375,00
Всего			59123,00

«При создании новой конструкции, помимо затрат на материалы и покупные изделия, добавляются и издержки на заработную плату работников. Эти расходы включают как основную, так и дополнительную заработную плату. При этом необходимо учитывать квалификацию работников, объем выполненных работ, а также возможные бонусы или премии, которые могут значительно варьироваться в зависимости от итогового результата и срока выполнения задания. Это позволяет обеспечить справедливое вознаграждение сотрудников, мотивируя их на высококачественное выполнение задач.

Расчет заработной платы производится по формуле:

$$Z_{\text{осн}} = \sum_{i=1}^n T_i \cdot CT_i \cdot k_{чi} \cdot k_{пр}, \quad (67)$$

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

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

$k_{чi}$  – коэффициент доплат заработной платы до часового фонда работающих,  $k_{чi} = 1,05 \dots 1,15$ ;

$k_{пр}$  – коэффициент премирования,  $k_{пр} = 1,25$ . » [9]

Расчет основной заработной платы рабочих приводится в таблице 21.

Таблица 21 – Расчет основной заработной платы

Виды операций	Разряд работы	Трудоемкость, чел-час	Часовая тарифная ставка, руб.	Основная заработная плата, руб.
Заготовительная	5	0,25	250,00	62,50
Сборочная	4	0,68	437,00	297,16
Испытательная	5	0,5	420,00	210,00
Контрольная	5	0,08	530,00	42,40
Итого				612,06
Премииальные доплаты				153,02
Всего				767,08

«В дополнение к основной заработной плате рассчитывается размер дополнительной зарплаты. Эта переменная часть общей суммы оплаты труда выплачивается работнику, например, за особые условия труда и как определенная гарантия от работодателя. Расчет дополнительной зарплаты осуществляется по следующей формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_{\text{осн}} \cdot k_{\text{доп}}, \quad (68)$$

где  $k_{\text{доп}}$  – коэффициент доплат и выплат не связанных с выполнением основных производственных работ, принимаем равным 20%.» [9]

$$Z_{\text{доп}} = 767,08 \cdot 0,2 = 153,42 \text{ руб.}$$

«Взносы в фонд социального страхования играют ключевую роль в формировании фонда оплаты труда. В отличие от основной и дополнительной заработной платы, эти выплаты не поступают непосредственно к работнику, а вносятся работодателем в фонд социального страхования. Размер отчислений на 2025 год составляет 30% и рассчитывается по формуле:» [3]

$$CC = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot 0,3 \quad (69)$$

$$CC = (767,08 + 153,42) \cdot 0,3 = 276,15 \text{ руб.}$$

«Предприятие также несет расходы на ремонт и обслуживание оборудования, которые должны учитываться в структуре себестоимости. Затраты на содержание и эксплуатацию оборудования рассчитываются в процентах от затрат на основную заработную плату. Согласно принятой практике расчетов, для этой статьи расходов принимается 105% от суммы основной заработной платы. Формула для расчета выглядит следующим образом:» [9]

$$P_{\text{об}} = Z_{\text{осн}} \cdot 1,05 \quad (70)$$

$$P_{\text{об}} = 767,08 \cdot 1,05 = 805,43 \text{ руб.}$$

«Общехозяйственные расходы представляют собой затраты, связанные с функционированием производственного цеха. Обычно они включают расходы на поддержание работы цеха, транспортировку и технологические перемещения внутри него, а также зарплату вспомогательного персонала. Для расчета общехозяйственных расходов используется процент от основного фонда заработной платы. Согласно установленной практике, общехозяйственные расходы составляют 25% от основного фонда заработной платы. Расчет осуществляется по следующей формуле:» [3]

$$P_{\text{ох}} = Z_{\text{осн}} \cdot 0,25 \quad (71)$$

$$P_{\text{ох}} = 767,08 \cdot 0,25 = 191,77 \text{ руб.}$$

«Общепроизводственные расходы представляют собой затраты компании, связанные с производством товаров и выполнением хозяйственной и коммерческой деятельности. Обычно эти расходы включают совокупность затрат, необходимых для нормальной работы предприятия, включая оплату труда инженерно-технического и административного персонала. Согласно принятой практике расчетов, общепроизводственные расходы составляют 30% от основной заработной платы. В данном случае эта статья расходов равна 230,12 рублей.» [3]

«Суммирование всех статей расходов приведет к определению величины производственной себестоимости продукции, которая представляет собой затраты предприятия на ее производство. Добавление к производственной себестоимости внепроизводственных расходов, связанных с продвижением продукции на рынке, позволит рассчитать величину полной себестоимости. Примем что внепроизводственные расходы составляют 3% от производственной себестоимости.» [9] Для удобства восприятия все статьи расходов представлены в таблице 22:

Таблица 22 – Расчет себестоимости конструкции

Наименование статьи затрат	Сумма, руб.
Затраты на материалы	3064,90
Затраты на покупные изделия	59123,00
Основная заработная плата	767,08
Дополнительная заработная плата	153,42
Взносы в фонд социального страхования	276,15
Расходы на обслуживание и ремонт оборудования	805,43
Общехозяйственные расходы	191,77
Общепроизводственные расходы	230,12
Производственная себестоимость продукции	64611,87
Внепроизводственные расходы	1938,36
Полная себестоимость	66550,23

Отпускные цены для проектируемого изделия:

$$C_{\text{отп}} = C_{\text{пол}} \cdot (1 + k_{\text{рент}}), \quad (72)$$

где крент – коэффициент рентабельности и плановых накоплений, %, принимаем равным 20%.

$$C_{\text{отп}} = 66550,23 \cdot (1 + 0,2) = 79860,28 \text{ руб.}$$

### 6.3 Точка безубыточности производства подвески

«Точка безубыточности – это такой объем производства и продаж товара, при котором покрываются все затраты на ее изготовление, но при этом прибыли не возникает. Определив величину точки безубыточности и время,

необходимое для ее достижения, можно сделать выводы о целесообразности проекта.

