

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»
(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Легковой автомобиль Renault Sandero Stepway.
Проектирование конструкции задней независимой подвески

Обучающийся

А.Ю. Сергин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.С. Тизилов

(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. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Тольятти 2025

Аннотация

Дипломный проект на тему: «Легковой автомобиль Renault Sandero Stepway. Проектирование конструкции задней независимой подвески».

Цель работы: разработка и оптимизация конструкции задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway с целью улучшения плавности хода, устойчивости и управляемости.

Задачи работы:

- анализ существующих конструкций задних подвесок легковых автомобилей;
- изучение особенностей компоновки и работы подвески Renault Sandero Stepway;
- разработка кинематической схемы независимой задней подвески;
- проведение прочностных и динамических расчетов элементов подвески.

Объект работы: задняя подвеска легкового автомобиля Renault Sandero Stepway.

Методы исследования:

- теоретический анализ научной и технической литературы,
- компьютерное моделирование в CAD/CAE-системах,
- расчеты жесткости, прочности и кинематики подвески,
- сравнительный анализ различных типов подвесок.

Основные результаты:

- разработана конструкция задней независимой подвески для Renault Sandero Stepway;
- проведены прочностные и динамические расчеты, подтверждающие работоспособность конструкции;
- определены оптимальные параметры подвески, обеспечивающие улучшение ходовых качеств автомобиля.

Проект представляет практическую ценность для инженеров-конструкторов автомобильной промышленности и может быть использован для модернизации подвески Renault Sandero Stepway.

Структура работы включает введение, шесть разделов основного содержания, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложение.

Первый раздел посвящен анализу конструктивных решений автомобильных подвесок. В ходе сравнительного изучения зависимых и независимых систем было обосновано преимущество независимой задней подвески, выбранной для дальнейшей разработки.

Во втором разделе выполнено исследование динамических характеристик автомобиля Renault Sandero Stepway.

Третий раздел посвящен детальному проектированию элементов подвески.

Четвертый раздел посвящен разработке технологического процесса сборки, представлен выбор оптимального метода, детальная схема выполнения операций.

В пятом разделе проведен комплексный анализ безопасности и экологичности проекта, оценены потенциальные риски для персонала и окружающей среды, разработаны инженерные и организационные меры по их минимизации, предложены решения, обеспечивающие соответствие проекта действующим нормам охраны труда и экологическим стандартам.

В шестом разделе проведена оценка финансовой целесообразности проекта, проведён расчёт ключевых показателей, подтверждающих его рентабельность и окупаемость.

Пояснительная записка на 110 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата A1.

.

Abstract

The title of the graduation work is: «The passenger car Renault Sandero Stepway. Design of the rear independent suspension structure».

The graduation work consists of: an introduction, six parts, a conclusion, a list of references, appendices and a graphic part on 10 A1 sheets.

The key issue of the graduation project is the construction design of the rear independent suspension for the Renault Sandero Stepway, aimed at improving ride comfort, vehicle handling in various driving conditions, and overall traffic safety.

The aim of the project is to develop an optimized rear independent suspension system through engineering calculations, structural analysis, and performance evaluation.

In the first part, the current state of suspension systems is reviewed, comparing dependent and independent designs, with justification for selecting an independent configuration.

In the second part, traction and dynamic calculations for the Renault Sandero Stepway are performed to establish baseline performance requirements.

The third section presents the detailed design process, including:

- description of the proposed suspension layout;
- structural calculations for elasticity, shock absorber characteristics, and spring stiffness;
- strength analysis of the lower control arm under bending and compression loads;
- determination of optimal dimensions and material selection.

Additionally, the project covers production planning, safety and environmental considerations, and an economic feasibility assessment.

This research contributes to automotive engineering by providing a cost-effective, high-performance suspension solution, with practical applications in vehicle tuning and aftermarket modifications.

Содержание

Введение	6
1 Состояние вопроса	9
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	17
2.1 Определение требуемой мощности силовой установки	18
2.2 Подбор силового агрегата и анализ его параметров.....	21
2.3 Расчет передаточных отношений	24
2.4 Построение динамической характеристики	27
2.5 Анализ разгонных показателей транспортного средства.....	30
2.6 Исследование временных характеристик разгона	34
2.7 Анализ баланса мощностных показателей	36
2.8 Определение топливных характеристик при установившемся режиме движения	38
3 Конструкторская часть	40
3.1 Описание подвески	41
3.2 Расчет задней независимой подвески	52
3.3 Расчет характеристики амортизатора.....	55
3.4 Расчет нижнего рычага	58
3.5 Расчет пружины.....	61
4 Технологический раздел.....	64
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки	65
4.2 Проектирование технологического процесса сборки задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway	71
5 Безопасность и экологичность проекта	75
5.1 Структурно-функциональный анализ	77
5.2 Идентификация профессиональных рисков	79
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	82
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	89
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса	94
6 Экономическая эффективность проекта.....	97
Заключение	104
Список используемой литературы и используемых источников.....	105
Приложение А. Спецификация.....	109

Введение

Современный автомобильный рынок предъявляет высокие требования к безопасности, комфорту и управляемости транспортных средств. Одним из ключевых элементов, влияющих на эти характеристики, является подвеска автомобиля.

В частности, для компактных городских автомобилей, таких как Renault Sandero Stepway, важно обеспечить оптимальный баланс между плавностью хода, устойчивостью на дороге и надежностью конструкции.

Задняя подвеска играет важную роль в динамике автомобиля, особенно при движении по неровным дорогам и в поворотах. В настоящее время многие производители переходят на независимые подвески, которые обладают преимуществами в плане комфорта и управляемости по сравнению с зависимыми конструкциями.

В связи с этим проектирование задней независимой подвески для Renault Sandero Stepway является актуальной инженерной задачей, направленной на повышение эксплуатационных характеристик автомобиля.

Вопросы проектирования подвесок легковых автомобилей широко освещены в научной и технической литературе.

Исследования в этой области включают работы по:

- кинематике и динамике подвесок,
- методам расчета жесткости и демпфирования,
- моделированию поведения подвески в различных дорожных условиях.

Однако для конкретной модели Renault Sandero Stepway (особенно в модификации Stepway с увеличенным клиренсом) требуется индивидуальный подход к проектированию задней подвески с учетом особенностей конструкции и эксплуатационных требований.

«Renault Sandero Stepway – это компактный городской кросс-хэтчбек, выпускаемый французским автоконцерном Renault с 2007 года. Модель

основана на платформе B0 (Global Access)» [1]. Платформа разработана альянсом Renault-Nissan, и является одной из самых популярных в бюджетном сегменте благодаря сочетанию доступной цены, практичности и повышенной проходимости в версии Stepway.

Автомобиль представлен в трех поколениях:

- первое поколение (2007–2013) – дебютировало на базе Renault Logan первого поколения;
- второе поколение (2013–2020) – получило более современный дизайн и улучшенную платформу;
- третье поколение (с 2020 года) – построено на обновленной модульной платформе CMF-B, отличается более технологичной конструкцией и современными системами безопасности.

«Stepway – это кросс-версия стандартного Sandero, отличающаяся:

- увеличенным дорожным просветом (до 195 мм);
- пластиковыми защитными накладками на кузове;
- усиленными пружинами и амортизаторами для лучшей проходимости;
- рейлингами на крыше;
- более агрессивным дизайном переднего бампера и колесных арок (черные пластиковые накладки на порогах, бамперах и колесных арках)» [2].

В заводской комплектации Renault Sandero Stepway оснащается традиционной торсионно-балочной задней подвеской. Данное техническое решение, обладая очевидными преимуществами в виде экономичности производства и компактности конструкции, демонстрирует ряд эксплуатационных ограничений.

К наиболее существенным из них относятся недостаточная плавность хода при преодолении дорожных неровностей и снижение курсовой устойчивости в сложных дорожных условиях.

Разрабатываемая независимая подвеска призвана обеспечить комплексное улучшение эксплуатационных характеристик, включая:

- сохранение конкурентных преимуществ модели в отношении массы и стоимости;
- повышение комфортабельности за счет эффективного гашения колебаний;
- улучшение динамических показателей и управляемости;
- оптимизацию рабочего хода подвески для различных дорожных условий;
- обеспечение высокой надежности и ремонтпригодности конструкции.

Основной задачей представленного дипломного проекта выступает инженерная разработка независимой задней подвески с выполнением комплексных расчетов ключевых элементов:

- параметров упругих элементов (пружин);
- характеристик амортизационных устройств;
- геометрии и прочности рычагов подвески;
- оптимизация конструкции осуществляется для конкретной модели Renault Sandero Stepway, с учетом ее массогабаритных характеристик и особенностей эксплуатации.

1 Состояние вопроса

«Подвеска в автомобиле выполняет ряд важнейших функций: обеспечивает упругое крепление колес к кузову (что позволяет им перемещаться относительно несущей части); гасит колебания, получаемые колесами от дороги (тем самым достигается плавность хода авто); обеспечивает постоянный контакт колеса с дорожным полотном (сказывается на управляемости и устойчивости)» [2].

«С момента появления первого авто и по наше время было разработано несколько видов этой составляющей ходовой части. Но при этом создать идеальное решение, которое устраивало бы по всем параметрам и показателям так и не удалось. Поэтому из всех существующих типов подвесок автомобиля выделить какую-то одну невозможно» [27].

«Демпфирующие элементы используются в конструкции для гашения колебаний упругих элементов путем их поглощения и рассеивания, что предотвращает раскачивание кузова во время работы подвески. Эту задачу выполняют амортизаторы. Направляющие системы связывают колесо с несущей частью, обеспечивают возможность перемещения по требуемой траектории, при этом с удержанием его в заданном положении относительно кузова. К этим элементам относятся всевозможные рычаги, тяги, балки, и все остальные компоненты, принимающие участие в создании подвижных соединений (сайлент-блоки, шаровые опоры, втулки и т. д.)» [8].

«Все современные автомобильные подвески классифицируются на два основных типа: зависимые и независимые. Существует также промежуточный вариант - полузависимая подвеска, сочетающая особенности обеих категорий» [11].

«Зависимая подвеска (рисунок 1) начала использоваться на автомобилях с момента их появления и «перекочевала» она на авто с конных повозок. И хоть за время существования этот тип значительно усовершенствовался, но суть работы осталась неизменной.

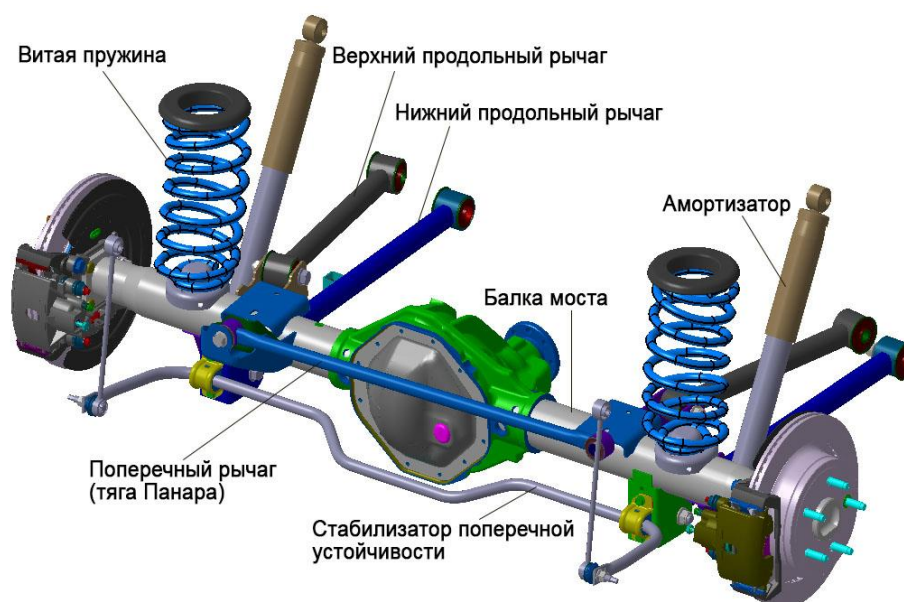


Рисунок 1 – Конструкция зависимой подвески с двумя поперечными и двумя продольными рычагами

Особенность – колеса соединены между собой осью, и не имеют возможности перемещаться отдельно относительно друг друга. В результате передвижение одного колеса сопровождается смещением второго.

В заднеприводных автомобилях соединяющей осью выступает задний мост, одновременно являющийся элементом трансмиссии. В переднеприводных же авто применяется специальная балка. В первых конструкциях подвесок в качестве упругих элементов использовались рессоры, но сейчас их уже полностью вытеснили пружины. Демпфирующим элементом в этом типе подвески выступают амортизаторы. В верхней части амортизатор крепится к кузову, а в нижней – к мосту или балке, то есть помимо гашения колебательных движений, он выступает еще и в качестве крепежного элемента. Направляющая система состоит из продольных рычагов и поперечной тяги» [8].

«Четыре продольных рычага обеспечивают полностью предсказуемое движение оси с колесами по всем существующим направлениям. В некоторых случаях количество этих рычагов уменьшено до двух. В задачу же поперечной тяги входит уменьшение кренов кузова и удержание траектории движения» [12].

«Основными достоинствами зависимой подвески такой конструкции являются простота конструкции, что сказывается на надежности. Также она обеспечивает отличное сцепление с дорожным полотном колес, но только в случае движения по ровной поверхности. Большим недостатком этого вида является возможность потери сцепления при вхождении в повороты. При этом из-за совмещения оси с элементами трансмиссии, задний мост имеет массивную и габаритную конструкцию. Ввиду этих особенностей использование такой подвески для передней оси практически невозможно, поэтому она применяется только сзади. В настоящее время данный вид подвески не применяется в легковых автомобилях» [12].

«Независимая подвеска отличается тем, что колеса одной оси между собой не связаны и движение одного из них не оказывает никакого влияния на другое. По сути, в этом типе для каждого колеса предусмотрен свой комплект составляющих частей – упругой, демпфирующей, направляющей. Между собой эти два комплекта практически не взаимодействуют» [12].

«Разработано было несколько типов независимой подвески. Одним из самых популярных видов является подвеска МакФерсона (она же – качающаяся свеча). Особенность стойки независимой подвески (рисунок 2) заключена в использовании так называемой амортизационной стойки, которая выполняет одновременно три функции. В состав стойки входит и амортизатор, и пружина» [12].

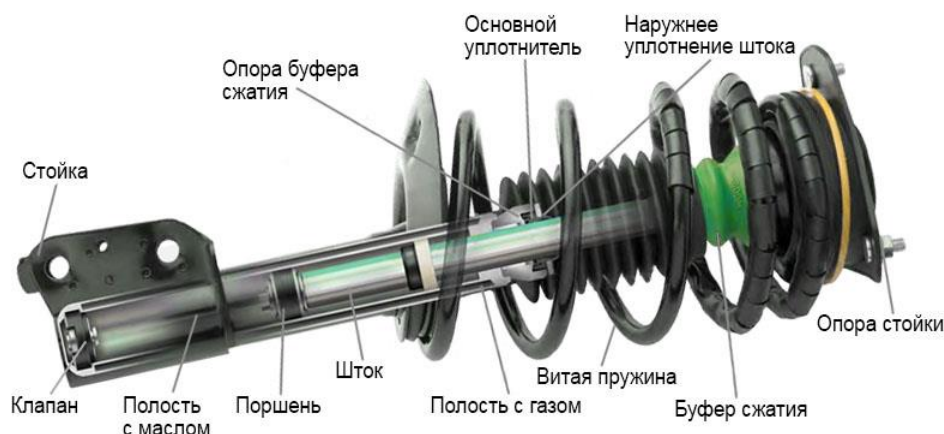


Рисунок 2 – Конструкция стойки независимой подвески

«В нижней части этот составной элемент подвески крепиться к ступице колеса, а вверху посредством опор – к кузову, поэтому он помимо принятия и гашения колебаний еще и обеспечивает крепление колеса.

В конструкции имеется еще одни компоненты направляющей системы – поперечные рычаги, в задачу которых входит помимо обеспечения подвижного соединения колеса с кузовом еще и предотвращение его продольного перемещения. Для уменьшения кренов кузова в конструкции подвески используется стабилизатор поперечной устойчивости.

Подвеска со стойками МакФерсона является одной из самых распространенных и может использоваться как на передней, так и задней оси. Она отличается сравнительно компактными размерами, простотой конструкции и надежностью, за что и получила популярность. Недостатком же ее является изменение угла развала при значительном ходе колеса относительно кузова» [12].

«Рычажные независимые подвески (рисунок 3) – тоже достаточно распространенный вариант, применяемые на автомобилях. Этот тип делится на два вида – двухрычажную и многорычажную подвески.

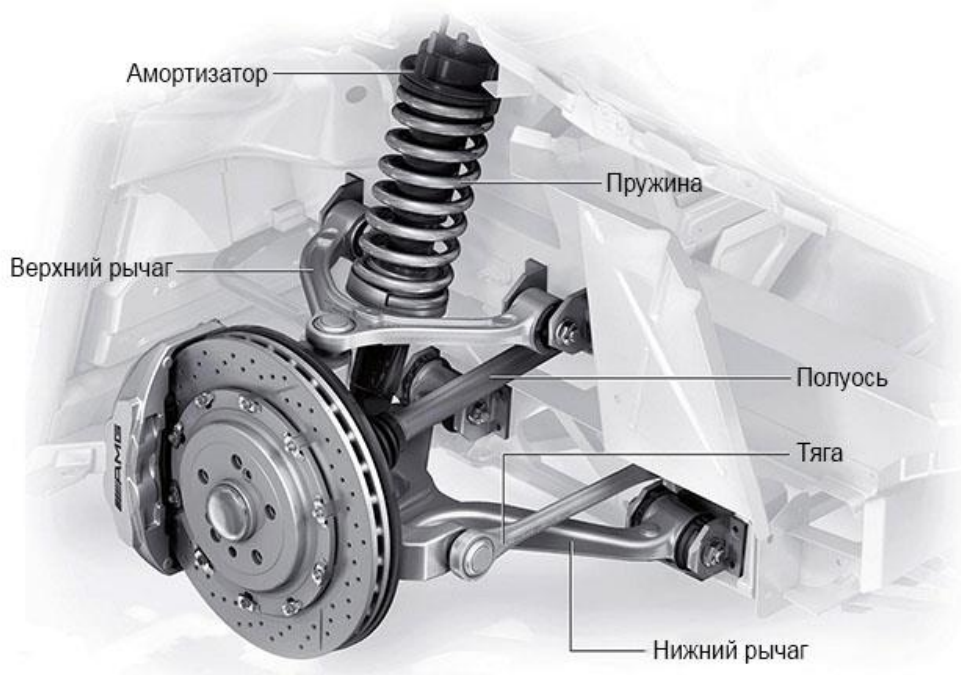


Рисунок 3 – Конструкция рычажной независимой подвески

Конструкция двухрычажной подвески сделана так, что амортизационная стойка выполняет только свои прямые задачи – гасит колебания. Крепление же колеса полностью лежит на управляющей системе, состоящей из двух поперечных рычагов (верхнего и нижнего).

