

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 Грузовой автомобиль КАМАЗ-65206. Модернизация передней подвески

Обучающийся	Т.И. Юдин (Инициалы Фамилия)	
Руководитель	канд. техн. наук, доцент Л.А. Черепанов (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)	

Аннотация

Дипломный проект на тему: Грузовой автомобиль КАМАЗ-65206.
Модернизация передней подвески.

Цель работы: повышение эксплуатационных характеристик, надежности и комфорта грузового автомобиля КАМАЗ за счет модернизации передней подвески.

Задачи работы:

- провести анализ существующей конструкции передней подвески автомобиля КАМАЗ-65206;
- выявить недостатки и слабые места текущей конструкции подвески;
- разработать предложения по модернизации передней подвески с использованием современных технологий и материалов;
- оценить экономическую целесообразность внедрения предложенных изменений.

Объект: передняя подвеска грузового автомобиля КАМАЗ-65206.

Методы исследования: анализ литературы, компьютерное моделирование, конструкторские расчеты, сравнительный анализ характеристик.

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

Основные результаты: изменена конструкция стабилизатора в части увеличения размеров поперечного сечения. Также изменена конструкция кронштейнов крепления стабилизатора поперечной устойчивости к раме, Выполнено увеличение грузоподъемности путем установки дополнительных рессор. Данная модернизация позволит повысить надежность и ресурс передней подвески.

Практическая значимость: результаты работы могут быть использованы для модернизации грузовых автомобилей КАМАЗ-65206, что

повысит их конкурентоспособность и расширит область применения в тяжелых дорожных условиях.

В первом разделе проведен анализ устойчивости автопоезда, изучено влияние конструктивных и эксплуатационных параметров подвески на управляемость и устойчивость транспортного средства.

Во втором разделе выполнен тягово-динамический расчет для легкового автомобиля категории М1, а также построены графики, иллюстрирующие полученные результаты.

Третий раздел посвящен разработке подвески для автомобиля-тягача. В нем рассмотрены основные требования к подвеске, предложена кинематическая схема, проведены необходимые конструкторские расчеты и модернизирована передняя подвеска для автопоезда КАМАЗ-65206.

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.

В заключении сделаны выводы по дипломному проекту.

Пояснительная записка на 113 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is: «Road train KAMAZ-65206. The modernization of the front suspension».

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

The aim of the work is to modernize the front suspension of the «KAMAZ-65206» road train.

The key issue of the graduation work is design of the modernized front suspension structure to improve the active safety of the category N3 car by developing the front suspension with an anti-roll bar.

We touch upon the problem of improving the design of the front suspension of the «KAMAZ-65206» road train, because it affects not only the ride comfort, but also the vehicle's the cross-country ability and safety, stability, reliability, durability of the truck and even fuel consumption.

The senior thesis may be divided into several logically connected parts, which are: the consideration of the stability features of the road train; the study of the influence of design and operational factors of the suspension on the car stability; the calculation of the traction-dynamic characteristics of the «KAMAZ-65206» road train; the requirements for the tractor-trailer suspension; the development of a kinematic suspension scheme; the suspension design calculations; the development of the front suspension for the «KAMAZ-65206» road train with the anti-roll bar; the determination of the organizational form of the assembly, its labor intensity, and the technological process of assembling the designed suspension.

In the special part of the project we explore the safety and environmental friendliness of the project.

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

This graduation project has a practical application for the motor transport enterprises and at centralized service stations.

Содержание

Введение.....	7
1 Состояние вопроса	8
1.1 Особенности устойчивости автопоезда	8
1.2 Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов подвески на устойчивость автомобиля.....	17
1.3 Влияние стабилизатора поперечного крена на устойчивость автомобиля	22
1.4 Планируемые изменения в передней подвеске	23
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	26
2.1 Определение параметров автомобиля.....	26
2.2 Определение параметров двигателя	28
2.3 Определение параметров трансмиссии.....	30
2.4 Анализ тягово-скоростных свойств автомобиля	33
2.5 Мощностной баланс автомобиля.....	38
2.6 Расчет топливно-экономической характеристики	40
3 Конструкторская часть	42
3.1 Требования к подвеске автомобиля-тягача	42
3.2 Расчёт показателей устойчивости и управляемости автомобиля-тягача	46
3.3 Разработка кинематической схемы подвески.....	53
3.4 Расчёт подвески	55
4 Технологический раздел.....	65
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки	66
4.2 Проектирование технологического процесса сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206	71
5 Безопасность и экологичность проекта	76
5.1 Структурно-функциональный анализ	78
5.2 Идентификация профессиональных рисков	80
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	83

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	89
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ- 65206	94
6 Экономическая эффективность проекта	98
Заключение	106
Список используемой литературы и используемых источников.....	107
Приложение А. Спецификация.....	111

Введение

Грузовые автомобили КамАЗ являются одними из наиболее востребованных транспортных средств в России и за ее пределами благодаря своей надежности, проходимости и адаптивности к различным условиям эксплуатации.

Одной из ключевых моделей в линейке производителя является КАМАЗ-65206. Этот автомобиль широко используется в строительной, горнодобывающей и транспортной отраслях благодаря своей высокой грузоподъемности, проходимости и надежности.

Однако, несмотря на свои преимущества, передняя подвеска КАМАЗ имеет ряд конструктивных недостатков, которые ограничивают его эксплуатационные характеристики.

К ним относятся повышенные вибрации, недостаточная устойчивость на неровных дорогах, а также ограниченный ресурс элементов подвески.

Эти факторы снижают комфорт водителя, увеличивают нагрузку на раму и другие элементы конструкции, а также сокращают межремонтный интервал.

Актуальность темы дипломного проекта обусловлена необходимостью повышения надежности, комфорта и эффективности грузовых автомобилей КАМАЗ-65206, особенно в условиях интенсивных нагрузок и эксплуатации на дорогах низкого качества.

Модернизация передней подвески позволит не только улучшить технические характеристики автомобиля, но и повысить его конкурентоспособность на рынке грузового транспорта.

1 Состояние вопроса

1.1 Особенности устойчивости автопоезда

«Показателями поперечной устойчивости автомобиля являются критическая скорость по боковому скольжению (заносу) v_z , км/ч, критическая скорость по опрокидыванию v_0 , км/ч, критический угол поперечного уклона дороги (косогора) по боковому скольжению, критический угол поперечного уклона дороги (косогора) по опрокидыванию, коэффициент поперечной устойчивости» [3].

«Критическая скорость по боковому скольжению (заносу).