Необходимый объем продаж для достижения безубыточности проекта можно рассчитать с помощью следующей формулы:

$$V_{кр} = \frac{Z_{пост} \cdot V_{max}}{Ц_{отп} - Z_{пер}}, \quad (73)$$

где  $Z_{пост}$  – постоянные издержки на производство, руб.;

$V_{max}$  – годовой объем выпуска изделия, шт.;

$Z_{пер}$  – переменные затраты, руб.» [9]

Переменные затраты на изготовление единицы продукции:

$$Z_{пер} = \Pi_{и} + Z_{осн} + Z_{доп} + СС \quad (74)$$

$$Z_{пер} = 59123 + 767,08 + 153,42 + 276,15 = 60319,65 \text{ руб.}$$

Переменные издержки:

$$Z_{пи} = Z_{пер} \cdot V_{год} \quad (75)$$

$$Z_{пи} = 60319,65 \cdot 65000 = 3920777250 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления рассчитываются по следующей формуле:

$$A = P_{об} \cdot \frac{H_A}{100}, \quad (76)$$

где  $H_A$  – доля амортизационных отчислений.

$$A = 805,43 * \frac{15}{100} = 120,81 \text{ руб.}$$

Постоянные издержки на производство:

$$З_{\text{пост}} = P_{\text{об}} \cdot \frac{100 - H_A}{100} + P_{\text{ох}} + P_{\text{оп}} + A \quad (77)$$

$$З_{\text{пост}} = 805,43 \cdot \frac{100 - 15}{100} + 191,77 + 230,12 + 120,81 = 1227,32 \text{ руб.}$$

Полная себестоимость годовой программы выпуска:

$$C_{\text{год}} = C_{\text{пол}} \cdot V_{\text{год}} \quad (78)$$

$$C_{\text{год}} = 66550,23 \cdot 65000 = 4325764950 \text{ руб.}$$

Выручка от реализации изделий:

$$R = C_{\text{отп}} \cdot V_{\text{год}} \quad (79)$$

$$R = 79860,28 \cdot 65000 = 5190918200 \text{ руб.}$$

Маржинальный доход – это разница между выручкой от продаж и переменными затратами, связанные с производством и продажей товаров и услуг. Расчет маржинальной прибыли рассчитывается по следующей формуле:

$$D_{\text{марж}} = R - З_{\text{пи}} \quad (80)$$

$$D_{\text{марж}} = 5190918200 - 3920777250 = 1270140950 \text{ руб.}$$

Критический объем продаж составил:

$$V_{\text{кр}} = \frac{1227,32 \cdot 65000}{79860,28 - 60319,65} = 4082,56 \approx 4083 \text{ шт.}$$

#### 6.4 Коммерческая эффективность разработки подвески

В рамках данного дипломного проекта примем увеличение производственной программы автомобиля с новым типом задней подвески за равномерное, с наращиванием темпов производства каждый год на 10%. В первый год производства будет произведено и реализовано 65000 автомобилей с новым типом подвески. Срок жизни проекта составит 5 лет.



Рисунок 10 – График наращивания темпов производства

Выручка от продаж по годам рассчитывается следующим образом:

$$R_i = C_{\text{отп}} \cdot V_{\text{прод } i}, \quad (81)$$

где  $V_{\text{прод } i}$  – объем продаж в  $i$ -году.



Рисунок 11 – Выручка от продаж

Постоянные затраты по годам:

$$Z_{\text{пост } i} = Z_{\text{пост}} \cdot V_{\text{прод } i} \quad (82)$$



Рисунок 12 – Постоянные издержки

Переменные издержки по годам:

$$З_{\text{пер } i} = З_{\text{пер}} \cdot V_{\text{прод } i} \quad (83)$$

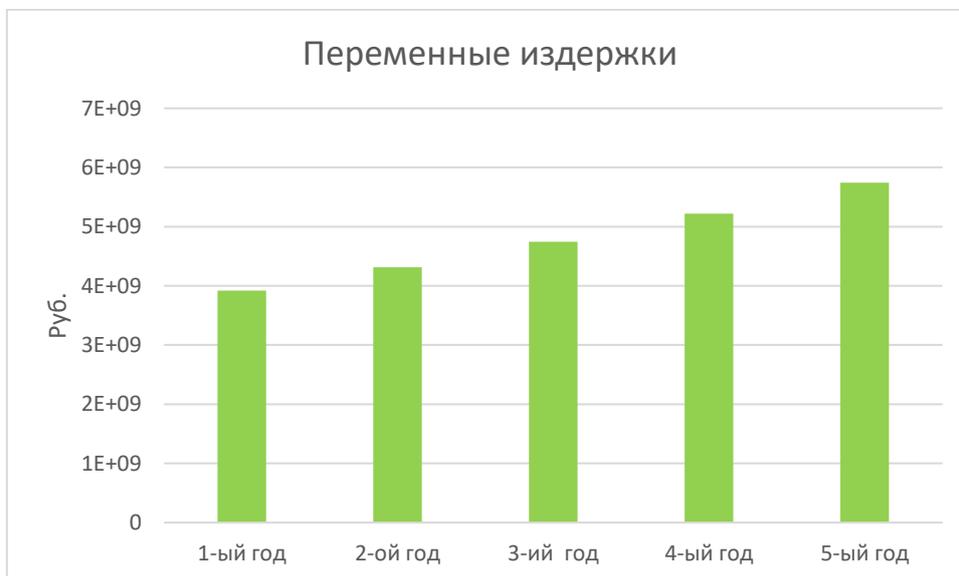


Рисунок 13 – Переменные издержки

Себестоимость по годам:

$$C_{\text{пол } i} = З_{\text{пер } i} + З_{\text{пост } i} \quad (84)$$

$$C_{\text{пол } 1} = 4000553050 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пол } 2} = 4400608355 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пол } 3} = 4840669191 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пол } 4} = 5324736110 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{пол } 5} = 5857209721 \text{ руб.}$$

Налогооблагаемая прибыль по годам рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Пр}_{\text{обл } i} = R_i - C_{\text{пол } i} \quad (85)$$

$$\text{Пр}_{\text{обл } 1} = 1190365150 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{обл } 2} = 1309401665 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{обл } 3} = 1440341832 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{обл } 4} = 1584376015 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{обл } 5} = 1742813616 \text{ руб.}$$

С 1 января 2025 года величина налога на прибыль составляет 25%. Ее абсолютное значение рассчитывается от налогооблагаемой прибыли по годам:

$$H_{\text{пр } i} = \text{Пр}_{\text{обл } i} \cdot 0,25 \quad (86)$$

$$H_{\text{пр } 1} = 1190365150 \cdot 0,25 = 297591288 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр } 2} = 1309401665 \cdot 0,25 = 327350416 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр } 3} = 1440341832 \cdot 0,25 = 360085458 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр } 4} = 1584376015 \cdot 0,25 = 396094004 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр } 5} = 1742813616 \cdot 0,25 = 435703404 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль по годам:

$$\text{Пр}_{\text{ч } i} = \text{Пр}_{\text{обл } i} - H_{\text{пр } i} \quad (87)$$

$$\text{Пр}_{\text{ч } 1} = 1190365150 - 297591288 = 892773863 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч } 2} = 1309401665 - 327350416 = 982051249 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч } 3} = 1440341832 - 360085458 = 1080256374 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч } 4} = 1584376015 - 396094004 = 1188282011 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч } 5} = 1742813616 - 435703404 = 1307110212 \text{ руб.}$$

## 6.5 Экономический эффект от повышения надежности и долговечности деталей проектируемой подвески

Девяностопроцентный ресурс автомобиля до капитального ремонта основных агрегатов на автомобиле с связанными рычагами в качестве задней подвески не должен быть менее 220000 километров. Именно такой ресурс заявлен на автомобиле Лада Веста. При тех же условиях эксплуатации на автомобиле С-класса с задней независимой подвеской данный ресурс составит 240000 километров.

Таким образом, повышенная долговечность изделия сокращает количество обращений клиентов в гарантийный период. Рассчитаем прибыль, получаемую в результате внедрения данного решения:

$$\text{Пр}_{\text{ож.д } i} = \left( \frac{C_{\text{отп}} \cdot D_2}{D_1} - C_{\text{отп}} \right) \cdot V_r, \quad (88)$$

где  $D_1$  и  $D_2$  – долговечность (срок службы) базового и проектируемого изделия.

$$\text{Пр}_{\text{ож.д } 1} = \left( \frac{79860,28 \cdot 240000}{220000} - 79860,28 \right) \cdot 65000 = 471901654,5 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.д } 2} = \left( \frac{79860,28 \cdot 240000}{220000} - 79860,28 \right) \cdot 71500 = 519091820 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.д } 3} = \left( \frac{79860,28 \cdot 240000}{220000} - 79860,28 \right) \cdot 78650 = 571001002 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.д } 4} = \left( \frac{79860,28 \cdot 240000}{220000} - 79860,28 \right) \cdot 86515 = 628101102,2 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.д } 5} = \left( \frac{79860,28 \cdot 240000}{220000} - 79860,28 \right) \cdot 95167 = 690914842,4 \text{ руб.}$$

Текущий чистый доход:

$$\text{ЧД}_i = \text{Пр}_{\text{ч}i} + \text{Пр}_{\text{ож,д}i} \quad (89)$$

$$\text{ЧД}_1 = 892773863 + 471901654,5 = 1364675517,5 \text{ руб.}$$

$$\text{ЧД}_2 = 982051249 + 519091820 = 1501143069 \text{ руб}$$

$$\text{ЧД}_3 = 1080256374 + 571001002 = 1651257376 \text{ руб}$$

$$\text{ЧД}_4 = 1188282011 + 628101102,2 = 1816383113 \text{ руб}$$

$$\text{ЧД}_5 = 1307110212 + 690914842,4 = 1998025054,4 \text{ руб}$$

Коэффициент дисконтирования вычисляется по следующей формуле:

$$\alpha_i = \frac{1}{(1 + E)^t}, \quad (90)$$

где  $E$  – ставка дисконтирования, принимаем равным 0,15;

$t$  – номер временного периода.