Используемые рычаги имеют А-образную форму, что обеспечивает надежное удержание колеса от продольного перемещения. К тому же они разной длины (верхний – короче), благодаря чему даже при значительных передвижениях колеса относительно кузова, угол развала не меняется.

В отличие от МакФерсона двухрычажная подвеска более габаритна и металлоемка, но она несколько сложнее в обслуживании» [11].

«Многорычажный тип (рисунок 4) является доработанной двухрычажной подвеской. Вместо двух А-образных в ее конструкции используется до 10 поперечных и продольных рычагов» [11].

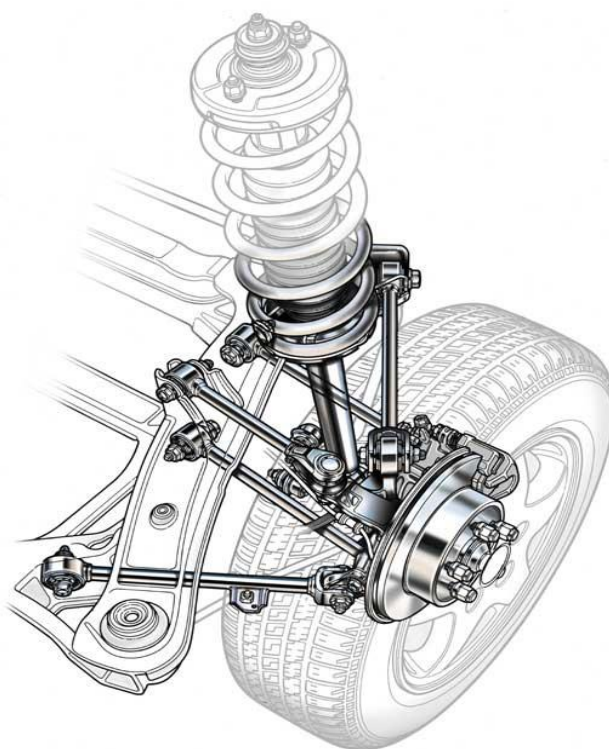


Рисунок 4 – Конструкция многорычажной подвески

«Такое конструктивное решение оказывает положительное влияние на плавность хода и управляемость авто, сохранности углов положения колеса

во время работы подвески, но при этом она более дорогостоящая и сложная в обслуживании. Из-за этого по применяемости она уступает стойкам МакФерсона и двухрычажному типу. Ее можно встретить на более дорогостоящих авто» [26].

Полузависимая подвеска.

«В полузависимой подвеске (рисунок 5) имеется балка (в которую не входят элементы трансмиссии), выполненная заодно с продольными рычагами, к которым крепятся колесные ступицы. То есть, и имеется ось, соединяющая два колеса. К кузову балка крепиться тоже при помощи этих же рычагов. В качестве упругих и демпфирующих элементов выступают пружины и амортизаторы» [2].

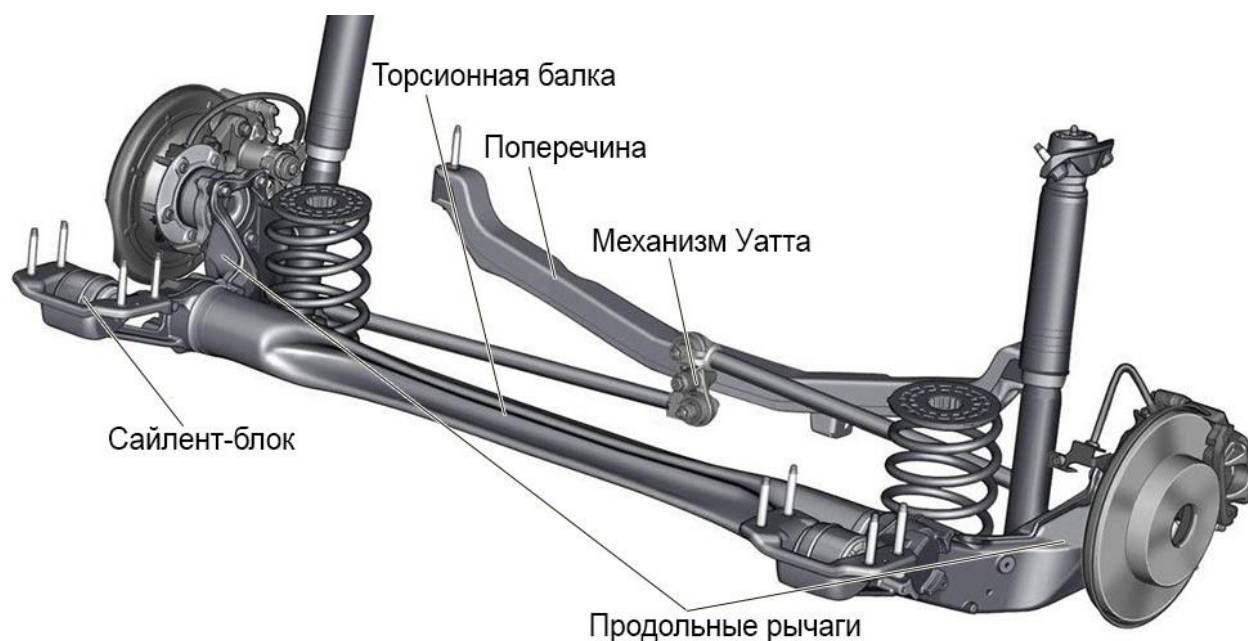


Рисунок 5 – Конструкция полузависимой подвески с механизмом Уатта

В отличие от классической зависимой схемы, здесь используется торсионная балка, способная деформироваться путем скручивания. Такая особенность обеспечивает каждой паре колес определенную свободу вертикального перемещения вне зависимости друг от друга.

«Простота изготовления и высокая надежность делают торсионную балку популярной конструкцией задней оси для многих переднеприводных автомобилей» [21].

«Подвеска «ДеДион» (рисунок 6) отличается устройством трансмиссии заднеприводных автомобилей. Суть разработки сводилась к тому, что главная передача была вынесена из конструкции заднего моста (она жестко крепилась к кузову, а передача вращения выполнялась полуосями со ШРУСами). Сама же задняя ось могла иметь как независимую, так и зависимую подвеску. Но из-за ряда негативных качеств этот тип на авто широкого распространения не получил» [4].

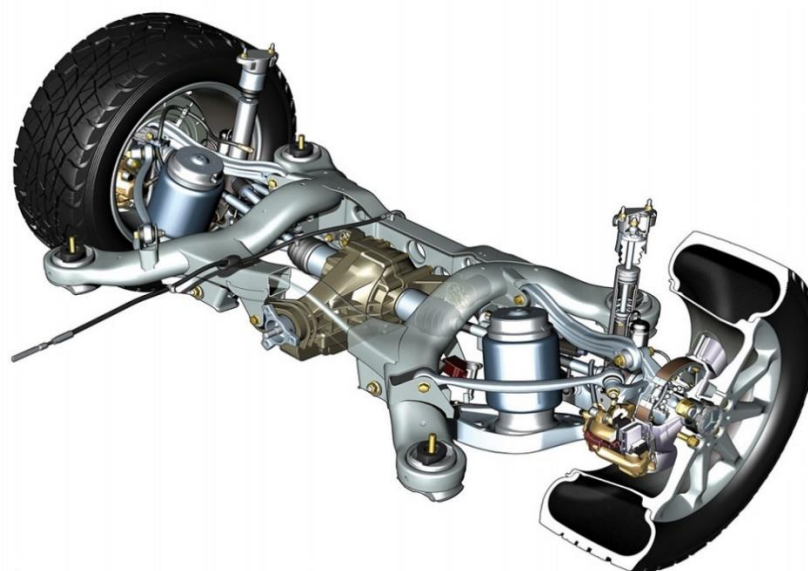


Рисунок 6 – Конструкция подвески ДеДион

«Также стоит упомянуть об активной (она же – адаптивная) подвеске. Она не является каким-то отдельным типом, а является, по сути, независимой подвеской, и отличается от описанных выше некоторыми конструктивными нюансами.

В этой подвеске используются амортизаторы (гидравлические, пневматические или комбинированные) с электронным управлением, что позволяет в некотором роде менять параметры работы этого узла – повышать и понижать жесткость, увеличивать клиренс.

Но ввиду сложности конструкции встречается она очень редко и только на автомобилях премиум сегмента» [4].

«В современных автомобилях часто применяется независимая задняя подвеска, которая обеспечивает отличную управляемость, высокий уровень комфорта и при этом обходится дешевле, чем более сложные аналоги. Именно поэтому данный вариант был выбран для дальнейшей разработки» [4].

«Конструкция подвески этого автомобиля адаптирована для эксплуатации в различных дорожных и климатических условиях. Она гарантирует плавность хода, уверенную управляемость и устойчивость на любом покрытии» [12].

В рамках настоящего проекта предложена концепция разработки задней независимой подвески типа MacPherson для автомобиля Renault Sandero Stepway. Данная схема обладает следующими преимуществами: увеличенным ходом колес, повышающим проходимость и устойчивость на неровностях; улучшенной управляемостью и маневренностью; повышенной устойчивостью автомобиля при движении по различным покрытиям; обеспечением дополнительного комфорта пассажиров и водителя за счёт эффективного подавления вибраций и шумов.

Выводы по разделу.

В данном разделе проведен анализ зависимых и независимых подвесок. В результате исследования в качестве оптимального решения была выбрана задняя независимая подвеска. Ее преимущества включают высокий уровень управляемости, повышенный комфорт при движении, а также экономическую эффективность по сравнению с другими вариантами. Кроме того, независимая подвеска обеспечивает лучшую устойчивость автомобиля на неровных дорогах и снижает вибрации, передаваемые на кузов, что положительно сказывается на долговечности элементов конструкции. Эти факторы делают ее предпочтительным выбором для современных транспортных средств.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

«На рисунке 7 изображен Renault Sandero Stepway, а его основные технические характеристики – мощность, масса, габариты и прочие параметры систематизированы в таблице 1» [1].

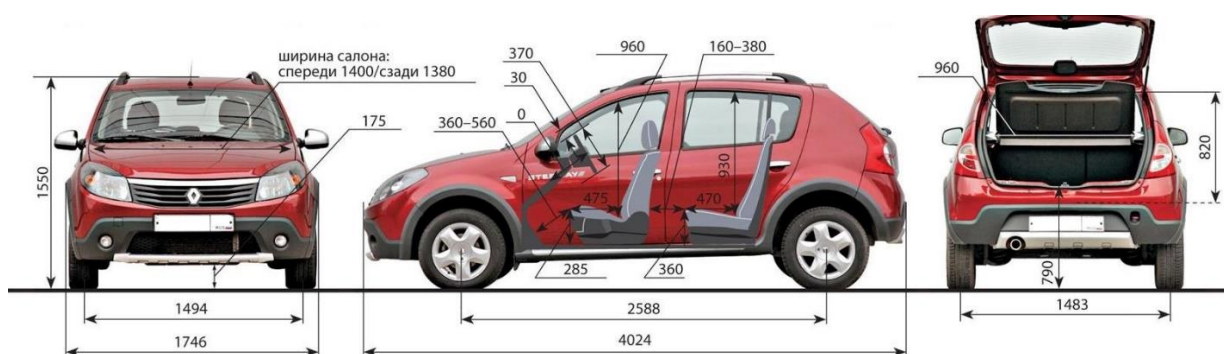


Рисунок 7 – Габаритные размеры Renault Sandero Stepway

Таблица 1 – Общие характеристики Renault Sandero Stepway [1].

Параметр	Значение
Колесная формула	4×2
Число мест, включая водителя, чел.	5
Колесная база, мм	2588
Дорожный просвет, мм	175
Габаритные размеры, мм	4024×1746×1550
Снаряженная масса, кг	1165
Полная масса, кг	1560
Максимальная скорость, км/ч (м/с)	172 (47,7)
Кол-во топливных баков	1
Двигатель	
Модель двигателя	H4M
Тип двигателя	Бензиновый, 4-тактный, рядный
Число цилиндров	4
Рабочий объем двигателя, л. (см. куб.)	1,6 (1598)
Мощность двигателя, кВт при об/мин	81 при 5600
Максимальный крутящий момент, Н·м при об/мин	152/4000
Коробка передач	
Тип коробки передач	Механическая, 5-ступенчатая, гидравлическая
Передаточные числа коробки передач прототипа	1-3,545; 2-2,238; 3-1,464; 4-0,967; 5-0,738
Передаточное число главной передачи	4,5
Колеса и шины	
Размер шин	Радиальные, бескамерные 185/65R15

Продолжение таблицы 1

Параметр	Значение
«Коэффициенты	
Коэффициент обтекаемости(C_x)	0,4
Коэффициент сопротивления качению, f_0 – асфальт в хорошем состоянии – мокрый грунт – асфальт в удовлетворительном состоянии	0,011 0,1 0,0175
Минимальный удельный расход топлива, $g_{\min}$, г/кВтч	230
Плотность бензина, ρ_T , кг/м ³	0,750
Время реакции водителя, t_p , с; Время задержки t_3 , с; Время нарастания давления в системе, t_n , с; Время оттормаживания, $t_{от}$, с.	0,7 0,2 0,4 0,2» [4].

Далее предлагается провести расчет мощности двигателя, требуемой для достижения максимальной скорости.

2.1 Определение требуемой мощности силовой установки

Автомобиль без нагрузки движется с максимальной скоростью по хорошей асфальтобетонной горизонтальной поверхности (P_{k1} , $N_{\delta \delta l}$).

«Мощность двигателя зависит от касательной силы тяги на колесах и скорости движения автомобиля, может быть найдена по формуле:

$$N_{el} = \frac{P_k \cdot v_{\max}}{1000 \cdot \eta_{mp}}, \quad (1)$$

где P_k – касательная сила тяги на движителе, необходимая для преодоления суммарной силы сопротивления движению, Н;

v – скорость движения АТС, м/с;

η_{mp} – КПД трансмиссии (0,95-0,97 для легкового автомобиля, для расчетов выберем среднее значение КПД 0,95)» [23].

«Касательная сила тяги находится из уравнения тягового баланса:

$$P_k = P_f + P_h + P_j + P_w + P_{кр}, \quad (2)$$

где P_f – сила сопротивления качению;

f_0 – коэффициент сопротивления качению

P_h – сила сопротивления подъему с углом α :

P_{ψ} – сила суммарного дорожного сопротивления, определяется как сумма сил сопротивления качению и подъему:

P_j – сила инерции поступательно движущихся масс или сопротивление разгону;

P_w – сила сопротивления воздушной среды;

$P_{кр}$ – сила сопротивления от буксирования прицепа.

j_a – ускорение автомобиля;

δ_{nm} – коэффициент приведенной массы» [23].

$$P_f = (m_{сн} + m_{сод}) \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$P_f = (1165 + 75) \cdot 9,81 \cdot 0,0227 \cdot \cos 0^\circ = 276,132 \text{ Н.}$$

$$f = f_0 \cdot \left(1 + (0,0216v)^2\right), \quad (4)$$

$$f = 0,011 \cdot \left(1 + (0,0216 \cdot 44,4)^2\right) = 0,0211.$$

$$P_h = (m_{сн} + m_{сод}) \cdot g \cdot \sin \alpha, \quad (5)$$

$$P_h = 1240 \cdot 9,81 \cdot \sin 0^\circ = 0 \text{ Н.}$$

$$P_{\psi} = (m_{сн} + m_{сод}) \cdot g (f \cdot \cos \alpha + \sin \alpha) = P_f + P_h, \quad (6)$$

$$P_{\psi} = 276,132 + 0 = 276,132 \text{ Н.}$$

$$P_j = (m_{сн} + m_{сод}) \cdot j_a \cdot \delta_{nm},$$

«Так как ускорение равно 0, то сила инерция также равно 0.

$$P_w = k_w \cdot A_x \cdot v^2 \quad (7)$$

$$P_w = 0,245 \cdot 2,138 \cdot 47,7^2 = 1191,81 \text{ Н}$$

$$k_w = 0,5 \cdot c_x \cdot \rho_{\text{воз}}, \quad (8)$$

где k_w – коэффициент сопротивления воздуха.

c_x – коэффициент обтекаемости (по таблице 1 равен 0,4);

$\rho_{\text{воз}}$ – плотность воздуха, принимается равной 1,225 кг/м³;

A_l – площадь Миделя.

$$A_l = \alpha_l \cdot B_{\text{max}} \cdot H_{\text{max}}, \quad (9)$$

где α_l – коэффициент заполнения площади, принимается равным 0,79;

$B_{\text{max}}, H_{\text{max}}$ – наибольшие ширина и высота автомобиля соответственно (по таблице 1 1,746 м и 1,55 м)» [23].

$$A_l = 0,79 \cdot 1,746 \cdot 1,55 = 2,138 \text{ м}^2.$$

$$k_w = 0,5 \cdot 0,4 \cdot 1,225 = 0,245.$$

$$G_{\text{сц}} = m_{\text{сц}} \cdot g, \quad (10)$$

$$G_{\text{сц}} = 810 \cdot 9,81 = 7946,1 \text{ Н}.$$

$$P_{\varphi} = G_{\text{сц}} \cdot \varphi, \quad (11)$$

$$P_{\varphi} = 7946,1 \cdot 0,75 = 5959,575 \text{ Н}.$$

$$P_{k1} = 276,13 + 0 + 0 + 1191,81 + 0 = 1467,94 \text{ Н}.$$

$$N_{e1} = \frac{1467,94 \cdot 47,7}{1000 \cdot 0,95} = 73,7 \text{ кВт}.$$

В процессе выполнения транспортных задач автомобили работают в разнообразных дорожных условиях, что вызывает значительные изменения необходимой тяговой силы.

Расчётным методом была определена максимальная требуемая мощность двигателя, которая составила 73,7 кВт. Выбранный силовой агрегат H4M, устанавливаемый на Renault Sandero Stepway, имеет мощность 81 кВт, что не только полностью удовлетворяет расчётным требованиям, но и

обеспечивает дополнительный запас мощности. Это позволяет улучшить динамические характеристики автомобиля, повысить его нагрузочную способность и обеспечить стабильную работу в различных дорожных условиях.