При равномерном движении автомобиля на повороте на горизонтальной дороге (рисунок 1) боковое скольжение его колес может возникнуть в результате действия поперечной силы (центробежной, силы ветра или боковых ударов о неровности дороги) в тот момент, когда поперечная сила становится равной силе сцепления колес с дорогой, то есть:

$$P_y = P_{cy}. \quad (1)$$

Подставим в это выражение значения центробежной силы и силы сцепления:

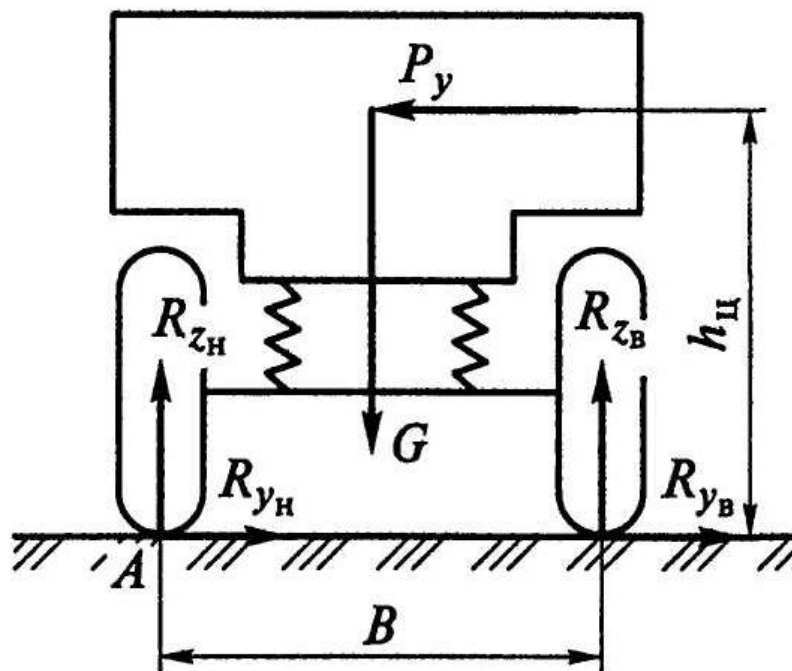
$$\frac{G \cdot v^2}{13 \cdot g \cdot R} = G \cdot \varphi_y, \quad (2)$$

где φ_y – коэффициент поперечного сцепления» [2].

«Учитывая, что в этом случае $v=v_z$, находим критическую скорость автомобиля по боковому скольжению, или заносу:

$$v_3 = 3,6\sqrt{g \cdot R \cdot \varphi_y}. \quad (3)$$

Критической скоростью по боковому скольжению называется предельная скорость, по достижении которой возможен занос автомобиля.



A — точка, относительно которой происходит опрокидывание автомобиля

Рисунок 1 – Схема для определения критических скоростей автомобиля по заносу и опрокидыванию

Таким образом, при прохождении поворота на критической скорости по боковому скольжению занос у автомобиля может и не возникнуть.

В этом случае занос может произойти только при любом минимальном боковом возмущении (порыв ветра, боковой удар колеса о дорожную неровность, поперечный уклон дороги), а также при увеличении скорости движения или уменьшении радиуса поворота, что приводит к увеличению поперечной силы» [3].

«Зависимости v_3 от радиуса поворота R и коэффициента φ_y показаны на рисунке 2.

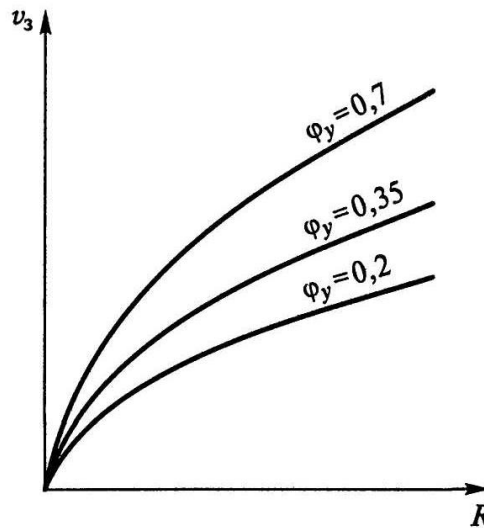


Рисунок 2 – Зависимости критической скорости автомобиля по заносу от радиуса поворота и коэффициента сцепления

Критическая скорость по опрокидыванию. При повороте на горизонтальной дороге поперечная сила P_y , действующая на автомобиль, может вызвать не только боковое скольжение, но и опрокидывание. Опрокидывание автомобиля происходит относительно его наружных колес (точка А). В момент отрыва внутренних колес от дороги нормальные реакции $R_{ZB} = 0$, и весь вес автомобиля воспринимается наружными колесами ($R_{ZH} = G$). В этом случае опрокидывающий момент, создаваемый поперечной силой, уравнивается восстанавливающим моментом, обусловленным весом автомобиля:

$$M_0 = M_B. \quad (4)$$

Подставив в это выражение значения моментов, получим:

$$P_y h_{\varphi} = G \frac{B}{2}, \quad (5)$$

или с учетом значения поперечной силы:

$$\frac{Gv^2}{13gR}h_y = G\frac{B}{2}. \quad (6)$$

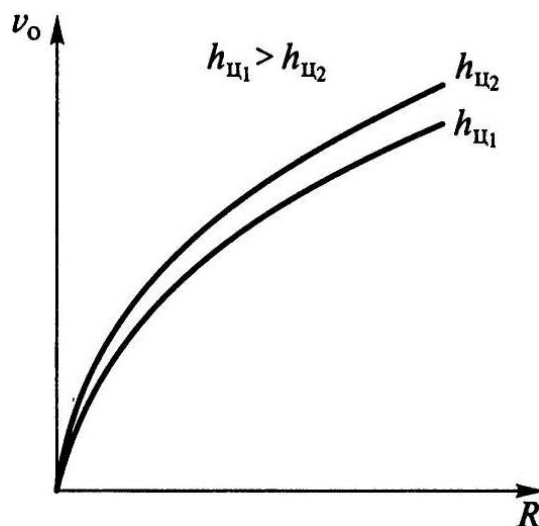
Помня о том, что в этом случае $v = v_0$, определим критическую скорость автомобиля по опрокидыванию, км/ч:

$$v_0 = 3,6 \sqrt{\frac{gRB}{2h_y}}. \quad (7)$$

Критической скоростью по опрокидыванию называется предельная скорость, по достижении которой возможно опрокидывание автомобиля» [5].

«Следовательно, при движении автомобиля на повороте с критической скоростью по опрокидыванию его опрокидывания может и не произойти. Опрокидывание автомобиля в этом случае возможно только при минимальном боковом возмущении и увеличении скорости или уменьшении радиуса поворота» [8].