$$\alpha_1 = \frac{1}{(1 + 0,2)} = 0,833$$

$$\alpha_2 = \frac{1}{(1 + 0,2)^2} = 0,694$$

$$\alpha_3 = \frac{1}{(1 + 0,2)^3} = 0,579$$

$$\alpha_4 = \frac{1}{(1 + 0,2)^4} = 0,482$$

$$\alpha_5 = \frac{1}{(1 + 0,2)^5} = 0,402$$

Текущий чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД}_i = \text{ЧД}_i \cdot \alpha_i \quad (91)$$

$$\text{ЧДД}_1 = 1364675517,5 \cdot 0,833 = 1136774706 \text{ руб.}$$

$$\text{ЧДД}_2 = 1501143069 \cdot 0,694 = 1041793290 \text{ руб.}$$

$$\text{ЧДД}_3 = 1651257376 \cdot 0,579 = 956078021 \text{ руб.}$$

$$\text{ЧДД}_4 = 1816383113 \cdot 0,482 = 875496660 \text{ руб.}$$

$$\text{ЧДД}_5 = 1998025054,4 \cdot 0,402 = 803206072 \text{ руб.}$$

$$\sum \text{ЧДД}_i = 4813348749 \text{ руб.}$$

Капитал образующие инвестиции:

$$J_0 = K_{\text{инв}} \cdot \sum C_{\text{пол}}, \quad (92)$$

где  $K_{\text{инв}}$  – коэффициент капитал образующих инвестиций, принимается равным 9%.

$$J_0 = 0,09 \cdot 24423776426 = 2198139878 \text{ руб.}$$

Чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \sum \text{ЧДД}_i - J_0 \quad (93)$$

$$\text{ЧДД} = 4813348749 - 2198139878 = 2615208871 \text{ руб.}$$

Индекс доходности инвестиций:

$$JD = \frac{\text{ЧДД}}{J_0} \quad (94)$$

$$JD = \frac{2615208871}{2198139878} = 1,19$$

Срок окупаемости проекта:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{J_0}{\text{ЧДД}} \quad (95)$$

$$T_{\text{окуп}} = \frac{2198139878}{2615208871} = 0,84 \text{ год}$$

### **Выводы по разделу**

На основании проведенного технико-экономического анализа предлагаемый вариант конструкции подвески демонстрирует высокую коммерческую эффективность.

Среди основных показателей, определяющих экономическую эффективность проекта, стоит выделить величину чистого дисконтированного дохода равную 2615208871 руб.; индекс доходности 1,19; а также срок окупаемости проекта 0,84 года.

Все эти значения подтверждают экономическую целесообразность данной разработки.

## Заключение

В соответствии с утвержденной темой дипломного проекта была разработана задняя независимая подвеска для легкового полноприводного автомобиля класса С.

Ключевым вопросом дипломной работы является разработка конструкции задней независимой подвески для повышения плавности хода автомобиля, управляемости при различных дорожных ситуациях, комфорта и безопасности движения.

В ходе выполнения дипломного проекта было сделано следующее:

- рассмотрены различные типы подвесок автомобиля, включая зависимые, полунезависимые и независимые, с акцентом на их преимущества и недостатки;

- проведен анализ аналогов автомобилей класса С, представленных на российском автомобильном рынке, для выявления лучших практик и решений;

- выполнена сравнительная оценка различных типов подвесок, что позволило выбрать наиболее подходящий вариант для проектируемого автомобиля;

- выполнен тягово-динамический расчет автомобиля класса С;

- выполнены расчеты неподрессоренных масс задней подвески, цилиндрической пружины и ступичного подшипника.

- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки проектируемой подвески;

- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;

- определена экономическая целесообразность разработки задней независимой подвески для легкового автомобиля класса С.

Таким образом, выполненная работа представляет собой комплексный подход к проектированию задней независимой подвески, учитывающий как технические, так и экономические аспекты, что делает данный проект актуальным и востребованным.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев. - 8-е изд. - Москва: Машиностроение, 2001. - 920 с.
2. Головин, С. И., Жосан, А. А., Ревякин, М. М. Устройство автомобиля. Часть 3 Подвеска / С. И. Головин, А. А. Жосан, М. М. Ревякин. - Орел: Орловский ГАУ, 2018. - 118 с.
3. Черепанов, Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта / Л. А. Черепанов. - Тольятти: ТГУ, 2021. - 147 с.
4. Черепанов, Л. А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля / Л. А. Черепанов. - Тольятти: ТГУ, 2016. - 60 с.
5. Косилова, А. Г. Справочник технолога-машиностроителя / А. Г. Косилова. - 4-е изд. - Москва: Машиностроение, 1986. - 495 с.
6. Лата, В. Н. Расчет двухрядного радиально-упорного шарикоподшипника передней ступицы переднеприводного автомобиля / В. Н. Лата. - Тольятти: ТГУ, 2002. - 16 с.
7. Кане, М. М. Построение технологической схемы сборки / М. М. Кане. - Минск: БНТУ, 2018. - 52 с.
8. Горина, Л. Н. Обеспечение безопасности труда на производстве / Л. Н. Горина - Тольятти: ТГУ, 2002. - 34 с.
9. Чумаков, Л. Л. Раздел выпускной квалификационной работы «Экономическая эффективность проекта». Уч.-методическое пособие / Л. Л. Чумаков. - Тольятти: ТГУ, 2016. - 37 с.
10. Абрамов, Д. С. Конструирование и расчет автомобильных подвесок / Д. С. Абрамов, П. И. Трифонов. - Москва: Машиностроение, 1979. - 272 с.
11. Айвазян, А. А. Подвеска автомобиля: конструкция, расчёт, характеристики / А. А. Айвазян. - Москва: Машиностроение, 1987. - 216 с.