Таким образом, двигатель Н4М является технически обоснованным и оптимальным выбором для данной модели.

2.2 Подбор силового агрегата и анализ его параметров

Для построения дальнейших характеристик необходимо использовать внешнескоростную характеристику двигателя.

«Мощность двигателя определяется по формуле:

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

где n_p – расчетная частота вращения;

n_N – частота вращения при максимальной мощности;

a, b, c – коэффициенты» [23].

«Приведённые выше значения коэффициентов a, b и c входящих в формулу Лейдермана, не являются обязательными. Эти значения дают достаточно хорошее совпадение формы расчётной внешней скоростной характеристики с экспериментальной для многих существующих двигателей, но не для всех. Зная величину k_M , значения коэффициентов, входящих в формулу Лейдермана, можно рассчитать, используя следующие выражения:

$$a = \frac{k_M \cdot k_\omega \cdot (2 - k_\omega) - 1}{k_\omega \cdot (2 - k_\omega) - 1}, \quad (13)$$

где k_ω – коэффициент приспособляемости по частоте вращения.

$$k_{\omega} = \frac{n_N}{n_M}, \quad (14)$$

где n_N – частота вращения при максимальной мощности;

n_M – частота вращения при максимальном моменте;

k_M – коэффициент приспособляемости по моменту.

$$k_{\omega} = \frac{5600}{3800} = 1,474.$$

$$k_M = \frac{M_e}{M_N}, \quad (15)$$

где M_e – максимальный момент двигателя;

M_N – момент при максимальной мощности» [23].

$$M_N = 9554 \cdot \frac{N_e}{n_N}, \quad (16)$$

$$M_N = 9554 \cdot \frac{81}{5600} = 138,192 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$k_M = \frac{153}{138,192} = 1,107.$$

$$a = \frac{1,107 \cdot 1,474 \cdot (2 - 1,474) - 1}{1,474 \cdot (2 - 1,474) - 1} = 0,630;$$

$$b = -\frac{2 \cdot k_{\omega} \cdot (k_M - 1)}{k_{\omega} \cdot (2 - k_{\omega}) - 1}, \quad (17)$$

$$b = -\frac{2 \cdot 1,474 \cdot (1,107 - 1)}{1,474 \cdot (2 - 1,474) - 1} = 1,407;$$

$$c = \frac{k_{\omega}^2 \cdot (k_M - 1)}{k_{\omega} \cdot (2 - k_{\omega}) - 1}, \quad (18)$$

$$c = \frac{1,474^2 \cdot (1,107 - 1)}{1,474 \cdot (2 - 1,474) - 1} = -1,037.$$

Крутящий момент двигателя:

$$M_e = M_p \cdot \left[a + b \cdot \left(\frac{n_p}{n_N} \right) + c \cdot \left(\frac{n_p}{n_N} \right)^2 \right]. \quad (19)$$

«Удельный расход топлива:

$$q_e = q_N \cdot k_H \cdot k_e, \quad (20)$$

где q_N – удельный расход топлива при максимальной мощности.

$$q_N = (1,05 \dots 1,1) \cdot q_{\min} \quad (21)$$

где $q_{\min}$ – минимальный удельный расход топлива (для бензиновых двигателей с впрыском топлива 220...250 г/кВт·ч), для расчетов берем 225 г/кВт·ч;

k_H – коэффициент, учитывающий зависимость q_e от уровня нагрузки двигателя (принимается равным 1);

k_e – коэффициент, учитывающий зависимость q_e от скоростного режима двигателя.

$$k_e = 1,25 - 0,99 \cdot E + 0,98 \cdot E^2 - 0,24 \cdot E^3, \quad (22)$$

где E – коэффициент использования угловой скорости вала двигателя» [23].

$$E = \frac{n_i}{n_N}, \quad (23)$$

$$E = \frac{800}{5600} = 0,1428,$$

$$q_N = 1,08 \cdot 225 = 243 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}.$$

Часовой расход топлива можно найти по формуле:

$$G_T = \frac{(q_e \cdot N_e)}{1000}, \quad (24)$$

$$G_T = \frac{274,073 \cdot 9,372}{1000} = 2,569 \text{ кг/ч}.$$

Используя вышеперечисленные формулы, произведем и внесем полученные данные в таблицу 4.

Таблица 4 – Значения основных величин внешней скоростной характеристики

«n, об/мин	N _e , кВт	g _e , г/кВт·ч	G _T , кг/ч	M _e , Н·м
800	9,372	274,073	2,569	111,930
1100	13,787	265,242	3,657	119,746
1400	18,572	257,580	4,784	126,739
1700	23,649	251,034	5,937	132,909
2000	28,942	245,550	7,107	138,255
2300	34,372	241,075	8,286	142,779
2600	39,862	237,554	9,469	146,478
2900	45,335	234,933	10,651	149,355
3200	50,712	233,160	11,824	151,408
3500	55,917	232,179	12,983	152,637
3800	60,871	231,937	14,118	153,044
4100	65,498	232,381	15,221	152,627
4400	69,719	233,457	16,277	151,387
4700	73,458	235,111	17,271	149,323
5000	76,636	237,288	18,185	146,436
5300	79,176	239,936	18,997	142,726
5600	81,000	243,000	19,683	138,192
5900	80,560	246,427	20,215	132,835
6200	79,360	250,162	20,482	126,655» [2]

Далее предлагается определить передаточные числа трансмиссии легкового автомобиля.

2.3 Расчет передаточных отношений

Расчёт радиуса качения колеса.

«Найдем высоту профиля шины:

$$H = B \cdot 0,65, \quad (25)$$

$$H = 185 \cdot 0,65 = 120,25 \text{ мм}.$$

Статический радиус колеса:

$$r_{cm} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H, \quad (26)$$

где λ_z – коэффициент вертикальной деформации, зависящий от типа шин: для тороидных шин (шины стандартного профиля), для расчетов возьмем среднее значение коэффициента вертикальной деформации 0,86» [3].

$$r_{cm} = 0,5 \cdot 0,381 + 0,86 \cdot 0,12025 = 0,294 \text{ м}.$$

Динамический радиус колеса:

$$r_o = r_{cm} = 0,294 \text{ м}.$$

Радиус качения колеса:

$$r_k = (1,02 \dots 1,04) \cdot r_{cm}, \quad (27)$$

$$r_k = 1,04 \cdot 0,294 = 0,306 \text{ м}.$$

«В трансмиссию автомобиля Renault Sandero Stepway входит коробка передач и главная передача:

$$u_{тр.в.} = u_{в.кп.} \cdot u_{в.ркп} \cdot u_0, \quad (28)$$

где $u_{в.ркп}$ – передаточное число высшей передачи в раздаточной коробке передач принимают равным 1;

$u_{в.кп}$ – передаточное число высшей ступени коробки передач равно 0,892» [4].

$$u_0 = \frac{\pi \cdot n_N \cdot r_k}{30 \cdot u_{в.кп} \cdot v_{k \max}}, \quad (29)$$

$$u_0 = \frac{3,14 \cdot 6200 \cdot 0,306}{30 \cdot 0,738 \cdot 52,77} = 5,087521,$$

$$u_{тр.в.} = u_{в.кп.} \cdot u_{в.рпн} \cdot u_0, \quad (30)$$

$$v_{k \max} = \frac{\pi n_N r_k}{30 \cdot u_{тр.в.}},$$

$$v_{k \max} = \frac{3,14 \cdot 6200 \cdot 0,306}{30 \cdot 3,754590} = 52,9 \text{ м/с.}$$

«Формула для определения количества ступеней коробки передач:

$$n_{к.п.} = 1 + \frac{\ln D_{кп}}{\ln q}, \quad (31)$$

где q – принимается равным в диапазоне от 1,4 до 1,55, возьмем среднее значение 1,475» [14].

$$n_{к.п.} = 1 + \frac{1,39674}{0,38866} = 4,594.$$

Примем $n_{к.п.} = 5$.

Далее уточняем значение $q_{ср}$:

$$q_{ср} = \sqrt[n_{кп}]{D_{кп}}, \quad (32)$$

$$q_{ср} = \sqrt[4]{4,042004} = 1,41791.$$

Передаточные числа промежуточных ступеней коробки передач вычисляются по формуле:

$$u_{kni} = u_{kni+1} \cdot q_{cp} \quad (33)$$

$$u_{кп1} = 2,98299, \quad (34)$$

$$u_{кп2} = \frac{u_{кп1}}{q_{cp}}, \quad (35)$$

$$u_{кп2} = \frac{2,98299}{1,41791} = 2,10379,$$

$$u_{кп3} = \frac{u_{кп2}}{q_{cp}}, \quad (36)$$

$$u_{кп3} = \frac{2,10379}{1,41791} = 1,48372,$$

$$u_{кп4} = \frac{u_{кп3}}{q_{cp}}, \quad (37)$$

$$u_{кп4} = \frac{1,48372}{1,41791} = 1,04641,$$

$$u_{кп5} = \frac{u_{кп4}}{q_{cp}}, \quad (38)$$

$$u_{кп5} = \frac{1,04641}{1,41791} = 0,738.$$

Внесем полученные данные в таблицу 5.

Таблица 5 – Передаточные числа КПП

Передаточное число КПП					
u_0	$u_{кп.1}$	$u_{кп.2}$	$u_{кп.3}$	$u_{кп.4}$	$u_{кп.5}$
5,088	2,983	2,104	1,484	1,046	0,738

Далее предлагается рассчитать динамический фактор легкового автомобиля для последующего построения динамической характеристики.

2.4 Построение динамической характеристики

«Величина D зависит от конструктивных параметров автомобиля и режима его движения, вычисляется по формуле:

$$D = \frac{\frac{M_e \cdot \eta_{mp} \cdot u_{mp}}{r_k} - k_w A_a v_a^2}{m_a g}. \quad (39)$$

Из этой формулы видно, динамический фактор представляет собой отношение свободной силы тяги на колесах к весу ТС» [23].

Внесем полученные данные в таблицу 6.

Таблица 6 – Данные тягово-динамической характеристики автомобиля

«n, об/мин	M_e , Н·м	v_a , км/ч	P_k , Н	P_w , Н	P_a , Н	D_a
1 передача						
800	111,930	6,081	5329,100	1,495	5327,605	0,348
1100	119,746	8,362	5701,247	2,826	5698,421	0,372
1400	126,739	10,642	6034,194	4,578	6029,616	0,394
1700	132,909	12,923	6327,941	6,750	6321,191	0,413
2000	138,256	15,203	6582,488	9,342	6573,146	0,430
2300	142,779	17,484	6797,836	12,355	6785,481	0,443
2600	146,478	19,764	6973,983	15,788	6958,195	0,455
2900	149,355	22,045	7110,931	19,641	7091,290	0,463
3200	151,408	24,325	7208,679	23,915	7184,764	0,469
3500	152,637	26,606	7267,227	28,610	7238,617	0,473
3800	153,044	28,886	7286,575	33,725	7252,851	0,474
4100	152,627	31,167	7266,724	39,260	7227,464	0,472
4400	151,387	33,447	7207,672	45,215	7162,457	0,468
4700	149,323	35,728	7109,421	51,591	7057,830	0,461
5000	146,436	38,008	6971,969	58,387	6913,582	0,452
5300	142,726	40,288	6795,318	65,604	6729,714	0,440
5600	138,192	42,569	6579,467	73,241	6506,226	0,425
5900	132,835	44,849	6324,416	81,298	6243,118	0,408
6200	126,655	47,130	6030,166	89,776	5940,389	0,388
2 передача						
800	111,930	8,623	3758,413	3,005	3755,407	0,245
1100	119,746	11,856	4020,874	5,681	4015,192	0,262
1400	126,739	15,090	4255,689	9,203	4246,486	0,277
1700	132,909	18,323	4462,857	13,570	4449,288	0,291
2000	138,256	21,557	4642,380	18,782	4623,598	0,302
2300	142,779	24,790	4794,256	24,839	4769,417	0,312
2600	146,478	28,024	4918,487	31,741	4886,745	0,319
2900	149,355	31,257	5015,071	39,489	4975,582	0,325
3200	151,408	34,491	5084,009	48,081	5035,927	0,329
3500	152,637	37,724	5125,300	57,519	5071,144	0,331
3800	153,044	40,958	5138,946	67,802	5067,781	0,331
4100	152,627	44,191	5124,945	78,931	5046,015	0,330
4400	151,387	47,425	5083,298	90,904	4992,394	0,326
4700	149,323	50,658	5014,005	103,723	4910,283	0,321» [2]

Продолжение таблицы 6

«n, об/мин	M_e , Н·м	v_a , км/ч	P_k , Н	P_w , Н	P_a , Н	D_a
5000	146,436	53,892	4917,066	117,386	4799,680	0,314
5300	142,726	57,126	4792,481	131,895	4660,586	0,305
5600	138,192	60,359	4640,249	147,249	4493,000	0,294
5900	132,835	63,593	4460,372	163,449	4296,923	0,281
6200	126,655	66,826	4252,848	180,493	4072,355	0,266» [2]
3 передача						
800	111,930	12,226	2650,660	6,042	2644,618	0,173
1100	119,746	16,811	2835,763	11,423	2824,341	0,185
1400	126,739	21,396	3001,369	18,503	2982,866	0,195
1700	132,909	25,981	3147,477	27,282	3120,195	0,204
2000	138,256	30,566	3274,087	37,761	3236,327	0,211
2300	142,779	35,151	3381,200	49,938	3331,261	0,218
600	146,478	39,735	3468,814	63,815	3404,999	0,222
2900	149,355	44,320	3536,931	79,392	3457,540	0,226
3200	151,408	48,905	3585,551	96,667	3488,884	0,228
3500	152,637	53,490	3614,672	115,642	3499,030	0,229
3800	153,044	58,075	3624,296	136,316	3487,980	0,228
4100	152,627	62,660	3614,421	158,689	3455,733	0,226
4400	151,387	67,245	3585,050	182,761	3402,289	0,222
4700	149,323	71,829	3536,180	208,533	3327,647	0,217
5000	146,436	76,414	3467,813	236,003	3231,809	0,211
5300	142,726	80,999	3379,947	265,173	3114,774	0,204
5600	138,192	85,584	3272,585	296,043	2976,542	0,194
5900	132,835	90,169	3145,724	328,611	2817,113	0,184
6200	126,655	94,754	2999,366	362,879	2636,487	0,172
4 передача						
2000	138,256	43,340	2309,086	75,917	2233,170	0,146
2300	142,779	49,841	2384,629	100,400	2284,229	0,149
2600	146,478	56,341	2446,420	128,300	2318,120	0,151
2900	149,355	62,842	2494,460	159,615	2334,845	0,153
3200	151,408	69,343	2528,749	194,347	2334,402	0,153
3500	152,637	75,844	2549,287	232,495	2316,792	0,151
3800	153,044	82,345	2556,075	274,060	2282,015	0,149
4100	152,627	88,846	2549,111	319,041	2230,070	0,146
4400	151,387	95,347	2528,396	367,438	2160,958	0,141
4700	149,323	101,848	2493,930	419,251	2074,679	0,136
5000	146,436	108,349	2445,713	474,480	1971,233	0,129
5300	142,726	114,850	2383,745	533,126	1850,619	0,121
5600	138,192	121,351	2308,027	595,188	1712,839	0,112
5900	132,835	127,852	2218,557	660,666	1557,890	0,102
6200	126,655	134,353	2115,336	729,561	1385,775	0,091
5 передача						
800	111,930	24,580	1318,434	24,420	1294,014	0,085
1100	119,746	33,798	1410,504	46,169	1364,335	0,089
1400	126,739	43,016	1492,876	74,787	1418,089	0,093
1700	132,909	52,234	1565,550	110,273	1455,278	0,095
2000	138,256	61,451	1628,526	152,626	1475,900	0,096» [2]

Продолжение таблицы 6

«n, об/мин	M_e , Н·м	v_a , км/ч	P_k , Н	P_w , Н	P_a , Н	D_a
2300	142,779	70,669	1681,803	201,848	1479,955	0,097
2600	146,478	79,887	1725,383	257,938	1467,445	0,096
2900	149,355	89,104	1759,264	320,897	1438,367	0,094
3200	151,408	98,322	1783,447	390,723	1392,724	0,091
3500	152,637	107,540	1797,932	467,418	1330,514	0,087
3800	153,044	116,757	1802,719	550,981	1251,738	0,082
4100	152,627	125,975	1797,808	641,412	1156,396	0,076
4400	151,387	135,193	1783,198	738,711	1044,487	0,068
4700	149,323	144,410	1758,890	842,878	916,012	0,060
5000	146,436	153,628	1724,885	953,914	770,971	0,050
5300	142,726	162,846	1681,181	1071,818	609,363	0,040
5600	138,192	172,063	1627,778	1196,590	431,189	0,028
5900	132,835	181,281	1564,678	1328,230	236,448	0,015
6200	126,655	190,499	1491,880	1466,738	25,142	0,002» [2]

Далее предлагается рассчитать и построить график ускорения легкового автомобиля на различных передачах.

2.5 Анализ разгонных показателей транспортного средства

«Максимально-возможное ускорение, исходя из уравнения движения автомобиля, может быть найдено по формуле:

$$j = \frac{D - \psi}{\delta_{nm}} \cdot g, \quad (40)$$

где δ_{nm} – коэффициент учета вращающихся масс.

$$\delta = 1 + \left(\delta_1 + \delta_2 \cdot u_{к.п.}^2 \right) \cdot \frac{m_a + m_{np}}{m_a}, \quad (41)$$

где ψ – суммарный коэффициент дорожных сопротивлений, принимаем равным 0,01» [23].