«Зависимости v_0 от R и $h_{ц}$ показаны на рисунке 3.



$h_{ц1}, h_{ц2}$ — значения высоты центра тяжести двух автомобилей

Рисунок 3 – Зависимости критической скорости по опрокидыванию от радиуса поворота и высоты центра тяжести автомобилей, имеющих одинаковую колею

При прямолинейном движении автомобиля по дороге с поперечным уклоном (по косогору) потерю его поперечной устойчивости вызывает составляющая силы тяжести автомобиля (рисунок 4), параллельная плоскости косогора:

$$P_y = G \sin \beta, \quad (8)$$

где β – угол поперечного уклона дороги.

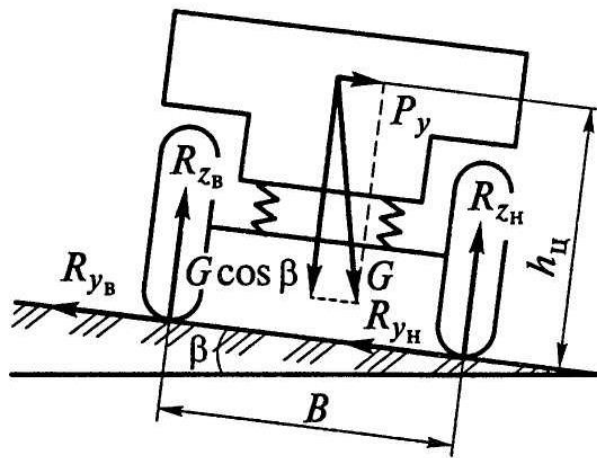


Рисунок 4 – Схема для определения критических углов поперечного уклона дороги по боковому скольжению и опрокидыванию

Боковое скольжение автомобиля на косогоре может начаться в момент, когда:

$$P_y = P_{cy}. \quad (9)$$

«Подставив в последнее выражение значения сил, получим:

$$G \sin \beta = \varphi G \cos \beta. \quad (10)$$

Учитывая, что в данном случае $\beta = \beta_3$, определим критический угол поперечного уклона дороги по боковому скольжению:

$$\beta_3 = \arctg \varphi_y. \quad (11)$$

Угол β_3 линейно зависит от коэффициента φ_y (рисунок 5).

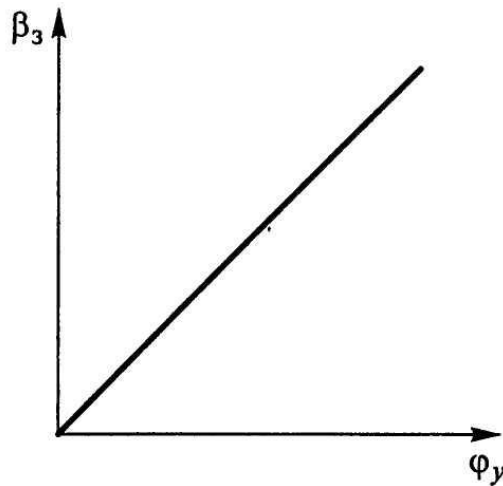


Рисунок 5 – Зависимость критического угла поперечного уклона дороги по боковому скольжению от коэффициента сцепления

Критическим углом поперечного уклона дороги по боковому скольжению называется предельный угол, при котором еще возможно прямолинейное движение автомобиля по косогору без бокового скольжения колес. Боковое скольжение автомобиля в этих условиях начинается при действии любого минимального поперечного возмущения» [14].

«Критический угол поперечного уклона дороги по опрокидыванию. При прямолинейном движении по дороге с поперечным уклоном (рисунок 6) опрокидывание автомобиля может начаться в том случае, когда опрокидывающий момент, создаваемый поперечной силой, уравновешен восстанавливающим моментом, обусловленным нормальной составляющей силы тяжести автомобиля:

$$M_0 = M_B. \quad (12)$$

Подставим в это выражение значения моментов:

$$h_y G \sin \beta = \frac{B}{2} G \cos \beta. \quad (13)$$

Учитывая, что в данном случае $\beta = \beta_0$, находим критический угол поперечного уклона дороги по опрокидыванию:

$$\beta_0 = \arctg \frac{B}{2h_y}. \quad (14)$$

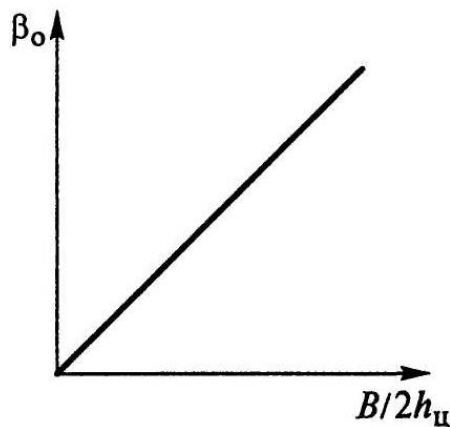


Рисунок 6 – Зависимость критического угла поперечного уклона дороги по опрокидыванию от соотношения колеи колес и высоты центра тяжести автомобиля

Критическим углом поперечного уклона дороги по опрокидыванию называется предельный угол, при котором еще возможно прямолинейное движение автомобиля по кособогу без опрокидывания» [24].

«Коэффициентом поперечной устойчивости автомобиля называется отношение колеи колес автомобиля к его удвоенной высоте центра тяжести:

$$\eta_n = \frac{B}{2h_y}. \quad (15)$$

Коэффициент поперечной устойчивости позволяет определить, какой из двух видов потерь поперечной устойчивости (занос или опрокидывание) более вероятен при эксплуатации.

Для примера рассмотрим случай движения автомобиля при повороте на горизонтальной дороге. С этой целью приравняем критические скорости по боковому скольжению и опрокидыванию:

$$3,6\sqrt{gR\varphi_y} = 3,6\sqrt{\frac{gRB}{2h_y}}, \quad (16)$$

$$\varphi_y = \frac{B}{2h_y} = \eta_n. \quad (17)$$

Из этого выражения следует, что если коэффициент поперечного сцепления колес с дорогой меньше коэффициента поперечной устойчивости ($\varphi_y < \eta_n$), то при повороте более вероятен занос, чем опрокидывание. Если же коэффициент поперечного сцепления колес с дорогой больше коэффициента поперечной устойчивости ($\varphi_y > \eta_n$), то опрокидывание автомобиля может произойти без предварительного его заноса, что возможно на дорогах с большим коэффициентом сцепления» [4].