12. Гусев, В. И. Автомобиль: основы конструкции / В. И. Гусев. - Москва: Академия, 2005. - 320 с.
13. Колчин, А. В. Конструкция автомобилей / А. В. Колчин, В. П. Дементьев. - Москва: Машиностроение, 1993. - 480 с.
14. Родников, А. В. Теория механизмов и машин / А. В. Родников. - Москва: Высшая школа, 1987. - 304 с.
15. Смирнов, Г. А. Теория движения колесных машин / Г. А. Смирнов. - Москва: Машиностроение, 1990. - 352 с.
16. Чудаков, Е. А. Теория автомобиля / Е. А. Чудаков. - Москва: Академия, 2005. - 208 с.
17. Бахмутов, С. В. Расчет и проектирование подвески автомобиля / С. В. Бахмутов, А. А. Ерохов, А. Б. Федоров. - Москва: МГТУ им. Баумана, 2019. - 168 с.
18. Иларионов, В. А. Автомобильные транспортные средства. Теория и конструкция / В. А. Иларионов. - Москва: Машиностроение, 2015. - 480 с.
19. Ревин, А. А. Подвески автомобилей: учебное пособие / А. А. Ревин. - Самара: СамГТУ, 2019. - 123 с.
20. Шестоपालов, С. К. Автомобильные подвески / С. К. Шестоपालов. - Москва: Транспорт, 2013. - 168 с.
21. Smith, J. A. Development of Independent Rear Suspension for All-Wheel Drive Cars / J. A. Smith. - New York: Springer, 2020. - 256 p.
22. Chen, L. Modern Suspension Design for Automotive Applications / L. Chen. - Berlin: Elsevier, 2020. - 302 p.
23. Johnson, P. A. All-Wheel Drive Systems: Performance and Design / P. A. Johnson. - Chicago: McGraw-Hill, 2021. - 400 p.
24. Patel, R. K. Suspension Engineering: Theory & Practice / R. K. Patel. - Montreal: CRC Press, 2020. - 276 p.
25. Kim, Y. J. Dynamics of Vehicle Suspension Systems / Y. J. Kim. - Amsterdam: Elsevier, 2022. - 280 p.

## Приложение А

### Расчет заднего ступичного подшипника

Таблица А.1 – Исходные данные по автомобилю

Полная масса автомобиля, кг	2140
Масса, приходящаяся на колесо, кг	513,5
Масса колеса, кг	32,8
Колея автомобиля, мм	1593,2
Высота центра масс автомобиля, мм	620
Радиус колеса динамический, мм	343,2
Максимальный крутящий момент двигателя, Нм	277
КПД трансмиссии	0,92
Количество передач	6
Передаточное число главной передачи	4,313
Передаточное число первой передачи	3,769
Передаточное число второй передачи	2,211
Передаточное число третьей передачи	1,423
Передаточное число четвертой передачи	1,094
Передаточное число пятой передачи	0,853
Передаточное число шестой передачи	0,725
Передаточное число 1-й передачи раздаточной коробки	1,588
Передаточное число 2-й передачи раздаточной коробки	1
Коэффициент распределения тяговой силы на ось с подшипником	0,3
Коэффициент сцепления колеса с дорогой	0,8
Боковое ускорение автомобиля, м/с <sup>2</sup>	2,5
Угол развала колеса в статике, град	-1,5
Угол развала при повороте влево, град	-3
Угол развала при повороте вправо в ГСК, град	0
Боковая жесткость шины, Н/м	180000
Плечо сноса боковой силы, мм	40
Коэффициент безопасности KSIGMA	1,4
Процент прямолинейного движения с боковой силой вправо	45
Угол наклона приводного вала при прямолинейном движении, град	2,2
Угол наклона приводного вала при повороте направо, град	1
Угол наклона приводного вала при повороте налево, град	3,4

Таблица А.2 - Исходные данные по геометрии подшипника

Расстояние между рядами шариков, $L_p$ , мм	22,32
Угол контакта, $\alpha$ , град	35
Диаметр подшипника по центрам шариков, $D_{pw}$ , мм	60,05
Диаметр шарика, $D_w$ , мм	11,9062
Количество шариков в одном ряду	16

Продолжение приложения А

Таблица А.3 - Расчет нагрузок, действующих на подшипник от колеса в глобальной системе координат