Рассчитаем значение коэффициента на I -ой передаче и на других передачах определяем аналогично:

$$\delta_I = 1 + (0,04 + 0,05 \cdot 2,98299^2) = 1,48491.$$

$$\delta_{II} = 1 + (0,04 + 0,05 \cdot 2,10379^2) = 1,26129,$$

$$\delta_{III} = 1 + (0,04 + 0,05 \cdot 1,48372^2) = 1,15007,$$

$$\delta_{IV} = 1 + (0,04 + 0,05 \cdot 1,04641^2) = 1,09474,$$

$$\delta_V = 1 + (0,04 + 0,05 \cdot 0,738^2) = 1,06723,$$

$$j = \frac{D - \psi}{\delta_{nm}} \cdot g,$$

$$j = \frac{0,473931 - 0,01}{1,48491} \cdot 9,81 = 3,06494 \text{ м/с}^2.$$

«Максимальное ускорение ограничивается условием сцепления колес с дорогой:

$$j_\varphi = \left(D_\varphi - \sin \alpha - \frac{P_{a \text{ нас}}}{G_a} \right) \cdot g, \quad (42)$$

где α – уклон, град.;

D_φ – динамический фактор по сцеплению равный отношения свободной сцепной силы на колесах к весу автомобиля;

$P_{a \text{ нас}}$ – сила сопротивления качению пассивных колес» [14].

$$j_\varphi = \left(0,32788 - \sin 0^\circ - \frac{51,1776}{15303,6} \right) \cdot 9,81 = 3,18374 \text{ м/с}^2.$$

$$D_\varphi = \frac{P_\varphi}{G_a} = \frac{\varphi \cdot G_{сц}}{G_a}, \quad (43)$$

$$D_\varphi = \frac{5017,815}{15303,6} = 0,32788.$$

$$P_{a \text{ нас}} = f \cdot G_{\text{нас кол}}, \quad (44)$$

$$P_{a \text{ нас}} = 0,007006 \cdot 9260,64 = 64,880 \text{ Н.}$$

$$f = f_0 \cdot \left(1 + (0,0216v)^2\right), \quad (45)$$

$$f = 0,007 \cdot \left(1 + \left(0,0216 \cdot \frac{4,891}{3,6}\right)^2\right) = 0,007006.$$

Внесем полученные данные в таблицу 7.

Таблица 7 – Характеристика ускорений

«n, об/мин	M_e , Н·м	v_a , км/ч	j_φ , м/с ²	D_a	j_a , м/с ²
1 передача					
800	111,930	6,081	3,184	0,348	2,234
1100	119,746	8,362	3,182	0,372	2,394
1400	126,739	10,642	3,180	0,394	2,537
1700	132,909	12,923	3,177	0,413	2,663
2000	138,256	15,203	3,174	0,430	2,772
2300	142,779	17,484	3,170	0,443	2,863
2600	146,478	19,764	3,166	0,455	2,938
2900	149,355	22,045	3,161	0,463	2,995
3200	151,408	24,325	3,155	0,469	3,036
3500	152,637	26,606	3,149	0,473	3,059
3800	153,044	28,886	3,143	0,474	3,065
4100	152,627	31,167	3,136	0,472	3,054
4400	151,387	33,447	3,128	0,468	3,026
4700	149,323	35,728	3,120	0,461	2,981
5000	146,436	38,008	3,111	0,452	2,918
5300	142,726	40,288	3,102	0,440	2,839
5600	138,192	42,569	3,092	0,425	2,743
5900	132,835	44,849	3,082	0,408	2,629
6200	126,655	47,130	3,071	0,388	2,498
2 передача					
800	111,930	8,623	3,182	0,245	1,831
1100	119,746	11,856	3,178	0,262	1,963
1400	126,739	15,090	3,174	0,277	2,080
1700	132,909	18,323	3,168	0,291	2,183
2000	138,256	21,557	3,162	0,302	2,272
2300	142,779	24,790	3,154	0,312	2,346
2600	146,478	28,024	3,145	0,319	2,406
2900	149,355	31,257	3,135	0,325	2,451
3200	151,408	34,491	3,124	0,329	2,482
3500	152,637	37,724	3,112	0,331	2,498
3800	153,044	40,958	3,099	0,331	2,500
4100	152,627	44,191	3,085	0,330	2,487
4400	151,387	47,425	3,070	0,326	2,460
4700	149,323	50,658	3,053	0,321	2,418
5000	146,436	53,892	3,036	0,314	2,362
5300	142,726	57,126	3,018	0,305	2,291
5600	138,192	60,359	2,998	0,294	2,206
5900	132,835	63,593	2,977	0,281	2,106
6200	126,655	66,826	2,956	0,266	1,992» [2]

Продолжение таблицы 7

«n, об/мин	M_e , Н·м	v_a , км/ч	j_φ , м/с ²	D_a	j_a , м/с ²
3 передача					
800	111,930	12,226	3,178	0,173	1,389
1100	119,746	16,811	3,171	0,185	1,489
1400	126,739	21,396	3,162	0,195	1,577
1700	132,909	25,981	3,151	0,204	1,654
2000	138,256	30,566	3,138	0,211	1,719
2300	142,779	35,151	3,122	0,218	1,771
2600	146,478	39,735	3,104	0,222	1,813
2900	149,355	44,320	3,084	0,226	1,842
3200	151,408	48,905	3,062	0,228	1,859
3500	152,637	53,490	3,038	0,229	1,865
3800	153,044	58,075	3,012	0,228	1,859
4100	152,627	62,660	2,983	0,226	1,841
4400	151,387	67,245	2,953	0,222	1,811
4700	149,323	71,829	2,920	0,217	1,769
5000	146,436	76,414	2,885	0,211	1,716
5300	142,726	80,999	2,848	0,204	1,651
5600	138,192	85,584	2,808	0,194	1,574
5900	132,835	90,169	2,767	0,184	1,485
6200	126,655	94,754	2,723	0,172	1,384
4 передача					
800	111,930	17,336	3,170	0,121	0,998
1100	119,746	23,837	3,156	0,129	1,068
1400	126,739	30,338	3,138	0,136	1,128
1700	132,909	36,839	3,116	0,141	1,178
2000	138,256	43,340	3,089	0,146	1,218
2300	142,779	49,841	3,058	0,149	1,248
2600	146,478	56,341	3,022	0,151	1,268
2900	149,355	62,842	2,982	0,153	1,278
3200	151,408	69,343	2,938	0,153	1,277
3500	152,637	75,844	2,889	0,151	1,267
3800	153,044	82,345	2,836	0,149	1,247
4100	152,627	88,846	2,779	0,146	1,216
4400	151,387	95,347	2,717	0,141	1,176
4700	149,323	101,848	2,651	0,136	1,125
5000	146,436	108,349	2,581	0,129	1,065
5300	142,726	114,850	2,506	0,121	0,994
5600	138,192	121,351	2,427	0,112	0,913
5900	132,835	127,852	2,344	0,102	0,823
6200	126,655	134,353	2,256	0,091	0,722
5 передача					
800	111,930	24,580	3,155	0,085	0,685
1100	119,746	33,798	3,127	0,089	0,728
1400	126,739	43,016	3,090	0,093	0,760
1700	132,909	52,234	3,045	0,095	0,782
2000	138,256	61,451	2,991	0,096	0,795
2300	142,779	70,669	2,928	0,097	0,797» [2]

Продолжение таблицы 7

« n , об/мин	M_e , Н·м	v_a , км/ч	j_φ , м/с ²	D_a	j_a , м/с ²
2600	146,478	79,887	2,857	0,096	0,789
2900	149,355	89,104	2,777	0,094	0,772
3200	151,408	98,322	2,688	0,091	0,745
3500	152,637	107,540	2,590	0,087	0,707
3800	153,044	116,757	2,484	0,082	0,660
4100	152,627	125,975	2,368	0,076	0,603
4400	151,387	135,193	2,244	0,068	0,535
4700	149,323	144,410	2,112	0,060	0,458
5000	146,436	153,628	1,970	0,050	0,371
5300	142,726	162,846	1,820	0,040	0,274
5600	138,192	172,063	1,661	0,028	0,167
5900	132,835	181,281	1,493	0,015	0,050
6200	126,655	190,499	1,317	0,002	0,016» [2]

Далее предлагается рассчитать и построить график разгона легкового автомобиля на различных передачах.

2.6 Исследование временных характеристик разгона

«В качестве исходных данных для расчета используют данные из таблицы ускорений, рассчитанных ранее. Кривая ускорений для каждой передачи разбивается на несколько интервалов, и принимается допущение, что в каждом интервале движение происходит с постоянным ускорением:

$$j_{срi} = \frac{j_1 + j_2 + \dots + j_n}{n}. \quad (46)$$

Общее время разгона от скорости v_{min} до v_{max} равно сумме составляющих времени разгона t_i и суммарному времени, затраченному на переключения передач:

$$t_k = \sum_{i=1}^n t_i + t_n (n_{кн} - 1), \quad (47)$$

где n – количество интервалов изменения скорости;

t_n – время переключения передачи;

n_{kn} – количество ступеней в коробке передач, используемых при разгоне автомобиля» [23].

«Время t_n зависит от квалификации водителя, конструкции коробки передач и типа двигателя. Для механических коробок передач принимают t_n 1-2 с.

Время t_n для механических коробок примем равным 1,5с. За время переключения происходит падение скорости на время равное:

$$\Delta v_n = f g t_n. \quad (48)$$

Для получения характеристики разгона $s=f(t)$ необходимо определять приращения пути ΔS_i , проходимого автомобилем на всех интервалах изменения скорости» [23].

«Полагают, что в каждом из этих интервалов автомобиль движется равномерно со средним ускорением определенным ранее:

$$\Delta S_i = v_{i-1} \Delta t_i + \frac{j_{cpi} \Delta t_i^2}{2}. \quad (49)$$

При этом путь, проходимый за время переключения передач будем определять как:

$$\Delta S_{ni} = \Delta v_n t_n. \quad (50)$$

Общий путь можно определить по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^n \Delta S_i + \sum_{i=1}^{n-1} \Delta S_{ni} \gg [4]. \quad (51)$$

Внесем полученные данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Данные времени и пути разгона

Диапазон скоростей, км/ч	Δv_i , м/с	$j_{срi}$, м/с ²	Δt_i , с	ΔS_i , м
1 передача				
От 0 до 34,548	8,24	2,368	3,479	19,058
2 передача				
От 34,548 до 50,319	4,38	2,077	2,109	24,864
3 передача				
От 50,319 до 73,291	4,91	1,599	3,072	50,481
4 передача				
От 73,291 до 106,749	4,34	1,079	4,026	84,794
5 передача				
От 106,749 до 176,081	25,68	0,557	46,096	1662,768

Далее предлагается рассчитать и построить график мощностного баланса легкового автомобиля на различных передачах.

2.7 Анализ баланса мощностных показателей

«Уравнение мощностного баланса:

$$N_e + N_{\text{в.о.}} + N_{\text{тр}} + N_f + N_h + N_w + N_j = 0. \quad (52)$$

Эффективная мощность двигателя:

$$N_e = M_e \cdot \frac{\pi n_d}{30}, \quad (53)$$

Мощность, затрачиваемая на привод вспомогательного оборудования, определяется по формуле:

$$N_{\text{в.о.}} = -k_{\text{в.о.}} \cdot N_e, \quad (54)$$

где $k_{\text{в.о.}}$ – коэффициент отбора мощности на привод вспомогательного оборудования 0,03-0,07, для расчетов возьмем 0,05» [23].

«Мощность потерь на трение в трансмиссии:

$$N_{mp} = -N_e \cdot (1 - k_{e.o.}) \cdot (1 - \eta_{mp}), \quad (55)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению:

$$N_f = -m_n \cdot g \cdot f \cdot \cos \alpha. \quad (56)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъему:

$$N_h = -m_a \cdot g \cdot v \cdot \sin \alpha. \quad (57)$$

Мощность на преодоления сопротивления воздуха:

$$N_w = -k_w \cdot A_{\pi} \cdot v^3. \quad (58)$$

Мощность, затрачиваемая на разгон:

$$N_j = -\delta_{n.m.} \cdot m_a \cdot v \cdot j \gg [4]. \quad (59)$$

Полученные значения для разных оборотов заносим в таблицу 9.

Таблица 9 – Мощностной баланс

n_d , об/мин	M_e , Н·м	V , км/ч	j , м/с ²	N_e , кВт	$N_{e.o.}$, кВт	N_{mp} , кВт	N_f , кВт	N_{ψ} , кВт	N_w , кВт	N_j , кВт	N_d , кВт	N_k , кВт
800	104,6	22,0	0,58	8,7	-0,43	-0,33	-0,79	-0,79	-0,13	-7,1	8,3	7,9
1080	113,1	29,7	0,63	12,7	-0,63	-0,48	-1,08	-1,08	-0,33	-10,4	12,1	11,6
1640	127,6	45,1	0,70	21,9	-1,09	-0,83	-1,70	-1,70	-1,16	-17,6	20,8	19,9
1920	133,7	52,8	0,72	26,8	-1,34	-1,02	-2,05	-2,05	-1,87	-21,2	25,5	24,5
2480	143,6	68,2	0,74	37,2	-1,86	-1,41	-2,81	-2,81	-4,03	-28,3	35,4	34,0
2760	147,4	75,9	0,74	42,5	-2,12	-1,61	-3,23	-3,23	-5,56	-31,5	40,4	38,8
3320	152,7	91,3	0,72	53,0	-2,65	-2,01	-4,19	-4,19	-9,68	-36,6	50,4	48,4
3600	154,2	99,04	0,69	58,1	-2,90	-2,20	-4,72	-4,72	-12,35	-38,4	55,2	52,9
4160	154,8	114,4	0,62	67,4	-3,37	-2,56	-5,94	-5,94	-19,06	-39,9	64,0	61,5
4440	154,0	122,1	0,58	71,5	-3,57	-2,72	-6,62	-6,62	-23,17	-39,4	68,0	65,2
5000	150,0	137,5	0,46	78,5	-3,92	-2,98	-8,16	-8,16	-33,09	-35,4	74,6	71,6
5280	146,9	145,2	0,39	81,2	-4,06	-3,08	-9,02	-9,02	-38,97	-31,7	77,1	74,0
5840	138,3	160,6	0,22	84,5	-4,22	-3,21	-10,99	-10,9	-52,73	-20,4	80,3	77,1

6400	126,7	176,0	0,03	84,8	-4,24	-3,22	-13,14	-13,1	-69,40	-3,23	80,6	77,4
------	-------	-------	------	------	-------	-------	--------	-------	--------	-------	------	------

Далее предлагается рассчитать и построить график топливной характеристики легкового автомобиля на различных передачах.

2.8 Определение топливных характеристик при установившемся режиме движения

«Для построения топливной характеристики, рассчитаем путевой расход в зависимости от режима работы двигателя:

$$Q_s = \frac{g_o \cdot N_{o.n.}}{36 \cdot v \cdot \rho_T}, \quad (60)$$

где g_o – удельный расход топлива, зависящий от нагрузки двигателя и скоростного режима;

ρ_T – плотность топлива.

$$Q_s = \frac{651,58 \cdot 0,945}{36 \cdot 4,891 \cdot 0,750} = 33,68 \text{ л/100 км},$$

$$g_{eP} = (1,05 \div 1,15) \cdot g_{e\min}, \quad (61)$$

$$g_{eP} = 1,05 \cdot 220 = 231 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч},$$

$$g_o = g_{eP} \cdot k_H \cdot k_E, \quad (62)$$

где k_H – коэффициент использования мощности;

k_E – коэффициент учитывающий скоростной режим работы двигателя» [23].

$$g_o = 231 \cdot 2,49 \cdot 1,13 = 651,58 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}.$$

Для выбранного режима эксплуатации рассчитывается удельная нагрузка двигателя:

$$N_{\partial\partial} = N_{\partial.o.} + N_{mp} + N_f + N_h + N_w, \quad (63)$$

$$N_{\partial\partial} = 0,438 + 0,333 + 0,172 + 0 + 0,001 = 0,945 \text{ кВт}.$$

На основании полученных данных выполняем построение графиков в инженерном программном обеспечении КОМПАС-3D.

Выводы по разделу.

После выполнения тягово-динамического расчета автомобиля Renault Sandero Stepway можно сделать следующие выводы:

- определены основные характеристики автомобиля, такие как масса, мощность двигателя, коэффициент сопротивления движению, коэффициент аэродинамического сопротивления и так далее;
- рассчитаны тяговые характеристики автомобиля, такие как максимальная тяга, ускорение, максимальная скорость и так далее;
- определены оптимальные передаточные числа трансмиссии для достижения максимальной производительности автомобиля;
- проанализировано влияние различных факторов на тягово-динамические характеристики автомобиля, таких как изменение массы, мощности двигателя, типа трансмиссии и так далее

3 Конструкторская часть

«Подвеска Renault Sandero Stepway предназначена для обеспечения комфортного и безопасного движения автомобиля на различных дорогах. Она состоит из ряда элементов, которые взаимодействуют между собой для смягчения ударов и вибраций, возникающих в процессе движения.

Основные элементы подвески Renault Sandero Stepway:

- передняя подвеска: типа Макферсон, состоит из пружин, амортизаторов и стабилизатора поперечной устойчивости. Этот тип подвески обеспечивает хорошую управляемость автомобиля и позволяет снизить вес конструкции;
- задняя подвеска: полуторсионная разрезная торсионная балка с продольными рычагами и амортизаторами. Это надежная и простая конструкция, которая обеспечивает хорошую устойчивость автомобиля на дороге и комфорт для пассажиров;
- амортизаторы: газонаполненные, предназначены для поглощения ударов и вибраций, возникающих при движении автомобиля по неровным дорогам. Они также улучшают управляемость и стабильность автомобиля;
- стабилизаторы поперечной устойчивости: устанавливаются на передней и задней подвеске, их задача – предотвращать крен автомобиля при прохождении поворотов, что обеспечивает лучшую управляемость и безопасность;
- рычаги подвески: соединяют колеса с кузовом автомобиля и передают на него нагрузку от колес. Они также участвуют в поглощении ударов и вибраций;
- втулки подвески: изготовлены из резины или полиуретана, устанавливаются на рычагах подвески и служат для снижения вибраций и шума, передаваемых на кузов автомобиля» [23].

3.1 Описание подвески

«Подвеска МакФерсон – это тип подвески на автомобиль. Эту подвеску называют еще качающей свечей, подвеской МакФерсона. Этот тип подвески сменил подвеску на двойных рычагах расположенных поперечно, у которой амортизаторная стойка была основным элементом.

Своим названием подвеска обязана американскому инженеру Эрлу Стили МакФерсону, работавшему в фирме Форд. Эрлу удалось разработать данный тип подвески во второй половине 40-ых годов. В то время Эрл являлся сотрудником GM и работал над проектом, который не вошел в серийное производство легкого, а главное для американского рынка дешевого автомобиля Chevrolet Cadet. Позже Эрлу удалось применить разработанную подвеску на серийном авто Форд Ведет 1948 г, которое выпустил французский филиал компании. В 1950 году подвеска уже использовалась на Ford Zephyr, а в 1951 году на Ford Consul. Эти модели авто можно причислить к крупносерийным автомобилям с подвеской MacPherson, потому что завод в Пуасси, выпустивший Vedette, сначала испытывал существенные трудности осваивая новую модель» [10].