«Значение коэффициента поперечной устойчивости зависит от типа автомобиля. Так, для грузовых автомобилей оно составляет 0,55...0,80, для автобусов – 0,50...0,60 и легковых автомобилей – 0,90...1,20. Чем больше значение коэффициента поперечной устойчивости, тем более устойчив автомобиль против бокового опрокидывания» [6].

«Продольную устойчивость автопоезда характеризует критический (максимальный) угол α_6 подъема по буксованию.

Определим максимальный угол подъема, который может преодолеть прицепной автопоезд при равномерном движении без буксования ведущих колес автомобиля-тягача. При этом силами сопротивления качению и воздуха пренебрегаем, так как автопоезд на подъеме движется с небольшой скоростью и значения этих сил невелики (рисунок 7).

Из условий равновесия автомобиля-тягача следует:

$$R_{z2} = \frac{(Gh_u + G_{np}c)\sin\alpha + G\cos\alpha l_1}{L}, \quad (18)$$

$$R_{x2} = (G + G_{np})\sin\alpha \frac{(Gh_u + G_{np}h_{kp})\sin\alpha + G\cos\alpha l_1}{L}, \quad (19)$$

где G_{np} – вес прицепа, Н;

h_{kp} – высота расположения крюка буксирного устройства» [3].

«Максимальное значение касательной реакции дороги R_{x2} ограничено сцеплением колес с дорогой:

$$R_{x2} \leq \varphi_x = R_{z2}. \quad (20)$$

Подставим в это выражение значения касательной R_{x2} и нормальной R_{z2} реакций дороги, разделим обе части выражения на $\cos\alpha$ и, приняв, что $\alpha = \alpha_6$, получим выражение для максимального, или критического, угла подъема, при котором возможно движение прицепного автопоезда без буксования ведущих колес автомобиля-тягача:

$$\operatorname{tg}\alpha_6 = \frac{\varphi_x G l_1}{G(L - \varphi_x h_u) + G_{np}(L - \varphi_x h_{np})}. \quad (21)$$

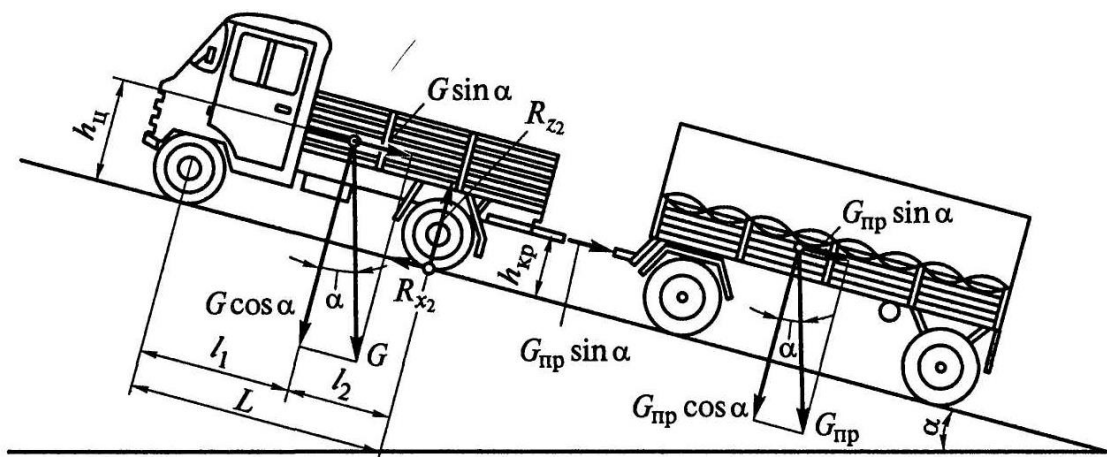


Рисунок 7 – Движение автопоезда на подъеме

Критический угол подъема по буксованию существенно зависит от сцепления колес с дорогой. Так, например, при коэффициенте сцепления φ_x равном 0,3 (асфальт, покрытый снегом) для автопоездов этот угол не превышает 6° . Поэтому в зимнее время часто происходит буксование ведущих колес тягача автопоезда на относительно пологих подъемах» [7].

1.2 Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов подвески на устойчивость автомобиля

«В условиях эксплуатации чаще происходит нарушение поперечной устойчивости автомобиля (занос, опрокидывание), которое более опасно, чем нарушение продольной устойчивости.

На поперечную устойчивость автомобиля влияют различные конструктивные и эксплуатационные факторы. К ним относятся крен кузова автомобиля, износ шин, неисправность тормозных механизмов, центр тяжести автомобиля и колея колес, расположение груза в кузове, дорожное покрытие, повороты и виражи дороги, способ торможения автомобиля и др.

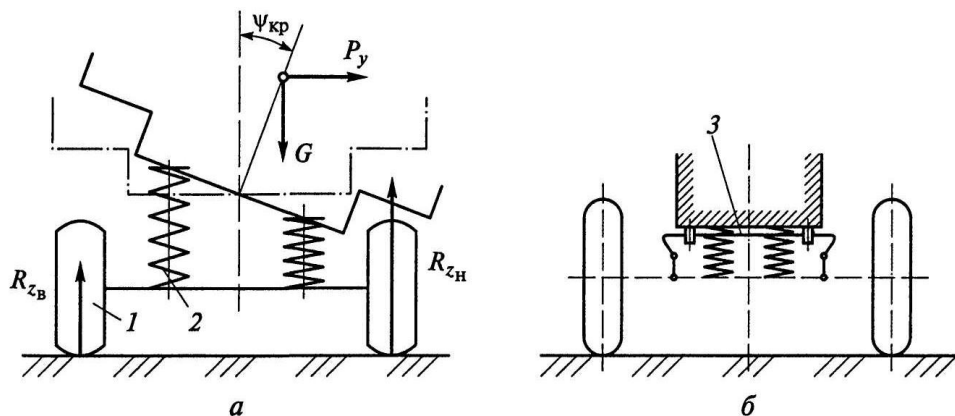
Рассмотрим влияние различных факторов на поперечную устойчивость автомобиля. Поперечный крен кузова. При определении показателей поперечной устойчивости автомобиля не учитывались эластичность шин и упругость подвески, а автомобиль рассматривался как единое твердое тело.

В действительности автомобиль представляет собой систему масс, соединенных между собой подвеской, к которым относятся поддрессоренные (кузов) и неподдрессоренные (мосты, колеса) массы.