Эквивалентная тяговая сила, Н	321
Вертикальная нагрузка (по при прямолинейном движении, Н	4716
Вертикальная нагрузка при повороте направо, Н	5651
Вертикальная нагрузка при повороте налево, Н	3780
Боковая нагрузка при прямолинейном движении и бок. силе вправо, Н	-235,79
Боковая нагрузка при прямолинейном движении и бок. силе влево, Н	235,79
Боковая нагрузка при повороте направо, Н	-1440,13
Боковая нагрузка при повороте налево, Н	963,40
Боковое смещение пятна контакта от боковой силы и жесткости шины при прямолинейном движении и бок. силе вправо, мм	-1,31
Боковое смещение пятна контакта от боковой силы и жесткости шины при прямолинейном движении и бок. силе влево, мм	1,31
Боковое смещение пятна контакта от боковой силы и жесткости шины при повороте направо, мм	-8,00
Боковое смещение пятна контакта от боковой силы и жесткости шины при повороте налево, мм	5,35
Момент от RY вокруг OX при прямолинейном движении и бок. силе вправо, Нм	-80,89
Момент от RY вокруг OX при прямолинейном движении и бок. силе влево, Нм	80,89
Момент от RY вокруг OX при повороте направо, Нм	-494,25
Момент от RY вокруг OX при повороте налево, Нм	330,18
Момент от RY вокруг OZ при прямолинейном движении и бок. силе вправо, Нм	9,43
Момент от RY вокруг OZ при прямолинейном движении и бок. силе влево, Нм	-9,43
Момент от RY вокруг OZ при повороте направо, Нм	57,61
Момент от RY вокруг OZ при повороте налево, Нм	-38,54
Момент от наклона вала вокруг OZ при прямолинейном движении и бок. силе вправо, Нм	-3,56
Момент от наклона вала вокруг OZ при прямолинейном движении и бок. силе влево, Нм	-3,56
Момент от наклона вала вокруг OZ при повороте направо, Нм	-0,96
Момент от наклона вала вокруг OZ при повороте налево, Нм	-6,16

Продолжение приложения А

Таблица А.4 - Движение прямо с боковой силой вправо (Процент движения с расчетным случаем 45%)

	Левый ряд	Правый ряд
Размер от т. приложения тяговой силы до т. приложения реакции ряда, мм	20,49	43,86
Размер от т. приложения верт. силы до т. приложения реакции ряда, мм	11,51	52,85
Радиальная нагрузка по z от вертикальной силы, Н	3870,88	843,23
Осевая нагрузка по у от вертикальной силы - на весь подшипник, Н	123,44	
Осевая нагрузка по у от вертикальной силы по рядам, Н	0	123,44
Осевая нагрузка по у от боковой силы - на весь подшипник, Н	-235,70	
Осевая нагрузка по у от боковой силы по рядам, Н	-235,70	0
Радиальная нагрузка по z от боковой силы, Н	6,17	0
Общая осевая нагрузка на подшипник, Н	-112,26	
Осевая нагрузка по рядам, Н	-112,26	0
Радиальная нагрузка по z от момента от RY вокруг OX	-1256,75	1256,75
Общая радиальная нагрузка по z, Н	2620,29	2099,99
Радиальная нагрузка по x от тяговой силы, Н	218,72	102,19
Радиальная нагрузка по x от момента от RY вокруг z, Н	-146,57	146,57
Радиальная нагрузка по x от момента от наклона вала вокруг OZ, Н	55,28	-55,28
Общая радиальная нагрузка по x, Н	127,43	193,48
Общая радиальная реакция рядов шариков по x и z, Н	2623,39	2108,89
Осевая нагрузка, необходимая для реализации радиальной нагрузки, Н	-2492,22	2003,44
Осевая реакция ряда шариков, Н	2604,48	-2492,22
Эквивалентная нагрузка на подшипник по рядам, Н	2689,61	2425,15

Продолжение приложения А

Таблица А.5 - Движение прямо с боковой силой влево (Процент движения с расчетным случаем 45%)

	Левый ряд	Правый ряд
Размер от т. приложения тяговой силы до т. приложения реакции ряда, мм	17,87	46,48
Размер от т. приложения верт. силы до т. приложения реакции ряда, мм	8,89	55,47
Радиальная нагрузка по z от вертикальной силы, Н	4062,69	651,43
Осевая нагрузка по y от вертикальной силы - на весь подшипник, Н	123,44	
Осевая нагрузка по y от вертикальной силы по рядам, Н	0	123,44
Осевая нагрузка по y от боковой силы - на весь подшипник, Н	235,70	
Осевая нагрузка по y от боковой силы по рядам, Н	0	235,70
Радиальная нагрузка по z от боковой силы, Н	0	-6,17
Общая осевая нагрузка на подшипник, Н	359,14	
Осевая нагрузка по рядам, Н	0	359,14
Радиальная нагрузка по z от момента от RY вокруг OX	1256,75	-1256,75
Общая радиальная нагрузка по z, Н	5319,45	-611,49
Радиальная нагрузка по x от тяговой силы, Н	231,77	89,13
Радиальная нагрузка по x от момента от RY вокруг z, Н	-146,57	146,57
Радиальная нагрузка по x от момента от наклона вала вокруг OZ, Н	55,28	-55,28
Общая радиальная нагрузка по x, Н	140,48	180,42
Общая радиальная реакция рядов шариков по x и z, Н	5321,30	637,56
Осевая нагрузка, необходимая для реализации радиальной нагрузки, Н	-5055,24	605,68
Осевая реакция ряда шариков, Н	5055,24	-5414,38
Эквивалентная нагрузка на подшипник по рядам, Н	5305,34	3809,39

Продолжение приложения А

Таблица А.6 - Движение с боковой силой вправо (процент движения с расчетным случаем 5%)