«Существуют аналогичные МакФерсону подвески, которые разрабатывались до начала 20 века. Например, аналогичный тип подвески был разработан в середине 1920 годов. Этот тип подвески разработал инженер фирмы Fiat Guido Fornasa, даже считается, что Эрл воспользовался некоторыми его разработками» [10].

«Непосредственным предком подвески МакФерсон является вариант передней подвески на двух поперечных рычагах, длина которых неравная.

У такой подвески пружина с амортизатором в едином блоке располагалась в месте над верхним рычагом. Такая конструкция придавала подвеске компактности, благодаря которой можно было пропустить между рычагами на переднеприводном автомобиле полуось с шарниром.

«МакФерсон вместо блока амортизатора, пружины, расположенной над верхним рычагом с шаровой опорой и самого верхнего рычага поставил амортизаторную стойку, на которой имеется закрепленное на брызговике крыло поворотного шарнира. В результате получилась компактная, конструктивно простая и дешевая подвеска, названная именем разработчика. Через время подвеска МакФерсона начала ставиться на ряде моделей фирмы Форд европейского рынка.

В оригинале шаровой шарнир в такой подвеске находился на продолжении оси стойки амортизатора и получается, что ось амортизаторной стойки являлась осью поворота колеса. Позже шаровой шарнир (на автомобилях Volkswagen Passat и Audi 80 первых поколений) начали смещать к колесу наружу, благодаря чему значения плеча обкатки стали меньше, появились даже отрицательные значения» [10].

«Данный тип подвески стал популярен в 1970 годы, после того как удалось решить все технологические проблемы, в том числе и проблемы, связанные с массовым выпуском амортизаторных стоек с нужным ресурсом. Этот тип подвески имеет целый ряд недостатков, но благодаря своей дешевизне и технологичности широко использовался в автомобилестроении

С наступлением 1980 г подвеска МакФерсона начала использоваться повсеместно, даже на дорогих и больших автомобилях, таких как Mercedes-Benz W124, Audi 100, Opel Senator. Почти весь модельный ряд БМВ (вторая половина 1970-начало 1990 годов) тоже стал снабжаться новой подвеской. Но спустя время рост потребительских и технических качеств был приостановлен за ненадобностью, дорогие автомобили начали снова оснащать подвеской на двойных рычагах, расположенных поперечно (Ауди А6 и Ауди А4, новые модели БМВ, Мерседес-Бенц W210). В производстве такие подвески более дорогие, но у них параметры кинематики лучше, что повышает ездовой комфорт. Эрл разработал такую подвеску, которая устанавливается на все колеса машины (задние и передние), именно так была использована подвеска в модели Chevrolet Cadet. Но первые серийные

модели снабжались подвеской только на передние колеса, а задняя оставалась без изменения, то есть зависимой с ведущим жестким мостом, которая располагалась на продольных рессорах. Это делало подвеску дешевой и упрощенной» [16].

«В 1957 году Колин Чепмен инженер фирмы Лотус использовал подобную подвеску на модели Лотус Элит, но уже для задних колес. Скорее всего, это и стало причиной того, что в англоязычных странах подвеска носит имя Чепмена. В Германии, например, такой разницы нет, поэтому там используется сочетание задняя подвеска MacPherson» [15].

«Подвеска с позиции конструкции, характеризуется получившей упрощение кинематикой. Ее компактность связана с заменой верхних рычагов на амортизационные стойки. При проектировании подвески ставилась цель добиться компактности устройства, простоты конструкции и дешевизны при производстве, поэтому комфорт и управляемость отодвигались на второй план» [21].

«Изначально конструкция подвески вызвала определенные сомнения. Предполагалось, что в плоскости развала могут возникать недопустимые колебания колес. Эти опасения не подтвердились. Амплитуда колебаний соответствовала нормальным значениям. При этом износ резины стал более равномерный.

После запуска подвески в производство McPherson продолжил работу над своим «детищем», пытаясь добиться еще большего удешевления продукта. В этом он не преуспел, так как дешевые материалы не позволяли обеспечить соответствующие характеристики прочности подвески» [22].

Принцип работы и схема крепления подвески

«Несущим элементом подвески является подрамник, который крепится резиновыми элементами с металлическими вставками. Такие элементы носят название сайлентблоки» [14].

В конструкции резиновые элементы нужны для снижения лишнего шума и вибрации. На подрамнике также закреплены поперечные рычаги

(левое и правое колеса). Каждый рычаг с подрамником соединяется резиновыми втулками в двух местах (рисунок 8).

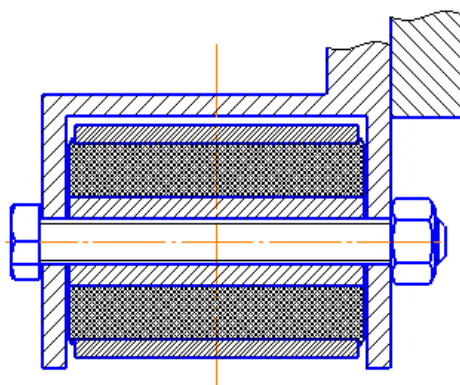


Рисунок 8 – Крепление нижнего рычага и подрамника

Новое двойное крепление подвески обеспечивает необходимую жёсткость в продольной плоскости движения автомобиля. Нижняя часть подвески присоединяется к поворотному кулаку посредством шаровой опоры. Сам же поворотный кулак прикрепляется к рулевой тяге через аналогичную шаровую опору. Верхняя часть поворотного кулака закреплена на амортизационной стойке с использованием зажима круглой формы, фиксируемого двумя болтами.

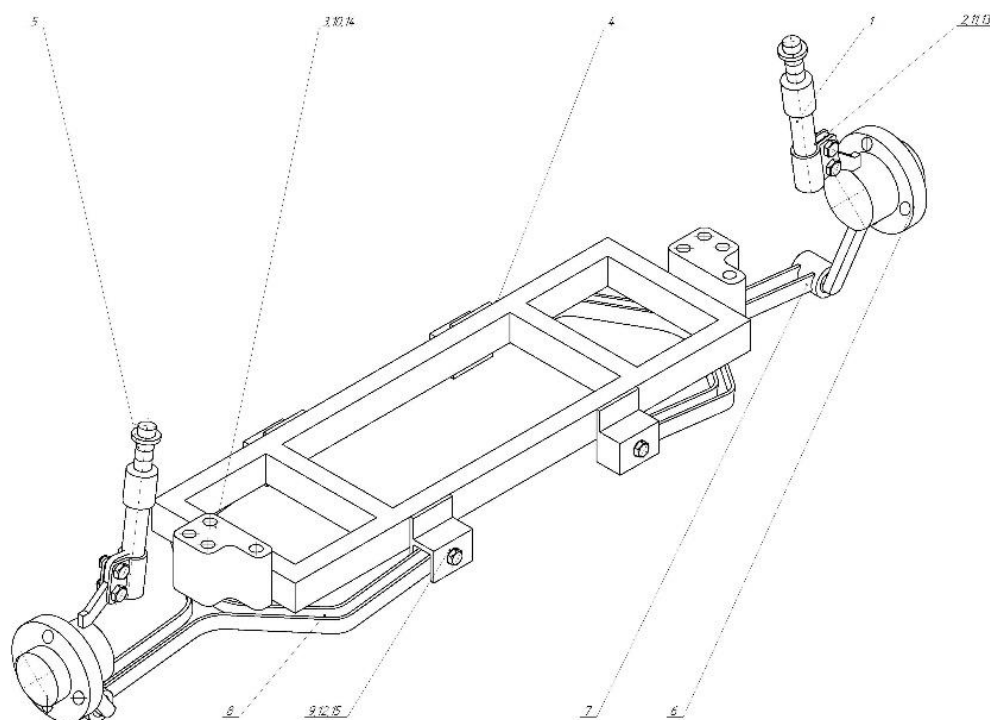
«Амортизационная стойка объединяет амортизатор и пружину, которые находятся на одной оси, причем пружина жестко зафиксирована на стойке и снабжена металлическим ограничителем снизу, предотвращающим чрезмерное разжимание. Сама стойка расположена между верхними и нижними креплениями, сверху закрепляясь опорным подшипником (чаще всего резинометаллическим), установленным на кузов автомобиля, а внизу соединяясь с поворотным кулаком.

Кроме того, в подвеске типа МакФерсон предусмотрены дополнительные боковые стойки стабилизатора, предназначенные для уменьшения боковых кренов кузова при прохождении поворотов» [20].

Конструкция задней независимой подвески Макферсон для автомобиля Renault Sandero Stepway представлена на рисунке 9.

«Этот тип подвески получил неофициальное название качающаяся свеча, подчёркивая ключевую роль амортизационной стойки в конструкции. Помимо неё, в состав входят такие важные узлы, как подрамник, поперечные рычаги и стабилизатор поперечной устойчивости. Все перечисленные элементы выполняют строго определённые функции, каждая из которых важна для общей работоспособности узла» [12].

Спецификации на заднюю подвеску легкового автомобиля Renault Sandero Stepway приведены в приложении А (иллюстрации А.1, А.2).



- 1 – амортизатор; 2 – крепление амортизатора; 3 – кронштейн; 4 – подрамник;
5 – буфер сжатия; 6 – ступица; 7 – сайлентблок для крепления ступицы и нижнего рычага;
8 – нижний рычаг; 9 – сайлентблок для крепления нижнего рычага и подрамника;
10 – сайлентблок для крепления кронштейна и подрамника; 11 – болт M14×1,5; 11 – болт
M10×1,25; 12 – болт M12×1,5; 13,14,15 – гайки

Рисунок 9 – Общий вид задней независимой подвески

«Подрамник выполняет роль опорной основы всей системы подвески как на передней оси, так и на задней. Подрамник крепится к кузову с

помощью кронштейнов. Места установки кронштейнов к кузову совпадают с местами крепления задней балки.

Подрамник может устанавливаться на раму, а в безрамных автомобилях может устанавливаться отдельно, частично выполняя функции рамы. В некоторых автомобилях, может не оказаться ни рамы, ни подрамника, тогда усиливающими элементами конструкции будут выступать лонжероны.

Именно к подрамнику, а не к кузову, крепятся рычаги подвески, штанги стабилизатора поперечной устойчивости, опора двигателя и рулевого механизма. Кроме того подрамник соединяет между собой элементы подвески» [5].

С помощью подрамника улучшается устойчивость и управляемость автомобиля.

Нижние рычаги.

«Нижние рычаги (рисунок 10) крепятся к подрамнику с помощью кронштейнов и придают всей конструкции жесткость. С другого конца к каждому поперечному рычагу крепится ступица, которая соединяется через резинометаллический шарнир» [3].



Рисунок 10 – Нижний рычаг

«Амортизатор представляет собой деталь, предназначенную для смягчения резкого разжатия пружины и гашения её колебаний.

Стойкой же называют целый комплекс элементов, основными в котором являются пружина и амортизатор.

В задачи стойки входит не только повышение комфорта, но и поддержание управляемости на разных скоростях, а также самое главное – соединение кузова с колесными механизмами.

Чтобы всё вышесказанное было понятнее, рассмотрим более детально конструктив всей стойки. Итак, она состоит из следующих деталей:

- непосредственно сам амортизатор или, как его ещё называют в технической литературе – стойка телескопическая;
- пружина – ключевая деталь конструкции;
- шток амортизатора с кожухом;
- ушко крепления;
- опора стойки верхняя;
- упорная чашка пружины;
- подшипник опоры;
- различные крепёжные элементы.

Основными в этом семействе, как было сказано выше, пружина и амортизатор, которые работают в паре» [7].

О них мы расскажем подробнее.

Пружины (рисунок 11).

«Пружина благодаря своей упругости, в первую очередь воспринимает на себя все неровности дороги, коих в нашей стране немало. По сути, главным демпфирующим элементом, который не даёт нам почувствовать своей пятой точкой все прелести ухабов, является именно она.

Но у пружины есть один большой недостаток – после того как она сжалась, к примеру, после наезда на выбоину, она разжимается и продолжает колебаться вверх и вниз, пока вновь не войдёт в состояние равновесия» [20].



Рисунок 11 – Пружина амортизатора

«Такие колебания вряд ли можно назвать комфортными, ведь они передаются на весь кузов. Кто ездил на автомобиле с неисправными амортизаторами знает, автомобиль раскачивается и становится практически неуправляемым.

Так вот тут в работу и вступает амортизатор. Он моментально и плавно гасит эти колебания пружины. Это дарит не только приятные ощущения людям в машине, но и положительно отражается на устойчивости авто на дороге и его управляемости в целом» [23].

Амортизаторы.

«Конструкция этого элемента более сложная, чем у пружины. В самом простом виде он представляет собой цилиндр, заполненный газом или жидкостью, внутри которого ходит поршень.

Несколько слов об амортизаторах, а вернее об их разновидностях. Существуют масляные, газовые, газомасляные амортизаторы.

Первый вид наиболее распространён в силу простоты конструкции. Масляные телескопические стойки отлично подходят для передвижения по городу и не сильно жёсткие. Газовые амортизаторы, которые, по правде говоря, наполнены и маслом и газом, наиболее жёсткие из всей тройки и в

первую очередь подходят для спортивных машин, которым требуется высокая стабильность в поворотах и на скоростях.

Последняя разновидность является чем-то средним по своим характеристикам между первыми и вторыми» [6].

Стабилизатор.

«При движении автомобиля в повороте или по змейке под действием центробежных сил происходит перераспределение нагрузки между упругими элементами подвесок: со стороны наружных колес по отношению к радиусу качения нагрузка повышается, а с внутренней – снижается. В результате автомобиль кренится или раскачивается в поперечной плоскости. Подобные явления очень опасны, так как способны вызвать опрокидывание автомобиля и потерю контроля над его управляемостью. А так как величина крена и степень раскачивания во многом зависят от хода подвески – чем больше ход, тем больше крены, то для исключения вышеописанных недостатков этот показатель необходимо уменьшать.

Достигнуть этого можно несколькими способами – путем увеличения жесткости упругих элементов, установления короткоходных амортизаторов и ограничителей хода рычагов или же внедрив в конструкцию узел, который в поворотах выполнял бы роль дополнительного упругого элемента. Первые два способа оказались наименее подходящими, так как значительно снижали комфортность автомобиля – они применяются в основном в спортивных болидах и их прототипах. Поэтому в конструкции подвески использовали новый упругий элемент – стабилизатор поперечной устойчивости, работающий только в случаях перемещения колес одной оси в разных направлениях – одно вверх, другое вниз» [7].

«Конструктивно стабилизатор ничего сложного собой не представляет. Это штанга U-образной формы с изогнутыми под определенными углами концами. В современных автомобилях компактное расположение агрегатов и узлов не всегда позволяет сделать центральную часть штанги прямой, поэтому бывают и более сложные ее конфигурации. Изготавливают

стабилизаторы из отрезка цилиндрического профиля. В качестве материала используют специальную сталь, которая при скручивании способна работать как упругий элемент.

Центральная часть стабилизатора крепится в двух точках параллельно оси колес к кузову или подрамнику кронштейнами с упругими демпферами (резиновыми втулками), а его концы соединяются непосредственно с «несущей» деталью подвески колес – рычагами, балкой, картером моста. Когда упругие элементы подвески с одной стороны сжимаются, а с другой – растягиваются, средняя часть стабилизатора скручивается, начиная работать как упругий элемент, по принципу торсионов.

То есть суть в том, что со стороны крена стабилизатор стремится приподнять автомобиль, а с другой, сжав упругий элемент подвески, – опустить его. Так обеспечивается выравнивание автомобиля по отношению к плоскости дороги. У некоторых переднеприводных автомобилей функцию стабилизатора на задней оси часто выполняет поперечная балка, жестко соединяющая продольные рычаги подвески задних колес» [21].

«При движении по неровностям, в поворотах, на змейке эта деталь работает на скручивание, поэтому такие подвески называют полунезависимыми. В отличие от них практически все многорычажные независимые подвески оснащены стабилизатором. Так как стабилизатор работает только в плоскостях, приближенных к горизонтальной, это накладывает определенные сложности при компоновке автомобилей. Для их решения в подвески введены новые элементы – стойки стабилизатора, которые связывают рычаги подвески со стабилизатором в вертикальной плоскости» [15].

Плюсы и минусы подвески МакФерсона.

«Несмотря на массовое распространение этого вида независимой подвески, у нее имелись как преимущества, так и недостатки из-за которых, в частности, многие производители отказались от использования МакФерсон на своих моделях, и вернулись к усовершенствованным подвескам на

двойных поперечных рычагах. Впрочем, благодаря преимуществам, которые в процессе разработки выделил сам Эрл МакФерсон, подобная конструкция подвески до сих пор самая массовая» [21].

«К плюсам этого вида подвески относится компактность, малая масса неподрессоренных элементов, относительная дешевизна изготовления. К тому же, за счет значительного расстояния между опорными узлами по высоте, такая подвеска лучше компенсирует силы реакции дороги, которые передаются от колес в места ее крепления к кузову. Также эта подвеска может производить большие конструктивные ходы, что тоже является положительным аспектом ее конструкции. Наконец, ее упорный подшипник, нижний рычаг и шаровой шарнир обладают большим запасом стойкости.

Перейдем к недостаткам. Подвеска МакФерсон обладает большими ходами подвески, чем та же конструкция с двойными поперечными рычагами, а это негативно сказывается на управляемости автомобилем. Второй минус – передача сил реакции от дороги тут приходится на брызговик крыла, который является не самой надежной конструкцией. Поэтому постепенно при езде по дорогам низкого качества (характерно для России) начинается разрушение точек крепления амортизационных стоек к брызговику. Это в значительной мере снижает ресурс подвески. Третий минус – неразборная конструкция современных амортизационных стоек. При их износе приходится заменять стойку в сборе. Если этого не сделать, подвеска будет регулярно пробиваться, что в конечном итоге скажется на нарушении геометрии кузова. Четвертый минус – ухудшение работы подвески из-за возникающего между штоком и направляющей трения. Пятый минус – низкий уровень изоляции от шумов, исходящих от дорожного покрытия» [13].

В данном подразделе описано устройство задней независимой подвески. Обосновано, что она обладает рядом преимуществ: компактностью, малой массой неподрессоренных частей и невысокими значениями реакций от дороги.

3.2 Расчет задней независимой подвески

Расчёт будем производить исходя из максимальной массы автомобиля.

Данные взяты из технических характеристик автомобиля [1, 2]:

«Максимальная масса, действующая на подвеску: $M = 1565$ кг.