При разгоне, торможении и повороте автомобиля, а также езде по неровностям дороги вследствие действия боковой силы P_y (рисунок 8, а) шины 1 и упругие устройства 2 подвески (рессоры, пружины и др.) с одной стороны автомобиля разгружаются, а с другой - нагружаются. В результате кузов автомобиля наклоняется в поперечном направлении. Угол $\psi_{кр}$ крена кузова увеличивается с возрастанием боковой силы P_y . Он может быть

уменьшен при увеличении угловой жесткости подвески, что достигается установкой в подвеске стабилизатора 3 (рисунок 8, б) поперечной устойчивости, который препятствует крену кузова и уменьшает его поперечные угловые колебания.

Обычно при эксплуатации угол поперечного крена кузова не превышает 10° , однако этого достаточно для того, чтобы возросла возможность опрокидывания автомобиля. Поэтому значения критической скорости и критического угла поперечного уклона дороги (косогора) в действительности будут на 10...15% меньше рассчитанных по формулам» [3].



1 – шина; 2 – упругое устройство подвески; 3 – стабилизатор

Рисунок 8 – Крен кузова (а) и стабилизатор (б) поперечной устойчивости кузова

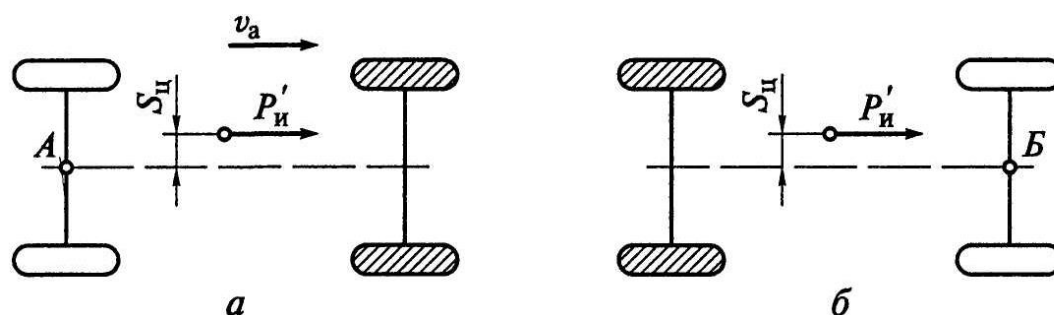
«Износ шин. В процессе эксплуатации по мере износа протектора шин ухудшается сцепление колес с дорогой и возрастает вероятность заноса автомобиля. Так, например, значение коэффициента сцепления колес с дорогой, протектор шин которых изношен до полного исчезновения рисунка («лысые шины»), почти в 2 раза меньше, чем у новых шин. Поэтому эксплуатация автомобиля с лысыми шинами недопустима» [20].

«Центр тяжести автомобиля и колея колес. Высота расположения центра тяжести автомобиля и ширина колеи передних и задних колес оказывают влияние на поперечную устойчивость автомобиля. Так, например, при высоком расположении центра тяжести может произойти опрокидывание

автомобиля при действии боковой силы. Это наиболее вероятно при движении автомобиля на поворотах малого радиуса при отсутствии виражей вследствие уменьшения критической скорости автомобиля по опрокидыванию» [12].

«Наименьшие радиусы поворотов дорог составляют 30 м. При движении на дорогах с малыми радиусами поворотов создаются условия для нарушения поперечной устойчивости автомобиля в связи со снижением его критической скорости по заносу. Поэтому для повышения устойчивости автомобиля на поворотах с небольшими радиусами создают виражи – поперечные уклоны дороги, направленные к центру поворота. Виражи повышают не только устойчивость автомобиля, но и безопасность движения на поворотах.

Устойчивость автомобиля при торможении может быть нарушена вследствие неправильного размещения груза в кузове. При несовпадении центра тяжести груза с продольной осью автомобиля сила инерции $P_{и}^1$ (рисунок 9, а), возникающая при торможении, создает поворачивающий момент, характеризуемый плечом $S_{ц}$. Если при этом заблокированы передние колеса автомобиля, то их сцепление с дорогой меньше, чем у задних колес. В результате под действием момента $P_{и}^1 S_{ц}$ автомобиль поворачивается относительно точки А оси задних колес. Расстояние $S_{ц}$ в этом случае быстро уменьшается до нуля и поворот автомобиля прекращается» [16].



а – заблокированы передние колеса; б – заблокированы задние колеса;
А, Б – центры осей задних и передних колес

Рисунок 9 – Устойчивость автомобиля при неправильном расположении груза в кузове

«При блокировке задних колес (рисунок 9, б) автомобиль поворачивается относительно точки Б оси передних колес. При этом расстояние $S_{ц}$ увеличивается, что может привести к заносу автомобиля.

Способ торможения. Устойчивость автомобиля существенно зависит от способа торможения. Так, торможение автомобиля двигателем, который не отсоединяется от трансмиссии и работает на компрессорном режиме (без подачи горючей смеси в цилиндры) или режиме холостого хода, обеспечивает устойчивость автомобиля против заноса вследствие равномерного распределения тормозных сил по колесам. При комбинированном торможении автомобиля (совместно тормозными механизмами колес и двигателем) повышается также его поперечная устойчивость, поскольку дифференциал трансмиссии обеспечивает более равномерное распределение тормозных сил по колесам. В результате уменьшается вероятность заноса автомобиля» [25].

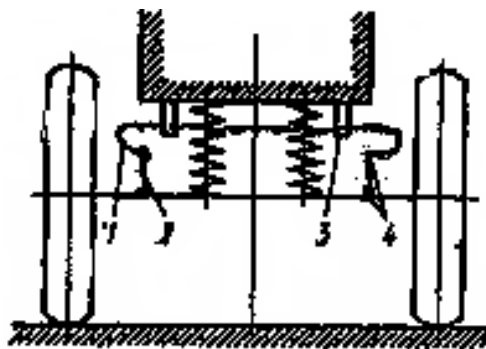
«Комбинированный способ торможения автомобиля необходимо применять на дорогах с малым коэффициентом сцепления (скользких, обледенелых), так как в этом случае существенно повышается не только устойчивость автомобиля, но и безопасность его движения.

Стабилизатор поперечной устойчивости представляет собой упругое специальное устройство торсионного типа, которое устанавливается поперек автомобиля. Он состоит из П-образного стержня круглого сечения, изготовленного из пружинной стали и плечей (стоек). Стержень подвижно (во втулках) крепится на раме или кузове, а плечами шарнирно соединяется с мостом или рычагами подвески.

При боковых кренах и поперечных угловых колебаниях кузова концы (плечи) стержня стабилизатора перемещаются в разные стороны - один опускается, другой поднимается. Вследствие этого средняя часть стержня закручивается и частично изгибается, уменьшая тем самым крен и поперечное раскачивание кузова автомобиля» [24].