	Левый ряд	Правый ряд
Размер от т. приложения тяговой силы до т. приложения реакции ряда, мм	27,18	37,18
Размер от т. приложения верт. силы до т. приложения реакции ряда, мм	27,18	37,18
Радиальная нагрузка по z от вертикальной силы, Н	3264,44	2386,63
Осевая нагрузка по y от вертикальной силы - на весь подшипник, Н	0	
Осевая нагрузка по y от вертикальной силы по рядам, Н	0	0
Осевая нагрузка по y от боковой силы - на весь подшипник, Н	-1440,13	
Осевая нагрузка по y от боковой силы по рядам, Н	-1440,13	0
Радиальная нагрузка по z от боковой силы, Н	0	0
Общая осевая нагрузка на подшипник, Н	-1440,13	
Осевая нагрузка по рядам, Н	-1440,13	0
Радиальная нагрузка по z от момента от RY вокруг OX	-7678,63	7678,63
Общая радиальная нагрузка по z, Н	-4414,18	10065,27
Радиальная нагрузка по x от тяговой силы, Н	185,38	135,53
Радиальная нагрузка по x от момента от RY вокруг z, Н	894,94	-894,94
Радиальная нагрузка по x от момента от наклона вала вокруг OZ, Н	14,93	-14,93
Общая радиальная нагрузка по x, Н	1095,26	-774,34
Общая радиальная реакция рядов шариков по x и z, Н	4548,03	10095,01
Осевая нагрузка, необходимая для реализации радиальной нагрузки, Н	-4320,63	9590,26
Осевая реакция ряда шариков, Н	11030,39	-9590,26
Эквивалентная нагрузка на подшипник по рядам, Н	8962,83	10064,72

Продолжение приложения А

Таблица А.7 - Движение с боковой силой вправо (процент движения с расчетным случаем 5%)

	Левый ряд	Правый ряд
Размер от т. приложения тяговой силы до т. приложения реакции ряда, мм	13,85	50,51
Размер от т. приложения верт. силы до т. приложения реакции ряда, мм	-4,10	68,47
Радиальная нагрузка по z от вертикальной силы, Н	4015,97	-240,76
Осевая нагрузка по y от вертикальной силы - на весь подшипник, Н	246,80	
Осевая нагрузка по y от вертикальной силы по рядам, Н	0	246,80
Осевая нагрузка по y от боковой силы - на весь подшипник, Н	962,08	
Осевая нагрузка по y от боковой силы по рядам, Н	0	962,08
Радиальная нагрузка по z от боковой силы, Н	0	0
Общая осевая нагрузка на подшипник, Н	1208,88	
Осевая нагрузка по рядам, Н	0	1208,88
Радиальная нагрузка по z от момента от RY вокруг OX	5129,71	-5129,71
Общая радиальная нагрузка по z, Н	9145,69	-5370,48
Радиальная нагрузка по x от тяговой силы, Н	251,83	69,08
Радиальная нагрузка по x от момента от RY вокруг z, Н	-599,51	599,51
Радиальная нагрузка по x от момента от наклона вала вокруг OZ, Н	95,79	-95,79
Общая радиальная нагрузка по x, Н	-251,88	572,80
Общая радиальная реакция рядов шариков по x и z, Н	9149,16	5400,94
Осевая нагрузка, необходимая для реализации радиальной нагрузки, Н	-8691,70	5130,89
Осевая реакция ряда шариков, Н	8691,70	-9900,59
Эквивалентная нагрузка на подшипник по рядам, Н	9121,71	8532,73
Общая эквивалентная нагрузка на подшипник по рядам, Н	5312,13	4839,34
Расчетный ресурс рядов подшипника, км	222905,6	294827,8