Расстояние от переднего колеса до заднего: $L = 2,588$ м.

Расстояние от центра масс автомобиля до центра масс задней подвески:

$$l_2 = 1,25 \text{ м.}$$

Масса неподрессоренных частей: $M_{н.ч.} = 88$ кг.

Коэффициент сжатия: $K_e = 0,8$.

Коэффициент относительного сжатия: $K_e' = 0,72$.

Коэффициент отбоя: $K_o = 0,78$.

Коэффициент динамичности: $K_d = 0,4$.

Коэффициент аппериодичности: $n = 0,2$.

Прогиб до вступления в работу буфера: $f = 0,8$.

Вес автомобиля: $G = 15650$ Н.

Коэффициент динамичности амортизатора: $\beta = 6$.

Предел текучести материала: $\sigma_m = 400$ МПа.

Коэффициент запаса: $n = 4$.

Длина рычага: $l_p = 0,52$ м.

Коэффициент приведения длины: $\mu = 1$.

Индекс пружины : $\beta = 6$.

Касательные напряжения: $\tau = 750$ МПа » [10].

Выбор вертикальной упругой характеристики подвески.

«Упругая характеристика подвески — это зависимость между вертикальной нагрузкой P и деформацией подвески f , измеренной непосредственно над осью колеса.

Собственная частота колебаний поддресоренных масс должна находится в пределах, соответствующих колебаниям тела человека при спокойной ходьбе, то есть примерно $n=1,25$ кол./ч.

Тогда статический прогиб подвески равен:

$$f_{cm} = \frac{g}{4 \cdot \pi^2 \cdot n^2} \quad (64)$$

где n – собственная частота колебаний (кол/ч)» [9].

$$f_{cm} = \frac{9,81}{4 \cdot 3,141^2 \cdot 1,25^2} = 0,159 \text{ м.}$$

«Определяем статическую нагрузку:

$$P_{cm} = G_1 - G_{н.ч.}, \quad (65)$$

где G_1 – вес, приходящийся на заднюю ось при полной загрузке;

$G_{н.ч.}$ – вес неподрессоренных частей.

$$G_1 = M_1 \cdot g, \quad (66)$$

где M_1 – масса автомобиля, приходящаяся на заднюю подвеску.

$$M_1 = M \cdot \frac{l_2}{L}, \quad (67)$$

где M – масса, действующая на подвеску;

L – расстояние от переднего колеса до заднего;

l_2 –расстояние от центра масс автомобиля до центра масс задней подвески».

$$M_1 = 1565 \cdot \frac{1,25}{2,588} = 755,89 \text{ кг.}$$

$$G_1 = 755,89 \cdot 9,81 = 7415,3 \text{ Н.}$$

$$G_{н.ч.} = M_{н.ч.} \cdot g, \quad (68)$$

где $M_{н.ч.}$ – масса неподрессоренных частей» [17].

$$G_{н.ч.} = 88 \cdot 9,81 = 873 \text{ Н,}$$

$$P_{см} = 7415,3 - 873 = 6542,3 \text{ Н.}$$

«Динамический ход колеса вверх от хода сжатия:

$$f_{\partial в} = K_e f_{см}, \quad (69)$$

где $f_{\partial в}$ – динамический ход колес вверх от хода сжатия (м);

$f_{см}$ – статический прогиб подвески (м);

K_e – коэффициент сжатия» [9].

$$f_{\partial в} = 0,8 \cdot 0,159 = 0,128 \text{ м.}$$

«Динамический ход колеса вниз от хода отбоя

$$f_{\partial н} = K_o f_2, \quad (70)$$

где f_2 – перемещение колес подвески до включения ограничителя при ходе сжатия (м);

K_o – коэффициент отбоя.

$$f_2 = K'_e f_{\partial в} \quad (71)$$

где K'_e – коэффициент относительного сжатия.

$$f_2 = 0,72 \cdot 0,128 = 0,09216 \text{ м,}$$

$$f_{\partial н} = 0,78 \cdot 0,0892 = 0,06957 \text{ м.}$$

$$f_1 = K'_e f_{\partial н}, \quad (72)$$

где f_1 – перемещение колес при ходе отбоя» [17].

$$f_1 = 0,72 \cdot 0,06957 = 0,050 \text{ мм.}$$

«Динамическая нагрузка определяется:

$$P_{\partial} = K_{\partial} \cdot P_{cm}, \quad (73)$$

где P_{∂} – динамическая нагрузка (Н);

K_{∂} – коэффициент динамичности» [3].

$$P_{\partial} = 0,4 \cdot 4081 = 1987 \text{ Н.}$$

«Определяем приведенную жесткость подвески:

$$C_p = \frac{P_{cm}}{f_{cm}}, \quad (74)$$

где C_p – приведенная жесткость подвески» [3].

$$C_p = \frac{6542,3}{0,159} = 41146,5 \text{ Н/м.}$$

Для значений перемещений от -71,68 до 128 мм через каждые 5 мм определим силу упругого сжатия (растяжения) в подвеске.

3.3 Расчет характеристики амортизатора

«Для расчета параметров амортизатора сначала выбираем коэффициент апериодичности n равный 0,2.

$$K = n \cdot \sqrt{\frac{M}{2} \cdot c}, \quad (75)$$

где n – коэффициент апериодичности,

M – масса, приведенная к центру колеса (кг);

c – жесткость подвески, приведенная к центру колеса (Н/м);

K – коэффициент сопротивления амортизатора.

$$c = \frac{G}{f}, \quad (76)$$

где G – вес автомобиля (Н);

f – прогиб до вступления в работу буфера» [17].

$$c = \frac{15650}{0,87} = 17988,5 \text{ Н/м},$$

$$K = 0,2 \sqrt{\frac{1045}{2} \cdot 17988,5} = 6130.$$

«Учитывая, что коэффициент сопротивления на ходе отбоя [3]:

$$K_{отб} = \beta K_{сж}, \quad (77)$$

где $K_{сж}$ – коэффициент сопротивления на ходе сжатия,

β – коэффициент динамичности амортизатора» [17].

$$K = \frac{K_{сж} + K_{отб}}{2} = \frac{K_{сж} + \beta K_{сж}}{2}. \quad (78)$$

Определяем коэффициент сопротивления амортизатора на ходе сжатия:

$$K_{сж} = \frac{2K}{1 + \beta}, \quad (79)$$

$$K_{сж} = \frac{2 \cdot 6130}{1 + 6} = 1751,4.$$

Определяем коэффициент сопротивления амортизатора на ходе отбоя:

$$K_{отб} = 6 \cdot 1751,4 = 10508,4.$$

«По характеристикам строится характеристика амортизатора, в которой сила сопротивления [3]:

$$F = K_i \cdot V_n, \quad (80)$$

где F – сила сопротивления (Н);

K_i – коэффициент сопротивления амортизатора на ходе сжатия или отбоя;

V_n – скорость поршня» [17].

Максимальная скорость поршня принимается 0,6 м/с.

$$F_{\max отб} = K_{отб} \cdot V_{\max}, \quad (81)$$

$$F_{\max отб} = 10508,4 \cdot 0,6 = 6305 \text{ Н},$$

$$F_{\max сж} = K_{сж} \cdot V_{\max}, \quad (82)$$

$$F_{\max сж} = 1751,4 \cdot 0,6 = 1050,84 \text{ Н}.$$

«Площадь поршня:

$$S = \frac{F_{\max}}{p_{\max}}, \quad (83)$$

где S – площадь поршня;

$F_{\max}$ – максимальная сила сопротивления на ходе сжатия или отбоя;

$p_{\max}$ – максимальное давление в амортизаторе» [17].

$$S = \frac{6305}{4} = 1576,25 \text{ мм}^2.$$

«Диаметр поршня [3]:

$$d_n = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad (84)$$

где d_n – диаметр поршня;

S – площадь поршня» [17].

$$d_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,464}{\pi}} = 44 \text{ мм.}$$

Определим диаметр штока, приняв его длину равной 300 мм.

«Из расчета на устойчивость штока при максимальном осевом сжатии:

$$D = \sqrt[4]{\frac{F_{\text{maxсж}} \cdot 64 \cdot L^2}{\pi^3 \cdot E}}, \quad (85)$$

где D – диаметр штока;

L – длина штока;

E – модуль Юнга;

$F_{\text{maxсж}}$ – максимальная сила сопротивления на ходе сжатия» [17].

$$D = \sqrt[4]{\frac{1050,84 \cdot 64 \cdot 0,3^2}{\pi^3 \cdot 2,05 \cdot 10^5}} = 0,0175 \text{ м} = 17,5 \text{ мм.}$$

По ГОСТ диаметр штока принимаем равным 18 мм и выбираем амортизатор с диаметром кожуха 70 мм.

3.4 Расчет нижнего рычага

«Для нормальной работы узла должно выполняться условие [5]:

$$\sigma_m = \frac{K}{A} \leq [\sigma_m] \quad (86)$$

где σ_m – предел текучести материала (МПа);

K – нагрузка на рычаг (Н);

A – поперечное сечение рычага в опасном сечении (мм);

$[\sigma_m]$ – допускаемое напряжение (МПа).

$$A = lh + 2hb, \quad (87)$$

где l – ширина рычага в опасном сечении (мм);

h – ширина профиля (мм)

b – высота рычага (мм)» [19].

Примем $\frac{l}{h} = 6$; $\frac{b}{h} = 3$.

$$A = 6h^2 + 6h^2 = 12h^2.$$

Задаемся пределом текучести материала и коэффициентом запаса прочности. Выбираем материал Сталь 40 как наиболее удовлетворяющий по прочностным и экономическим соображениям: $\sigma_m = 400$ МПа. – для материала сталь 40.

«Находим допускаемое напряжение по формуле:

$$[\sigma_m] = \frac{\sigma_m}{n}, \quad (88)$$

где n – коэффициент запаса, принимаем равным 4» [25].

$$[\sigma_m] = \frac{400}{4} = 100 \text{ МПа.}$$

Находим ширину профиля, исходя из максимально допустимых напряжений [5]:

$$A = \frac{G}{[\sigma_m]}, \quad (89)$$

$$A = 12h^2 \Rightarrow h = \sqrt{\frac{G}{12[\sigma_m]}}, \quad (90)$$

$$h = \sqrt{\frac{15650}{12 \cdot 100}} = 8,9 \text{ мм.}$$

По ГОСТ 6636-69 выбираем из ряда нормальных линейных размеров $h = 10 \text{ мм} \Rightarrow l = 60 \text{ мм}; b = 30 \text{ мм}; A = 120 \text{ мм}^2$.

«При расчете рычага на сжатие следует учитывать коэффициент уменьшения допускаемого напряжения на сжатие с учетом возможности продольного изгиба φ .

Коэффициент выбирается по таблице в зависимости от значения гибкости материала:

$$\lambda = \frac{\mu \cdot l_p}{i_x}, \quad (91)$$

где μ – коэффициент приведения длины, принимаем равный 1;

l_p – длина рычага;

i_x – радиус инерции.

$$i_x^2 = \frac{I_x}{A}, \quad (92)$$

где I_x – осевой момент инерции» [25].

$$I_x = \frac{l^3(h+b) - b(l-2h)^3}{12}, \quad (93)$$

$$I_x = \frac{60^3 \cdot (10 + 30) - 30 \cdot (60 - 2 \cdot 10)^3}{12} = 56000 \text{ мм}^2,$$

$$i_x = \sqrt{\frac{3500}{120}} = 15,1 \text{ мм},$$

$$\lambda = 1 \cdot \frac{520}{15,1} = 45,1.$$

Значению λ равное 45,1 соответствует значение φ равное 0,65.

«Находим диаметр тяги:

$$A = \frac{G}{\varphi \cdot [\sigma_m]}, \quad (94)$$

где φ – коэффициент продольного изгиба» [25].

$$h = \sqrt{\frac{15650}{0,65 \cdot 100 \cdot 12}} = 20,06 \text{ мм}.$$

По ГОСТ 6636-69 выбираем из ряда нормальных линейных размеров h равное 20 мм.

3.5 Расчет пружины

«Основным упругим элементом современных автомобилей является пружина. Выберем предварительно передаточное число подвески и индекс пружины:

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{c \cdot f_o \cdot \beta \cdot i \cdot K}{\tau}}, \quad (95)$$

где c – жесткость подвески (Н/м);

f_o – перемещение колес при ходе отбоя (м);

β – индекс пружины, принимаем равным 6;

i – передаточное отношение подвески;

τ – касательные напряжения, принимаем равным 750 МПа» [18].

$$i = \frac{G_1}{G_1 - G_{н.ч.}}, \quad (96)$$

$$i = \frac{7415,3}{7415,3 - 880} = 1,13.$$

Определим коэффициент, учитывающий кривизну витка:

$$K = 1 + \frac{1,5}{\beta}, \quad (97)$$

$$K = 1 + \frac{1,5}{9} = 1,2.$$

$$d = 1,6 \sqrt{\frac{41146,5 \cdot 0,050 \cdot 6 \cdot 1,13 \cdot 1,2}{750}} = 14,7 \text{ мм.}$$

По ГОСТ Р 53827-2010 найдем ближайшее значение d равное 15 мм, D равное 90 мм.

«Найдем полное число витков:

$$Z = \frac{0,81 \cdot c \cdot f_o^2 \cdot G}{\tau^2 \cdot D \cdot d^2}, \quad (98)$$

где G – модуль упругости, принимаем равным $7,8 \cdot 10^4$ МПа;

D – внутренний диаметр пружины, мм;

d – диаметр прутка, мм» [10].

$$Z = \frac{0,81 \cdot 41146 \cdot 0,05^2 \cdot 7,8 \cdot 10^4}{750^2 \cdot 90 \cdot 15^2} = 5,7 \approx 6.$$

Выводы по разделу.

В рамках данного раздела были проведены следующие расчетно-конструкторские работы:

- определение вертикальной упругой характеристики подвески – рассчитаны жесткость и рабочий ход подвески, обеспечивающие оптимальные параметры плавности хода;
- расчёт параметров амортизатора – определены его основные геометрические размеры, подобраны характеристики демпфирования для эффективного гашения колебаний;
- прочностной анализ рычага подвески – выполнены расчёты на изгиб и сжатие, подтверждающие его надёжность при эксплуатационных нагрузках, а также установлены оптимальные размеры конструкции;
- расчёт рабочей пружины подвески – определены её жёсткость, длина в свободном и сжатом состояниях, а также запас прочности.

4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [14].

В ходе данного процесса осуществляется:

- поэтапная интеграция отдельных элементов в функциональные узлы,
- комплексирование механизмов в единую систему,
- формирование готового транспортного средства.

Все операции выполняются в соответствии с:

- техническими спецификациями производителя,
- нормативными требованиями безопасности,
- параметрами качества сборки,
- производственными стандартами предприятия.

Ключевыми характеристиками процесса являются:

- четкая последовательность операций,
- контроль на каждом этапе сборки,
- соблюдение технологических нормативов,
- обеспечение заданных эксплуатационных качеств конечного продукта.

Результатом процесса становится полностью функциональное транспортное средство, соответствующее всем заявленным техническим и эксплуатационным требованиям.

Трудоемкость сборочных работ при производстве автомобилей и тракторов определяется совокупностью следующих ключевых факторов:

- конструктивные особенности: сложность и количество соединяемых узлов; степень унификации деталей; применение модульных принципов сборки;

- технологические аспекты: тип организации производства (конвейерная/позиционная сборка); степень механизации и автоматизации процессов; используемое оборудование и оснастка; требования к точности соединений;
- человеческий фактор: квалификация рабочих; организация рабочих мест; система контроля качества; применение нормативов времени.

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

- для крупногабаритных конструкций (корпуса машин, рамы) требуются: подъемно-транспортное оборудование (мостовые краны, тельферы), специализированные сборочные стенды, позиционная организация работ;
- мелкие узлы и компоненты позволяют применять: роботизированные сборочные комплексы, конвейерные линии, высокую степень автоматизации.

4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки

Рациональная организация сборки – это оптимизация процесса сборки изделий для минимизации времени, затрат и трудоёмкости при обеспечении высокого качества.

Основные принципы рациональной организации сборки:

- разделение сборки на узлы и подузлы;
- сборка сложных изделий разбивается на отдельные узлы, которые собираются параллельно, это ускоряет процесс и позволяет специализировать рабочие места;
- поточный метод сборки: организация конвейерных линий с чётким тактом (ритмом) работы. Каждая операция выполняется за фиксированное время на отдельной рабочей позиции;

- механизация и автоматизация: использование сборочных роботов, автоматических линий, пневмо- и электроинструмента;
- внедрение систем ЧПУ (числового программного управления) для точной сборки;
- стандартизация и унификация: применение одинаковых крепёжных элементов, соединений и методов сборки; использование модульных конструкций для упрощения сборки;
- оптимизация трудовых процессов: изучение и устранение лишних движений (методы научной организации труда);
- правильная организация рабочего места (эргономика, доступность инструментов): контроль качества на каждом этапе, встроенный контроль (проверка узлов после каждой операции), использование систем визуализации дефектов (например, контрольные метки, датчики);
- логистика и снабжение: чёткое планирование подачи деталей и комплектующих к месту сборки (система «just-in-time»); минимизация простоев из-за нехватки материалов.

Методы оптимизации сборки:

- метод групповой сборки – одновременная сборка однотипных изделий;
- комплекточные тележки/контейнеры – предварительная подготовка деталей для каждой операции;
- использование CAD/CAM-систем – цифровое моделирование сборки для выявления ошибок до производства.

Учитывая ограниченный спрос на заднюю независимую подвеску для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит:

- минимизировать издержки за счёт гибкости производства,
- избежать избыточных запасов комплектующих,

- адаптировать процесс под индивидуальные требования заказчиков.

В отличие от массового выпуска, мелкосерийная сборка обеспечит экономическую целесообразность при небольшом количестве заказов.

В условиях мелкосерийного выпуска применяется стационарная непоточная сборка, при которой процесс делится на два ключевых этапа:

- узловая сборка – формирование отдельных компонентов конструкции;
- общая сборка – компоновка готовых узлов в конечное изделие.

Работы выполняются специализированными бригадами, что обеспечивает:

- гибкость производственного процесса,
- эффективное использование квалификации персонала,
- возможность параллельного выполнения операций.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_d = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (72)$$

где F_d – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным 2070 ч. для стационарной сборки на необорудованном оборудовании;

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 120 шт».

$$T_d = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{120} = 1035 \text{ ч.}$$

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства.

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,
- детальное описание всех сборочных этапов» [14].