«Создавая сопротивление крену и поперечным колебаниям кузова, стабилизатор в то же время не препятствует его вертикальным и продольным угловым колебаниям. При вертикальных перемещениях кузова прогибы подвесок одинаковы, перемещения плеч стабилизатора также одинаковы и скручивания стержня не происходит: он только проворачивается в опорных втулках. В этом случае стабилизатор практически не влияет на характеристику подвески. Классическую схему стабилизатора поперечной устойчивости можно представить в виде рисунка 10 [7].

Стабилизатор поперечной устойчивости представляет собой упругое устройство, которое устанавливают в подвеске поперек автомобиля. Он состоит из стержня 1, (рисунок 10) и стоек 2. Стержень П – образной формы круглого сечения из рессорно-пружинной стали. Средняя его часть закреплена в упругих резиновых опорах 3 на раме или кузове, а концы через стойки 2 и резиновые подушки 4 шарнирно соединены с мостом или рычагом подвески. Иногда концы стержня шарнирно крепят прямо к мосту или рычагам подвески без стоек» [22].



1 – стержень; 2 – стойка; 3 – резиновая опора; 4 – резиновая подушка

Рисунок 10 – Схема стабилизатора поперечной устойчивости

«При кренах или колебаниях автомобиля концы стержня перемещаются в разные стороны (один опускается, другой поднимается), вследствие этого средняя часть стержня упруго закручивается, как торсион, препятствуя крену, и поперечным колебаниям кузова» [20].

1.3 Влияние стабилизатора поперечного крена на устойчивость автомобиля

«Стабилизаторы поперечной устойчивости имеют два предназначения. Во-первых, они контролируют поперечный крен шасси так, чтобы прирост развала колес не был избыточным. Во-вторых, стабилизаторы являются удобным способом сбалансировать крен шасси между осями автомобиля, для достижения наилучшего баланса управления. Обе этих цели могут быть достигнуты с помощью пружин (рессор), но реальный контроль крена шасси с помощью пружин (рессор) потребует установки слишком жестких пружин (рессор), что нарушит контроль автомобиля в ухабистых условиях» [4].

«Стабилизатор работает как третья пружина, помогающая сохранить устойчивость в повороте. Стабилизаторы поперечной устойчивости препятствуют крену шасси и таким образом переносят нагрузку с внутренних колес на внешние колеса. Чем жестче стабилизатор поперечной устойчивости, тем большая часть нагрузки переносится с внутреннего колеса на внешнее колесо. Однако, поскольку внешнее колесо не может преобразовать всю дополнительную нагрузку в дополнительное сцепление, суммарное сцепление обоих колес в действительности снижается. Это изменяет баланс автомобиля в сторону другой оси.

Установка стабилизатора поперечной устойчивости, или увеличение его жесткости, снижает боковое сцепление на одной стороне автомобиля и увеличивает боковое сцепление на другой стороне автомобиля» [19].

«Жесткость шасси играет очень важную роль в эффективности стабилизаторов поперечной устойчивости. Жесткое шасси делает автомобиль более чутким к изменениям в стабилизаторах поперечной устойчивости.

Стабилизаторы поперечной устойчивости лучше всего использовать только на ровных трассах с высоким сцеплением. Если вы хотите использовать стабилизатор поперечной устойчивости на ухабистой трассе, попытайтесь использовать самый тонкий стабилизатор» [13].

«Передний стабилизатор поперечной устойчивости влияет на величину наклона передней части автомобиля в повороте. Когда автомобиль входит в поворот, центробежная сила принуждает автомобиль наклониться и перенести вес на внешнюю сторону поворота. Очень мягкий передний стабилизатор поперечной устойчивости увеличивает нагрузку на внешнее переднее колесо, и уменьшает нагрузку на внутреннее переднее колесо (полезно отметить, что жесткий стабилизатор будет стремиться поднять внутреннее переднее колесо, таким образом, снижая нагрузку на это колесо). В то же время, жесткий передний стабилизатор поперечной устойчивости увеличивает нагрузку на внутреннее заднее колесо, и уменьшает нагрузку на внешнее заднее колесо. В этой ситуации, баланс сцепления между передней и задней осями сдвигается назад, и вы получаете автомобиль с меньшей поворачиваемостью, но большей чувствительностью управления» [13].

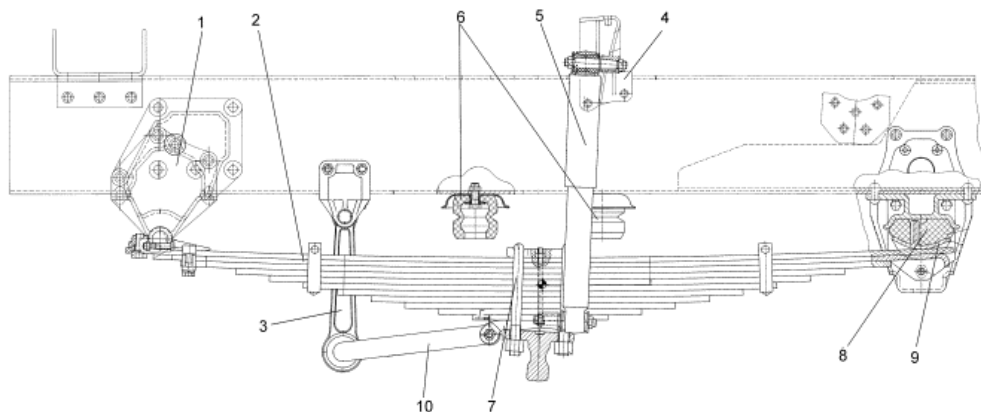
1.4 Планируемые изменения в передней подвеске

Передняя подвеска КАМАЗ-65206 (рисунок 11) представляет собой классическую рессорную конструкцию, которая обеспечивает высокую надежность и грузоподъемность, но имеет ограничения по комфорту и управляемости.

«Основными элементами передней подвески КАМАЗ-65206 являются:

- рессоры, которые служат для поглощения ударных нагрузок;
- амортизаторы: гидравлические двухтрубные амортизаторы, которые предназначены для сглаживания колебаний подвески и обеспечения комфортного движения;
- стабилизатор поперечной устойчивости: стальной прут, который соединяет левую и правую стороны подвески и предотвращает качание кабины и кузова при движении по неровным дорогам;
- рычаги подвески: соединяют рессоры с кузовом автомобиля и передают на них нагрузки от колес;

- опоры подвески: элементы, на которых установлены рессоры» [1].