## Приложение Б

### Результаты кинематического анализа задней подвески

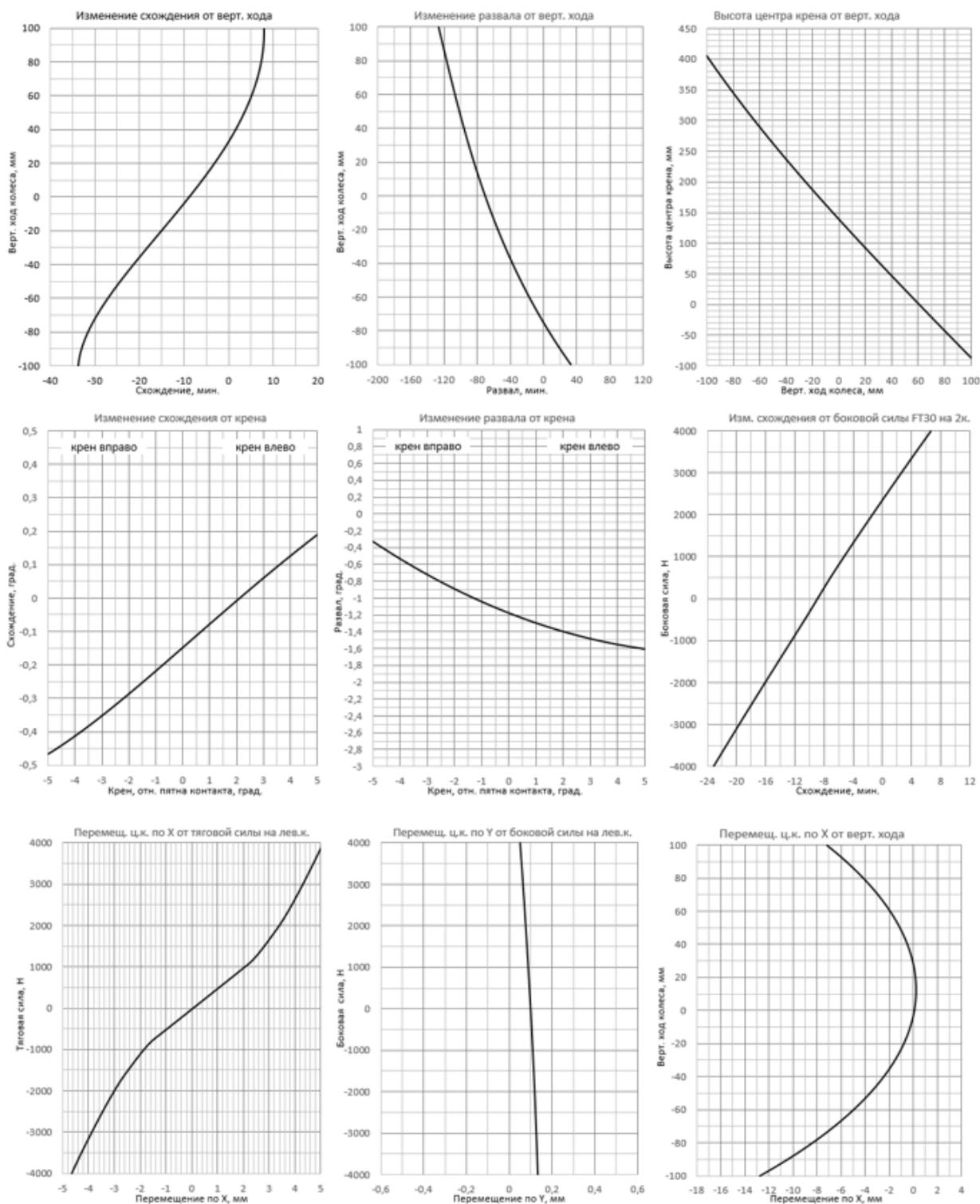


Рисунок Б.1 – Результаты кинематического анализа задней независимой подвески

## Приложение В

### Спецификации

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
						<i>Документация</i>			
		A4			25.ДП.01.106.6.1.000ПЗ	Пояснительная записка	1		
		A1			25.ДП.01.106.00.000СБ	Сборочный чертеж	1		
Справ. №						<i>Сборочные единицы</i>			
		б/4	1		25.ДП.01.106.00.001СБ	Корректирующая тяга в сборе	2		
		A1	2		25.ДП.01.106.03.000СБ	Подрамник задней подвески в сборе	1		
		б/4	3		25.ДП.01.106.00.002СБ	Рычаг поперечный верхний задней подвески в сборе	2		
Лист и дата		б/4	4		25.ДП.01.106.00.003СБ	Рычаг поперечный нижний задней подвески в сборе	2		
		A1	5		25.ДП.01.106.01.000СБ	Рычаг продольный задней подвески в сборе	2		
Инд. № докум.		A1	6		25.ДП.01.106.00.004СБ	Стабилизатор поперечной устойчивости задний в сборе	1		
Взам. инд. №		б/4	7		25.ДП.01.106.00.005СБ	Угловой модуль задней подвески в сборе	2		
Лист и дата						<i>Детали</i>			
						<i>25.ДП.01.106.00.000СБ</i>			
Инд. № подл.		Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Задняя подвеска в сборе</i>	Лист	Листов	
		Разработ./Пров.	Дорохов/Лата					1	2
		Исполн./Утв.	Лата/Бодровский				<i>ТГУ, АТс-2001а</i>		
<i>Копировал</i>						<i>Формат А4</i>			

Рисунок В.1 – Спецификация «Задняя подвеска в сборе»



Продолжение приложение В

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
<i>Документация</i>						
A4			25.ДП.01.106.61.000ПЗ	Пояснительная записка	1	
A1			25.ДП.01.106.03.000СБ	Сборочный чертеж	1	
<i>Детали</i>						
б/4	1		25.ДП.01.106.03.001	Втулка крепления заднего подрамника задняя	2	
б/4	2		25.ДП.01.106.03.002	Втулка крепления заднего подрамника передняя	2	
б/4	3		25.ДП.01.106.03.003	Подрамник задней подвески	1	
25.ДП.01.106.03.000СБ						
Изм. Лист			№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб. Дорохов						
Проб. Лата						
Н.контр. Лата						
Утв. Бабровский						
Подрамник задней подвески в сборе				Лит.	Лист	Листов
						1
				ТГУ, АТс-2001а		
Копировал				Формат А4		

Рисунок В.3 – Спецификация «Подрамник задней подвески в сборе»

Продолжение приложения В

Лев. примен.		Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
	A4				25.ДП.01.106.61.000ПЗ	Пояснительная записка	1	
	A1				25.ДП.01.106.00.004СБ	Сборочный чертеж	1	
Справ. №						<u>Детали</u>		
	б/4	1			25.ДП.01.106.00.104	Кронштейн подушки штанги заднего стабилизатора поперечной устойчивости	2	
	б/4	2			25.ДП.01.106.00.204	Подушка штанги заднего стабилизатора поперечной устойчивости	2	
	б/4	3			25.ДП.01.106.00.004	Штанга заднего стабилизатора поперечной устойчивости	1	
Подп. и дата								
Инд. № докл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
					<b>25.ДП.01.106.00.004СБ</b>			
Изм. № подл.		Изм. Лист	№ док.м.	Подп.	Дата	Стабилизатор поперечной устойчивости задний в сборе ТГУ, АТС-2001а		
Разраб.		Дорохов						
Проб.		Лата						
Исконтр.		Лата						
Утв.		Бабровский						
Копировал						Формат А4		

Рисунок В.4 – Спецификация «Стабилизатор поперечной устойчивости задний в сборе»