Данный подход обеспечивает:

- четкую стандартизацию производственных этапов,
- контроль трудоемкости операций,
- минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway приведена в таблице 10.

Таблица 10 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки

Операция	Детали/инструмент	Технические требования	Время, мин.
«1 Извлечение подрамника из контейнера	Подрамник, контейнер	Отсутствие механических повреждений, соответствие каталожному номеру	1
2 Визуальный контроль подрамника на дефекты	–	Отсутствие трещин, коррозии, деформаций» [6].	3
3. Подготовка сайлентблока для соединения нижнего рычага и подрамника	Сайлентблок, перчатки	Соответствие размеров, отсутствие расслоения резины	0,5
4 Проверка сайлентблока на повреждения	–	Отсутствие разрывов, равномерность структуры	1
5 Подготовка крепежных элементов (болты М12×1,5 и гайки М12, 2 комплекта)	Болты М12×1,5, гайки М12, динамометрический ключ	Затяжка с моментом 90–110 Н·м, отсутствие сколов резьбы	0,5
6 Извлечение нижнего рычага	Нижний рычаг	Отсутствие деформаций, соответствие геометрии	0,2
7 Контроль состояния нижнего рычага	–	Отсутствие трещин, коррозии в зонах крепления	1
8 Монтаж нижнего рычага на подрамник с фиксацией болтами и гайками	Динамометрический ключ, отвертка	Затяжка болтов с моментом 90–110 Н·м, соосность отверстий	4
9 Подготовка	Сайлентблок	Отсутствие следов	0,2

Продолжение таблицы 10

Операция	Детали/инструмент	Технические требования	Время, мин.
сайлентблока для ступицы и нижнего рычага		износа, соответствие размерам	
«10 Проверка сайлентблока на целостность	—	Равномерность резинового слоя, отсутствие расслоения	1
11 Извлечение ступицы с кронштейном амортизатора	Ступица, кронштейн	Отсутствие люфтов подшипников, целостность крепежных отверстий	0,5
12 Осмотр ступицы и кронштейна на дефекты	—	Отсутствие трещин, деформаций, коррозии	1» [23]
13 Установка ступицы через сайлентблок на нижний рычаг	Пресс для запрессовки, смазка графитовая	Плотная посадка без перекосов, зазор не более 0,1 мм	5
14 Подготовка амортизатора	Амортизатор	Отсутствие подтеков масла, плавность хода	0,5
15 Контроль амортизатора на отсутствие повреждений	—	Герметичность, отсутствие вмятин на корпусе	2
16 Подготовка крепежа (болты М10×1,5 и гайки М10, 2 комплекта)	Болты М10×1,5, гайки М10, динамометрический ключ	Затяжка с моментом 50–60 Н·м, резьба без повреждений	0,5
17 Фиксация амортизатора на ступице	Динамометрический ключ	Соблюдение угла установки, равномерная затяжка крепежа	5
18 Подготовка буфера сжатия	Буфер сжатия	Отсутствие трещин, соответствие жесткости (по каталогу Renault)	0,5
19 Проверка буфера на дефекты	—	Отсутствие расслоений, равномерность структуры	1
20 Установка буфера сжатия на амортизатор	—	Плотная посадка без зазоров, фиксация в штатном положении	2
21 Повтор операций 3–20 для противоположной стороны подвески	Аналогичные детали и инструменты	Соблюдение симметрии сборки	29,4
22 Финальный контроль качества сборки	Измерительные инструменты (люфтомер, шаблоны)	Отсутствие люфтов, соответствие параметрам Renault Sandero Stepway	10

Для оптимизации производственного графика выполним расчет суммарной продолжительности всех технологических операций по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n} . \quad (73)$$

Методика расчета основана на суммировании нормированного времени по всем позициям технологической карты с применением поправочных коэффициентов.

Полученные данные позволяют точно планировать производственные мощности и загрузку оборудования.

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{шт}^{общ} = t_{он}^{общ} + t_{он}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (74)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 3%;
 β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 5%» [23].

$$t_{шт}^{общ} = 144,2 + 144,2 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 155,73 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составляет 155,73 мин.

Проведена оптимизация процесса сборки изделия для минимизации времени, затрат и трудоёмкости при обеспечении высокого качества.

Далее предлагается рассмотреть вопрос технологический процесс сборки, а учитывая ограниченный спрос на заднюю независимую подвеску для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Необходимо помнить, что результатом процесса сборки становится полностью функциональное узел (задняя подвеска), соответствующее всем заявленным техническим и эксплуатационным требованиям.

4.2 Проектирование технологического процесса сборки задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 11.

Таблица 11 – Технологический процесс сборки задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
«005	Сборочная	1	Взять подрамник из контейнера	Подъёмник, стенд для сборки подвески, гидравлический пресс, компрессор с пневматическим инструментом, торцевые головки (на 10–24 мм), динамометрический ключ, гидравлический домкрат, специальные оправки для запрессовки сайлентблоков, молоток (резиновый и металлический), зубило, монтажные лопатки, трубки, линейка, штангенциркуль, тележка для перевозки узлов подвески. Смазка (литиевая, графитовая, медная), резьбовой фиксатор (Loctite)	58,8
		2	Осмотреть подрамник на наличие повреждений и дефектов		
		3	Взять сайлентблок для крепления нижнего рычага и подрамника		
		4	Осмотреть сайлентблок для крепления нижнего рычага и подрамника на наличие повреждений и дефектов		
		5	Взять болт M12×1,5 (2 шт.), гайку M12 (2 шт.)		
		6	Взять нижний рычаг (1 шт.)		
		7	Осмотреть нижний рычаг (1 шт.) на наличие повреждений и дефектов		
		8	Установить нижний рычаг в кронштейн подрамника и зафиксировать при помощи болтов M12×1,5 (2 шт.), гаек M12 (2 шт.)» [6].		

Продолжение таблицы 11

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
		«9	Взять сайлентблок для крепления ступицы и нижнего рычага		
		10	Осмотреть сайлентблок для крепления ступицы и нижнего рычага на наличие повреждений и дефектов		
		11	Взять ступицу с кронштейном для крепления амортизатора (1 шт.)		
		12	Осмотреть ступицу с кронштейном на наличие повреждений и дефектов		
		13	Установить ступицу с кронштейном через сайлентблок для крепления ступицы и нижнего рычага к нижнему рычагу		
		14	Взять амортизатор		
		15	Осмотреть амортизатор на наличие повреждений и дефектов		
		16	Взять болт М10×1,5 (2 шт.), гайку М10 (2шт.)		
		17	Установить амортизатор на ступицу при помощи болта М10×1,5 (2 шт.), гайки М10 (2 шт.)		
		18	Взять буфер сжатия		
		19	Осмотреть буфер сжатия на наличие повреждений и дефектов		
		20	Установить буфер сжатия на амортизатор		
		21	Повторить операции 3-20 для другой стороны» [6].		

Продолжение таблицы 11

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
010	Регулировочная	1	Проверить качество выполненных операций	Набор головок, рожковые ключи, отвертка, динамометрический ключ	10

Дополнительные требования при сборке и испытаниях.

Критичные соединения должны затягиваться с определённым моментом (уточнять по сервисной документации Renault):

- болты крепления рычагов подвески – обычно 50-70 Н·м и доворот на угол (если указано);
- гайки амортизаторов – 40-60 Н·м;
- ступичная гайка – 180-220 Н·м (может требовать замены после откручивания);
- соединения стабилизатора поперечной устойчивости – 20-40 Н·м;
- болты крепления подрамника – 80-120 Н·м.

Важно использовать динамометрический ключ и соблюдать последовательность затяжки (например, подрамник затягивается крест-накрест). Резьбовые соединения с пластиковой деформацией (одноразовые болты) должны заменяться.

Запрессовка сайлентблоков и втулок должна выполняться без перекосов, с использованием специальных оправок.

После запрессовки не должно быть выступающих краёв или деформации.

Пружины должны устанавливаться строго в посадочные чашки (проверить маркировку верхней и нижней части).

Амортизаторы перед установкой проверяются на плавность хода (не должно быть заклиниваний или подтёков масла).

При замене опорных подшипников – проверить люфт и плавность вращения.

После сборки обязательна проверка геометрии подвески:

- соосность рычагов,
- отсутствие перекоса подрамника,
- правильность установки датчиков ABS (если они интегрированы в ступицу).

Выводы по разделу.

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки задней независимой подвески. При этом необходимо соблюдать моменты затяжки, правильность запрессовки сайлентблоков и обязательность в проверке развала-схождения, так как данные условия влияют на долговечность подвески.

После сборки обязателен тест-драйв с последующей проверкой.

5 Безопасность и экологичность проекта

Автомобилестроение – сложная отрасль с многоэтапным производственным циклом, требующая комплексного подхода к вопросам безопасности.

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

- ежегодно происходит 2,78 миллионов смертей из-за профессиональных заболеваний;
- 374 миллиона несчастных случаев на производстве с потерей трудоспособности;
- экономические потери достигают 3,94% мирового ВВП.

Структура отраслевых рисков:

- травмы при работе с прессами (42% случаев),
- отравления парами красок (23%),
- поражения током (15%),
- падения с высоты (12%).

В таблице 12 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 12 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

Страна	Затраты (% ВВП)	Особенности регулирования
Германия	2,8-3,2%	Система обязательного страхования Berufsgenossenschaften
США	3,1-3,5%	Workers' compensation и судебные иски
Япония	2,6-2,9%	Пожизненные компенсации при профзаболеваниях
Россия	3,5-4,1%	Высокий уровень скрытого травматизма
Бразилия	4,2-4,8%	Неформальный сектор до 35% занятости

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

- Европа: 250000-400000 евро;
- США: 500000-1200000 долларов (с учетом судебных исков);
- Китай: 800000-1500000 йен.

В дипломном проекте необходимо учитывать специфические риски и современные тенденции отрасли.

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

- работа с прессовым оборудованием (риск травматизма),
- сварочные операции (опасность возгораний, поражения током),
- окрасочные работы (взрывоопасность, токсичные испарения),
- конвейерные линии (движущиеся механизмы).

К мерам обеспечения безопасности относится:

- автоматизация опасных процессов (роботизированная сварка и покраска; автоматические прессы с оптической защитой; конвейеры с датчиками присутствия персонала);
- системы контроля (мониторинг концентрации ЛВЖ в окрасочных цехах; термоконтроль электрооборудования; видеонаблюдение за опасными зонами);
- защита персонала (специальные СИЗ для разных участков (термостойкая одежда для сварщиков, респираторы для маляров); антистатические комплекты для работы с электроникой; системы принудительной вентиляции).

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

- выбросы лакокрасочных материалов,
- сточные воды гальванических производств,
- отходы полимерных материалов,
- шумовое воздействие испытательных стендов.

Таким образом, современное автомобилестроение требует интегрированного подхода к безопасности, сочетающего технические инновации, экологическую ответственность и экономическую эффективность.

В долгосрочной перспективе каждый рубль, вложенный в профилактику профессиональных рисков, приносит предприятию ориентировочно 3-5 рублей совокупной выгоды за счет синергетического эффекта от улучшения всех ключевых показателей деятельности.

5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 13).

Таблица 13 – Технологический паспорт технологического процесса обслуживания подвески автомобиля Renault Sandero Stepway

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Обслуживание подвески автомобиля Renault Sandero Stepway	1 Проверка отсутствия посторонних стуков и шумов в конструкции (трещины) и их защитные пыльники (целостность). 2 Осмотреть резинометаллические шарниры (сайлентблоки). 3 Проверить и подтянуть детали подвески. 4 Подготовка колёс.. 5 Регулировка углов установки колёс. стенда развала	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда	Подъёмник, стенд для сборки подвески, гидравлический пресс, компрессор с пневмоинструментом, торцевые головки (на 10–24 мм), динамометрический ключ, гидравлический домкрат, специальные оправки для запрессовки сайлентблоков, молоток (резиновый и металлический), зубило,	Смазка (литиевая, графитовая, медная), резьбовой фиксатор (Loctite)

Продолжение таблицы 13

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
	6 Завершение работ		монтажные лопатки, струбины, линейка, штангенциркуль, тележка для перевозки узлов подвески	

Данный документ является обязательным требованием для:

- технически сложных изделий,
- продукции, подлежащей обязательной сертификации,
- оборудования с повышенными требованиями безопасности.

Функциональное назначение технологического паспорта:

- систематизация производственных данных – фиксация ключевых параметров сборки;
- обеспечение контроля качества – регламентация технологических норм и допусков;
- оптимизация технического обслуживания – упрощение диагностики и ремонта;
- повышение безопасности эксплуатации – четкие инструкции по монтажу и обслуживанию

Преимущества оформления паспорта:

- упрощение процедур сертификации и аудита,
- снижение рисков производственного брака,
- повышение прозрачности технологических процессов,
- обеспечение соответствия международным стандартам (ISO, ГОСТ, ТР ТС).

Таким образом, технологический паспорт служит не только формальным требованием, но и практическим инструментом управления качеством на всех этапах жизненного цикла изделия.

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Комплексная оценка производственных угроз является ключевым элементом системы охраны труда, направленной на сохранение здоровья персонала и устойчивую работу предприятия.

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

- выявление потенциальных угроз: комплексное обследование рабочих мест на предмет наличия физических факторов (шум, вибрация, излучение), химических агентов (токсичные вещества, аэрозоли), биологических опасностей (микроорганизмы, аллергены), психофизиологических нагрузок (стресс, монотонность операций), эргономических проблем (неудобные позы, чрезмерные нагрузки);
- количественная и качественная оценка угроз: расчет вероятности возникновения опасных ситуаций; прогнозирование возможного ущерба здоровью сотрудников; ранжирование рисков по степени значимости;
- разработка защитных мер: внедрение многоуровневой системы защиты, включающей технические усовершенствования (модернизация оборудования); организационные изменения (оптимизация рабочих процессов); средства индивидуальной защиты; целевые программы обучения персонала; периодические контрольные проверки;

- динамический контроль и совершенствование: регулярный аудит условий труда; анализ эффективности принятых мер; своевременная корректировка защитных мероприятий.

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

- создании безопасной рабочей среды,
- предупреждении профессиональных заболеваний,
- снижении экономических потерь от несчастных случаев,
- повышении производственной дисциплины,
- обеспечении соответствия требованиям регуляторных органов.

Реализация данного подхода позволяет трансформировать систему охраны труда из формального требования в действенный инструмент повышения эффективности производства.

В представленной таблице 14 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса.

Таблица 14 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
1 Проверка отсутствия посторонних стуков и шумов в конструкции (трещины) и их защитные пыльники (целостность). – гофры ШРУСов, отбойники амортизаторов (на отсутствие разрывов и утечек); – деформации, следы коррозии). 2 Осмотреть резинометаллические шарниры (сайлентблоки): – отсутствие трещин, расслоений, – при необходимости дотянуть крепёж до регламентного момента. 3 Проверить и подтянуть: – верхние крепления стоек амортизаторов (момент затяжки	«Острые кромки, заусенцы и	Элементы конструкции базовой машины

Продолжение таблицы 14

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
– согласно ТУ); – опорные подшипники и чашки амортизаторов (отсутствие стуков, перекосов). 4 Подготовка колёс: – проверить и выставить рекомендованное давление в шинах (согласно табличке на стойке двери или в руководстве); – очистить протектор от камней, гвоздей и других посторонних предметов; – установить декоративные колпачки (при их наличии). 5 Регулировка углов установки колёс. С помощью стенда развала-схождения выставить: – развал передних колёс (по спецификации Renault Sandero Stepway); – схождение (проверить и откорректировать при необходимости). 6 Завершение работ: – снять автомобиль с подъёмника или эстакады; – провести финальный визуальный осмотр зоны работ на предмет забытых инструментов или деталей	шероховатость на поверхностях деталей трактора, навесного оборудования	
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног» [10].
	«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины
	Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [12]
	«Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [12].
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в

Продолжение таблицы 14

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
		помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	«Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию» [14].	

Оценка рисков проведена по методике ГОСТ 12.0.230-2007. Таблица позволяет наглядно сопоставить технологические операции с соответствующими рисками и разработать комплекс профилактических мероприятий для минимизации профессиональных заболеваний и травматизма.

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для эффективного снижения профессиональных рисков применяется комплекс технических, организационных и индивидуальных мер.

Технические решения:

- автоматизация опасных процессов (роботизированные линии),
- установка защитных ограждений и блокировок,
- внедрение систем принудительной вентиляции,
- использование инструментов с антивибрационными свойствами.

Организационные мероприятия:

- оптимизация режимов труда и отдыха,

- введение ротации персонала на вредных участках,
- разработка четких регламентов безопасной работы,
- организация производственного контроля.

Средства индивидуальной защиты:

- специализированные костюмы (термостойкие, химически стойкие),
- антистатические комплекты,
- респираторы с многоуровневой фильтрацией,
- защитные каски с системой вентиляции.

Инженерные разработки:

- системы дистанционного управления,
- датчики контроля опасных факторов,
- аварийные остановы оборудования,
- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

- медицинские осмотры,
- специальная оценка условий труда,
- тренинги по безопасности,
- психологическая поддержка.

Особое внимание уделяется:

- внедрению цифровых систем мониторинга,
- использованию эргономичного инструмента,
- применению экологичных материалов,
- совершенствованию технологических процессов.

Реализация данных мер позволяет:

- снизить уровень травматизма на 40-60%,
- уменьшить профзаболеваемость,
- повысить производительность труда,
- обеспечить соответствие международным стандартам.

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

- анализ показателей травматизма,
- медицинскую статистику,
- результаты специальной оценки условий труда,
- опросы сотрудников.

«Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль» [13].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; – обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].

Продолжение таблицы 15

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Повышенный уровень шума	Мониторинг здоровья работников: – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. Инструктаж по: – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противошумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. Техническая модернизация: – плановый контроль уровня шума оборудования внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); – приоритетная замена устаревшего шумного оборудования. Организация рабочего процесса: – введение регламентированных «тихих пауз»; – создание зон акустической разгрузки; – оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки. Тренинги по: – техникам стрессоустойчивости; – методам звуковой релаксации; – профилактике слухового утомления. Консультации корпоративного психолога. Инженерные решения: – установка звукопоглощающих панелей; – применение антивибрационных креплений; – модернизация вентиляционных	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].