1 – передний кронштейн; 2 – рессора; 3 – стойка стабилизатора; 4 – верхний кронштейн амортизатора; 5 – амортизатор; 6 – буфер; 7 – стремянка; 8 – упругий элемент; 9 – опора рессоры; 10 – штанга стабилизатора

Рисунок 11 – Устройство передней подвески грузового автомобиля КамАЗ

Преимущества конструкции:

- «простота и надежность: рессорная подвеска имеет простую конструкцию, облегчающую обслуживание и ремонтпригодность;
- высокая грузоподъемность: подвеска рассчитана на значительные нагрузки, что важно для грузового автомобиля» [2];
- долговечность: использование прочных материалов (стальные рессоры, амортизаторы) обеспечивает длительный срок службы;
- приспособленность к тяжелым условиям эксплуатации: подвеска хорошо работает на бездорожье и при перевозке тяжелых грузов.

Недостатки конструкции:

- ограниченный комфорт: рессорная подвеска менее комфортна по сравнению с независимой подвеской;
- большая масса: рессоры и другие элементы подвески имеют значительный вес, что увеличивает общую массу автомобиля.

Рассмотрим возможные направления модернизации передней подвески грузового автомобиля KAMAZ-65206.

Использование пневматической подвески: замена рессор на пневмобаллоны может улучшить комфорт и позволить регулировать высоту подвески, что полезно при работе с различными грузами.

Улучшение амортизаторов: установка более современных амортизаторов с регулируемой жесткостью может повысить комфорт и управляемость.

Изменение конструкции существующих деталей.

Оптимизация геометрии подвески: пересмотр конструкции подвески для снижения неподрессоренных масс и улучшения устойчивости.

Использование композитных материалов: применение композитных материалов в рессорах или других элементах подвески может снизить вес и повысить долговечность.

Данный раздел посвящён исследованию вопросов стабильности и устойчивости автомобильного поезда, особое внимание уделено влиянию конструктивных особенностей и режимов эксплуатации подвесочной системы на сохранение курсового равновесия транспортного средства. Детально изучаются механизмы взаимодействия внешних нагрузок и свойств подвески, определяющие поведение автомобиля в движении.

Представлена оценка воздействия различных факторов на устойчивость, таких как распределение массы, геометрические параметры шасси, жесткость пружин и амортизаторов, сцепление колес с дорогой и аэродинамика кузова.

Отдельно рассматриваются перспективные подходы к совершенствованию существующей конструкции передней подвески КамАЗа модели 65206. Предложены инновационные решения по улучшению кинематики рычагов, снижению паразитных колебаний, повышению точности регулировки углов установки колёс и обеспечению лучшей управляемости на неровностях дорожного полотна. Описаны мероприятия по внедрению прогрессивных технологий и модернизаций, направленных на повышение общей надёжности и долговечности узла, обеспечение безопасности водителей и пассажиров, а также сокращение расходов на эксплуатацию автотранспорта.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Отсутствие утвержденных методических рекомендаций по проведению расчетов для автомобильных поездов (включающих автомобиль-тягач и полуприцеп) послужило основанием для принятия решения произвести расчёт тягово-динамических характеристик легкового автомобиля, относящегося к категории М1. Этот подход выбран с целью демонстрации владения необходимыми знаниями и компетенциями в проведении подобного рода аналитических процедур. Исследование направлено на получение исчерпывающих сведений о поведении автомобиля в процессе эксплуатации, оценке его скоростных качеств, проходимости, устойчивости и способности эффективно справляться с различными нагрузками и условиями окружающей среды. Полученные результаты позволят сформировать полное понимание основ теории автомобильных трансмиссий и законов движения транспортных средств.

2.1 Определение параметров автомобиля

«Определение полной массы автомобиля:

$$m_a = m_0 + (m_n + m_{\sigma}) \cdot n, \quad (22)$$

m_0 – снаряженная масса автомобиля, 820 кг;

m_n – расчетная масса одного пассажира (водителя), $m_n = 75$ кг ;

m_{σ} – расчетная масса багажа, $m_{\sigma} = 10$ кг » [20].

$$m_a = 820 + (75 + 10) \cdot 4 = 1160 \text{ кг} .$$

«Определение нагрузки, приходящейся на передние колеса:

$$F_{K1} = m_a \cdot k_1 \cdot g , \quad (23)$$

где k_1 – коэффициент распределения нагрузки на передние колеса, для переднеприводного компоновки принимается $k_1 = 0,6$;
 g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$ » [20].

$$F_{K1} = 1160 \cdot 0,6 \cdot 9,81 = 6827,8 \text{ Н}.$$

«Определение нагрузки на задние колеса:

$$F_{K2} = m_a \cdot k_2 \cdot g, \quad (24)$$

где k_2 – коэффициент распределения нагрузки на задние колеса, для переднеприводной компоновки принимаем $k_2 = 0,4$ » [20].

$$F_{K2} = 1160 \cdot 0,4 \cdot 9,81 = 4551,8 \text{ Н}.$$

В соответствии с нагрузкой на колесо и максимальной скоростью автомобиля выбираются шины 175/65R14 со следующими характеристиками:

- 175 – ширина шины 175 мм;
- 65 – процент высоты шины от ее ширины (в данном случае 65%);
- 14" – посадочный диаметр в дюймах.

Определяем статический радиус колеса по формуле:

$$r_{cm} = \frac{(0,5 \cdot d \cdot 25,4 + 0,85 \cdot H)}{1000}, \quad (25)$$
$$r_{cm} = \frac{(0,5 \cdot 14 \cdot 25,4 + 0,85 \cdot 113,75)}{1000} = 0,274 \text{ м}.$$

«КПД трансмиссии определяем по формуле:

$$\eta_T = 0,98^k \cdot 0,97^l \cdot 0,98^m, \quad (26)$$

где k – количество цилиндрических пар в трансмиссии при движении на высшей передаче, принимаем $k = 2$;

l – количество конических пар в трансмиссии, принимаем $l = 0$;

m – количество карданных шарниров, принимаем $m = 2$ » [20].

$$\eta_T = 0,98^2 \cdot 0,97^0 \cdot 0,98^2 = 0,92236.$$

Коэффициент полезного действия трансмиссии составляет 0,92.