Продолжение таблицы 15

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	систем; – использование шумоподавляющих материалов	
«Возможность поражения электрическим током	Образовательные мероприятия: – проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электрозащитных средств; – организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев Практическая подготовка: – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением; – внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала Техническая защита: – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. Профилактический контроль: – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов; – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования; – ведение электронного журнала технического состояния.	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 15

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	Административный надзор: – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссионная инспекция, – автоматизированная система учета нарушений Медицинское сопровождение: – углубленные медосмотры для электротехперсонала: – проверка нервной системы – контроль сердечно-сосудистых показателей, тесты на скорость реакции	
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках). Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)	—
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ; – правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащённости средствами комплексной и малой механизации;	—

Продолжение таблицы 15

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	– используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27].	
«Монотонность труда	– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности; – внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы; – регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня; – использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда; – психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса; – оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение). Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ).	—

Данный подход гарантирует не только формальное соблюдение требований охраны труда, но и создание по-настоящему безопасной производственной среды. Все мероприятия должны быть задокументированы и включены в систему управления охраной труда предприятия.

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

План пожарной безопасности – это документ, регламентирующий порядок действий при пожаре, эвакуации людей и материальных ценностей, а также меры по предотвращению возгораний.

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

- ответственных за пожарную безопасность;
- профилактику (проверки оборудования, хранение горючих материалов);
- порядок действий при пожаре: оповещение (сигнализация, вызов МЧС); эвакуация (схемы путей, сборные пункты); тушение (огнетушители, пожарные краны);
- проверки и обновления (регулярные тренировки, корректировка плана).

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 16).

Таблица 16– Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Зона ТО	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий,

Продолжение таблицы 16

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
			концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [16].

Классификация пожарной техники (по ГОСТ Р 53325-2012 и нормам МЧС) включает следующие основные категории:

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);
- пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды);
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях);
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные);
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);

- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

«Выполним классификацию средств пожаротушения, применяемых для данного технического объекта:

- первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1 шт.;
- мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);
- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

Разработка планов действий по пожарной безопасности – обязательная процедура для организаций, зданий и сооружений, регламентированная ФЗ №69 «О пожарной безопасности» и Правилами противопожарного режима в РФ.

Цели разработки планов:

- предотвращение пожаров (профилактика нарушений);
- обеспечение безопасности людей (эвакуация, первая помощь);
- минимизация ущерба (быстрое тушение, защита имущества);
- соответствие закону (избежание штрафов и приостановки деятельности).

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

План эвакуации при пожаре состоит из графической части (схема путей эвакуации, выходы, места огнетушителей) и текстовой инструкции (действия персонала, вызов МЧС, порядок отключения оборудования).

Разработка плана обязательна для всех общественных зданий, офисов, школ, больниц и так далее.

Инструкция о мерах пожарной безопасности включает в себя Правила содержания территории, электрооборудования, хранения ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей), порядок проведения огневых работ, ответственных лиц и их обязанности.

План противопожарных мероприятий содержит:

- регулярные проверки (электропроводки, систем сигнализации);
- обучение персонала (инструктажи, тренировки);
- техническое обслуживание средств пожаротушения.

План ликвидации аварийных ситуаций оформляется для опасных объектов (АЗС, склады ГСМ, химические производства).

Включает взаимодействие с МЧС, локализацию возгораний, защиту окружающей среды.

Разработка планов состоит из 5 этапов:

- анализ объекта (категория пожарной опасности, особенности здания);
- определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
- разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
- согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
- обучение персонала и проведение тренировок.

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при обслуживании подвески автомобиля Renault Sandero Stepway (таблица 17).

Таблица 17 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании подвески автомобиля Renault Sandero Stepway

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [26]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143-2009, ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [15]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

Контроль горючих отходов: не допускать скопления легковоспламеняющихся материалов, включить регулярную уборку в систему противопожарных мер.

Обучение персонала: четко разъяснять сотрудникам риски, связанные с используемыми материалами и технологическими процессами; вводный инструктаж для новых работников; ознакомить каждого нового сотрудника с разделами плана пожарной безопасности, которые касаются его личной защиты в ЧС.

Техническое обслуживание оборудования: проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания.

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса

Экологическая безопасность – это комплекс мер, направленных на сохранение природных систем и предотвращение их разрушения в результате человеческой деятельности.

Ключевые аспекты:

- защита экосистем от загрязнения, истощения и необратимых изменений;
- рациональное использование ресурсов (воды, почвы, воздуха, биоразнообразия);
- минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду.

Основные направления:

- контроль загрязнений (промышленные выбросы, отходы, химические вещества);
- сохранение биоразнообразия (защита редких видов, восстановление лесов);
- устойчивое развитие (баланс между экономикой и экологией).

Экологическая безопасность – не просто синоним охраны природы, а системный подход к гармоничному взаимодействию человека и окружающей среды.

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе обслуживания подвески автомобиля Renault Sandero Stepway и сведем их в таблицу 18.

Таблица 18 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Обслуживание подвески автомобиля Renault Sandero Stepway	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [11].

Для минимизации вреда от пыли и СОЖ требуется комплексный подход:

- технический – фильтрация и модернизация оборудования,
- организационный – обучение персонала, контроль норм,
- экологический – правильная утилизация отходов.

Составляем сводную таблицу 19 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 19 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Мелкодисперсная пыль	Фильтрация: – циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%); – рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%); – субмикронной пыли (используют коронный разряд), мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов) – электрофильтры – для субмикронной пыли	–
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха.	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м ³ (зависит

Продолжение таблицы 19

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
	Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров СОЖ на СО ₂ и Н ₂ О	от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м ³ (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: – металлическая стружка и лом; – промасленная ветошь, спецодежда; – твердые коммунальные отходы	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в печах. Сортировка и захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

Идентификация вредных экологических факторов – первый шаг к разработке стратегий устойчивого развития и снижению антропогенной нагрузки на природу.

Выводы по разделу.

В рамках обеспечения производственной и экологической безопасности проекта выполнены следующие работы:

- разработан детальный технологический регламент обслуживания подвески Renault Sandero Stepway;
- проведён аудит профессиональных рисков с внедрением стратегий их снижения;
- установлен класс пожарной опасности цеха, определены главные угрозы возгорания и меры их предотвращения;
- оценено влияние монтажных работ на экологию и подготовлен план по минимизации этого воздействия;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

6 Экономическая эффективность проекта

«Затраты на изготовление задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway определяем по формуле:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{сб.н}} + C_{\text{о.н}}, \quad (102)$$

где $C_{\text{к.д}}$ – стоимость изготовления корпусных деталей, р.;

$C_{\text{о.д}}$ – затраты на изготовление оригинальных деталей, р.;

$C_{\text{п.д}}$ – цена покупных деталей, изделий, агрегатов, р.;

$C_{\text{сб.н}}$ – полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{\text{о.н}}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [11].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{к.д}} = Q_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}}, \quad (103)$$

где $Q_{\text{к}}$ – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

$C_{\text{к}}$ – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 120,0 р./кг» [11].

$$C_{\text{к.д}} = 0 \cdot 120,0 = 0 \text{ р.}$$

Общая стоимость корпусных деталей составляет 0 р.

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{o.o} = C_{np} + C_m, \quad (104)$$

где C_{np} – заработная плата производственных рабочих, занятых на изготовление оригинальных деталей, с учетом дополнительной зарплаты и отчислений, р.;

C_m – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р» [11].

«Зарботную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{np} = t \cdot C_q \cdot \kappa_t, \quad (105)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей, (рычаг 12,0 чел.-ч; пружина 5 чел.-ч);

C_q – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду, р./ч;

κ_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимается равным 1,03» [11].

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 января 2025 года МРОТ составляет 23562 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $23562/(7 \cdot 21) = 160,28$ р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [14].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $160,28 \cdot 1,42 = 227,6$ р./ч.

$$C_{np} = 17 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 3985,28 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_d = (5 \dots 12) \cdot C_{np} / 100, \quad (106)$$

$$C_o = 10 \cdot 3985,28 / 100 = 398,53 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{соц} = 30 \cdot (C_{np} + C_o) / 100, \quad (107)$$

$$C_{соц} = 30 \cdot (3895,28 + 398,53) / 100 = 1288,14 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma np} = 3895,28 + 398,53 + 1288,14 = 5581,95 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 3931,15 р.

«Стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_M = Ц \cdot Q_3, \quad (108)$$

где $Ц$ – цена 1 кг материала заготовок, р./кг;

Q_3 – масса заготовки, кг» [11].

$$C_M = 160 \cdot 5 = 800 \text{ р.}$$

$$C_{o,d} = 3931,15 + 800 = 4731,15 \text{ р.}$$

Таким образом, затраты на изготовление оригинальных деталей составляют 4731,15 р.

«Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определяется по формуле:

$$C_{сб,n} = C_{сб} + C_{д.сб} + C_{соц.сб}, \quad (109)$$

где $C_{сб}$ – основная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{д.сб}$ – дополнительная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{соц.сб}$ – страховые взносы в фонды, р» [11].

«Основная заработная плата рабочих, занятых на сборке рассчитывается по формуле:

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (110)$$

где $T_{сб}$ – нормативная трудоемкость на сборку конструкции, чел.-ч.

$$T_{сб} = k_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (111)$$

где $t_{сб}$ – трудоемкость сборки составных частей, чел.-ч.;

k_c – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [11].

По справочным данным принимаем $t_{сб}$ равную 3,0 чел.-ч.

$$T_{сб} = 3 \cdot 1,0 = 3 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{сб} = 3 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 703,28 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 703,28 = 70,33 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (703,28 + 70,33) = 232,08 \text{ р.}$$

$$C_{сб.п} = 703,28 + 70,33 + 232,08 = 1005,69 \text{ р.}$$

Таким образом, полная заработная плата производственных рабочих занятых на сборке составит 1005,69 р.

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{он} = \frac{(C_{np}' \cdot R_{он})}{100}, \quad (112)$$

где C_{np}' – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

$R_{он}$ – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [11].

$$C_{np}' = (C_{np} + C_{сб}), \quad (113)$$

$$C_{np}' = 3985,28 + 1005,69 = 4990,97 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(4990,97 \cdot 15)}{100} = 748,64 \text{ р.}$$

Стоимость покупных деталей, изделий, агрегатов представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Числовое значение, руб.
Подрамник (1 шт.)	16270,0
Стабилизатор (1 шт.)	3550,0
Амортизатор (2 шт.)	4800,0
Итого:	24620

$$C_{но} = 16270 + 3550 + 4800 = 24620 \text{ р.}$$

Далее рассчитаем годовую экономию, годовой экономический эффект и срок окупаемости нашей разработки.

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 0 + 4731,15 + 24620 + 1005,69 + 748,64 = 31105,48 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway сведем в таблицу 21.

Таблица 21 – Затраты на изготовление конструкторской разработки задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	0
Стоимость изготовления оригинальных деталей	4731,15
Общая заработная плата на сборку	1005,69
Общепроизводственные накладные расходы	748,64
Стоимость покупных изделий	24620
Итого:	31105,48

Общие затраты на изготовление задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway равны 31105,48 р.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{пр} - C_{кон}, \quad (114)$$

где $C_{пр}$ – стоимость прототипа, р.» [11].

$$\mathcal{E}_Г = 36500 - 31105,48 = 5394,52 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{ок} = \frac{C_{кон}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (115)$$

$$O_{ок} = \frac{31105,48}{5394,52} = 5,8 \text{ лет.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{эф} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{кон} \quad (116)$$

$$\mathcal{E}_{эф} = 5394,52 - 0,15 \cdot 31105,48 = 728,7 \text{ р.}$$

В таблице 22 представлены основные показатели проекта.

Таблица 22 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	36500	31105,48
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	5394,52
Экономический эффект	р.	–	728,7
Срок окупаемости	год	–	5,8

Выводы по разделу.

В рамках проекта проведена оценка экономической целесообразности внедрения новой конструкции задней независимой подвески.

Анализ эффективности:

- снижение производственных затрат за счёт оптимизации конструкции и применения современных материалов;
- увеличение ресурса подвески, что снижает затраты на гарантийное обслуживание;
- улучшение ходовых характеристик, что повышает конкурентоспособность модели на рынке.

Несмотря на значительные первоначальные вложения, проект окупается в среднесрочной перспективе (5,8 лет) и обеспечивает долгосрочную экономическую выгоду за счёт повышения надёжности и снижения эксплуатационных расходов.

Для ускорения возврата инвестиций рекомендуется рассмотреть возможность масштабирования технологии на другие модели автомобилей.

Заключение

В рамках дипломного проекта была разработана задняя независимая подвеска для Renault Sandero Stepway, нацеленная на повышение комфорта и безопасности вождения.

Основная задача проекта – создать конструкцию подвески, которая:

- улучшает плавность хода, снижая вибрации и тряску;
- повышает управляемость на разных типах дорожного покрытия;
- обеспечивает стабильность и безопасность движения.

Работа также затрагивает важность модернизации автомобильных систем для достижения оптимальных технико-экономических показателей.

В ходе выполнения дипломного проекта было сделано следующее:

- рассмотрены типы подвесок автомобиля: зависимые и независимые;
- выполнен тягово-динамический расчёт автомобиля Renault Sandero Stepway;
- проведено вычисление вертикальной упругой характеристики подвески, характеристики амортизатора, его основных размеров, расчет рычага на изгиб и сжатие, определены его размеры, а также произведен расчёт пружины;
- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки проектируемой подвески;
- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
- определена целесообразность разработки задней независимой подвески для легкового автомобиля Renault Sandero Stepway с экономической стороны.

Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Renault Dacia Sandero с 2008 года [Текст]: эксплуатация, обслуживание, ремонт: [практическое пособие] / [ведущий ред. Р. Солдатов]. - Москва: Мир автокниг, 2011. 352 с.
- 2 Renault Logan выпуска с 2009 года Sandero, Sandero Stepway с двигателями 1,4-1,6 (8V) и 1,6 (16V) [Текст]: устройство, обслуживание, диагностика, ремонт : иллюстрированное руководство: [все работы в цветных иллюстрациях] / [гл. ред. Алексей Ревин]. Москва: За рулем, 2014. 336 с.
- 3 Белоусов Б. Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 (М.: Типография «Наука»). 727 с.
- 4 Беляев В. П. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст]: учебное пособие для самостоятельной работы студентов: для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В. П. Беляев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Автомобили». Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2010. 74 с.
- 5 Вахламов В. А. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (Автомобильный транспорт)» направления подготовки «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» / В. К. Вахламов. - 2-е изд., стер. Москва: Академия, 2009. 556 с.
- 6 Гаврилов М. С. Программы расчета элементов деталей машин (в помощь конструктору) [Текст] / М. С. Гаврилов. Москва: Спутник+, 2015. 118 с.
- 7 Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.
- 8 Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. 22 с.

9 Губарев А. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие : для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / А. В. Губарев, А. Г. Уланов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Колесные, гусеничные машины и автомобили». Челябинск: Изд. центр ЮУрГУ, 2015. 564 с.

10 Демура Н. А. Экономика предприятия [Текст]: учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства и направления подготовки 15.03.02 Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. 124 с.

11 Зак Г. Г. Справочник конструктора (машиностроителя) [Текст] / Г. Г. Зак, Л. И. Рубинштейн. Минск: Изд-во Акад. наук БССР, 1963. 567 с.

12 Зузов В. Н. Механика наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие / В. Н. Зузов; Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. 185, с.

13 Ионес С. В. Советские легковые автомобили [Текст]: / С. В. Ионес, Н. С. Марков, Н. А. Рубежной [и др.]. Тула: Борус-Принт, 2017. Легковые. Т. 1. 2017. 417 с.

14 Кондратьева-Бейер М. В. Automobil und traktor [Текст] = Автомобиль и трактор: Немецкая хрестоматия / М. В. Кондратьева-Бейер, Ю. В. Бейер. Москва; Ленинград: Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933 (М.: 17 тип. треста «Полиграфкнига»). Обл., 179 с.

15 Кротов С. В. Расчеты на прочность и жесткость элементов конструкций и сооружений с применением ANSYS: учебное пособие / С. В. Кротов; Росжелдор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО РГУПС). Ростов-на-Дону: РГУПС, 2022. 95 с.

16 Лебедев В. А. Технология машиностроения: проектирование технологии сборки изделий : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» / В. А. Лебедев; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Дон. гос. техн. ун-т, Азов. технол. ин-т. - Ростов-на-Дону: Изд. центр ДГТУ, 2005. 161 с.

17 Митрохин Н. Н. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств: учебник: для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Машиностроение»/ Н. Н. Митрохин, А. П. Павлов. Москва: ИНФРА-М, 2020. 262 с.

18 Михайлов В. А. Экологичные системы защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / В. А. Михайлов, Е.В. Сотникова, Н. Ю. Калпина. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: ИНФРА-М, 2022. 213 с.

19 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. Волгоград: ВолгГТУ, 2014. 211 с.

20 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта: электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. - Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

- 21 Школьников А. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст]: учебное пособие / А.И. Школьников; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун., Каф. радиотехнических систем. Челябинск: ЮУрГУ, 2009. 63 с.
- 22 Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 368 с.
- 23 Arnold, M. Simulation Algorithms in Vehicle System Dynamics / M. Arnold // Technical Report 27. Martin-Luther-University Halle, Department of Mathematics and Computer Science, 2004. 27 p.
- 24 Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, Raleigh, 1998. 209 p.
- 25 Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. - Linkoping, 1997. 150 p.
- 26 Puhs, Allen E., Hybrid vehicles. CRC Press. London, NewYork 2009. 505 p.
- 27 Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. - Vol. 7 (109). 64-70p.

Приложение А
Спецификации

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<u>Документация</u>		
		A4			25.ДП.01.117.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
		A1			25.ДП.01.117.61.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
Спроб. №								
						<u>Детали</u>		
				1	25.ДП.01.117.61.00.001	Кронштейн амортизатора	2	
				2	25.ДП.01.117.61.00.002	Амортизатор	2	
				3	25.ДП.01.117.61.00.003	Кронштейн подрамника	2	
				4	25.ДП.01.117.61.00.004	Подрамник	1	
				5	25.ДП.01.117.61.00.005	Буфер сжатия	2	
				6	25.ДП.01.117.61.00.006	Ступица	2	
				7	25.ДП.01.117.61.00.007	Сайлентблок	2	
				8	25.ДП.01.117.61.00.008	Нижний рычаг	2	
				9	25.ДП.01.117.61.00.009	Сайлентблок	4	
				10	25.ДП.01.117.61.00.010	Сайлентблок	2	
Подп. и дата								
Инв. №								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								
Инв. № подл.								
Взам. инв. №								
Подп. и дата								

Продолжение Приложения А

[illegible]

Рисунок А.2 – Спецификация на заднюю подвеску автомобиля