2.2 Определение параметров двигателя

«Определяем мощность двигателя при максимальной скорости по формуле:

$$N_V = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi_V \cdot V_{\max} + k_B \cdot A_a \cdot V_{\max}^3}{\eta_T \cdot 1000}, \quad (27)$$

где ψ_V – коэффициент дорожного сопротивления при максимальной скорости, определяется по формуле (28);

k_B – коэффициент сопротивления воздуха, принимаем $0,3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4$;

A_a – лобовая площадь.

$$\psi_V = f_V + i_B, \quad (28)$$

f_V – коэффициент сопротивления качению при максимальной скорости, определяется по формуле (29);

i_B – уклон дороги, преодолеваемый автомобилем при максимальной скорости» [20].

$$f_V = f_K \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\max}^2), \quad (29)$$

$$f_V = 0,009 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 45,8) = 0,01844.$$

Подставляем полученные значения в формулу (27) и получаем

$$N_V = \frac{1160 \cdot 9,81 \cdot 0,01844 \cdot 45,8 + 0,3 \cdot 2,1 \cdot 45,8^3}{0,92236 \cdot 1000} = 76,04 \text{ кВт}.$$

«Определяем максимальную мощность двигателя, используя формулу:

$$N_e^{\max} = \frac{N_V}{a \cdot \frac{\omega_V}{\omega_N} + b \cdot \left(\frac{\omega_V}{\omega_N} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{\omega_V}{\omega_N} \right)^3}, \quad (30)$$

где $N_e^{\max}$ – максимальная мощность двигателя;

a , b , c – коэффициенты, зависящие от типа двигателя, для бензиновых двигателей принимаем $a = b = c = 1$;

ω_V – угловая скорость при максимальной скорости;

ω_N – угловая скорость при максимальной мощности.

Отношение угловых скоростей при максимальной скорости и мощности принимаем равной 1,1» [20].

Определяем текущее значение мощности по формуле (2.10)

$$N_e^{\max} = \frac{76,04}{1 \cdot 1,1 + 1 \cdot 1,1^2 - 1 \cdot 1,1^3} - 77,67 \text{ кВт}.$$

«Определение текущих значений мощности:

$$N_e = N_e^{\max} \cdot \left[a \cdot \frac{\omega_B}{\omega_N} + b \cdot \left(\frac{\omega_B}{\omega_N} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{\omega_B}{\omega_N} \right)^3 \right], \quad (31)$$

где ω_B – угловая скорость, изменяющаяся от $\omega_{\min}$ до ω_V , для легковых автомобилей $n_N = 5200...5600$ об/мин, $n_{\min} = 800...1000$ об/мин » [20].

Выбрав ω_e , в диапазоне от $\omega_{\min}$ до ω_V 6 – 8 точек, определяем значения N_e и крутящий момент двигателя по формуле (32) вносим в таблицу 1.

$$M_e = 1000 \frac{N_e}{\omega_e}. \quad (32)$$

Таблица 1 – Данные для построения внешней скоростной характеристики

n_e , об/мин	800	1500	2000	3000	4000	4500	5600	6160
ω_e , с ⁻¹	83,77	157,08	209,44	314,16	418,87	471,23	586,43	645,07
$\frac{\omega_e}{\omega_N}$	0,1428	0,2678	0,3571	0,5357	0,7142	0,8035	1	1,0999
$\left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^2$	0,0204	0,0717	0,1275	0,2869	0,5102	0,6457	1	1,2099
$\left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^3$	0,0029	0,0192	0,0455	0,1537	0,3644	0,5188	1	1,3309
$\frac{\omega_e}{\omega_N} + \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^2 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^3$	0,1603	0,3203	0,4391	0,6689	0,86	0,9304	1	0,979
N_e , кВт	12,454	24,884	34,108	51,958	66,801	72,265	77,67	76,04
M_e , Н·м	148,66	158,42	162,85	165,38	159,47	153,35	132,44	117,87

По данной таблице строится внешняя скоростная характеристика двигателя.

2.3 Определение параметров трансмиссии

Определение параметров трансмиссии – ключевой этап проектирования автомобиля, поскольку именно трансмиссия соединяет двигатель с ведущими колесами и определяет характер распределения энергии, поступающей от мотора.

Следовательно, точный расчет параметров трансмиссии необходим для достижения оптимального баланса между производительностью, надежностью, экономичностью и удобством эксплуатации транспортного средства.

«Определяем передаточное отношение главной передачи по формуле:

$$V_{\max} = \frac{\omega_v \cdot r_K}{U_{\text{гл}} \cdot U_K^B}, \quad (33)$$

$$U_{\text{гл}} = \frac{\omega_v \cdot r_K}{V_{\max} \cdot U_K^B}, \quad (34)$$

где $U_{\text{гл}}$ – передаточное отношение главной передачи;

r_K – радиус качения, принимаем $r_K = r_{\text{CT}} = r_d$;

U_K^B – передаточное отношение коробки высшее, передача на которой достигается максимальная скорость, при двухвальной коробке передач принимаем $U_K^B = U_{K5} = 0,784$ » [20].

$$U_{\text{гл}} = \frac{644,7 \cdot 0,274}{45,8 \cdot 0,784} = 4,9195.$$

«Передаточное число первой ступени коробки передач определяется из условия, что максимальная тяговая сила на I-й передаче больше максимальной силы по дорожному сопротивлению и меньше предельной силы по сцеплению.

$$\frac{m_a g \psi_{\max} r_K}{Me_{\max} U_{\text{гл}} \eta_T} \leq U_{K1} \leq \frac{m_a g k_z r_d \varphi}{Me_{\max} U_{\text{гл}} \eta_T}, \quad (35)$$

где $Me_{\max}$ – максимальный крутящий момент двигателя (по таблице 1);

φ – коэффициент сцепления дорожного покрытия, принимаем равным 0,9;

k_z – коэффициент нагрузки на ведущие колеса. Принимаем 0,6 для переднеприводных автомобилей» [20].

Из левой части неравенства имеем:

$$U_{K1} \geq \frac{m_a g \psi_{\max} r_d}{Me_{\max} U_{ГЛ} \eta_T},$$

$$U_{K1} \geq \frac{1160 \cdot 9,81 \cdot 0,27844 \cdot 0,274}{165,38 \cdot 4,9195 \cdot 0,92236} = 1,1562.$$

Из правой части неравенства имеем:

$$U_{K1} \leq \frac{m_a g \varphi r_d}{Me_{\max} U_{ГЛ} \eta_T},$$

$$U_{K1} \leq \frac{1160 \cdot 9,81 \cdot 0,9 \cdot 0,274}{165,38 \cdot 4,9195 \cdot 0,92236} = 3,7372.$$

Исходя из решения неравенств в диапазоне 1,1562...3,7372 принимаем $U_{K1} = 3,636$.

Передаточное число для второй и третьей передач определяется по формулам (2.17, 2.18)

$$U_{K2} = \sqrt[3]{U_{K1}^2}, \quad (36)$$

$$U_{K2} = \sqrt[3]{3,636^2} = 2,3645,$$

$$U_{K3} = \sqrt[3]{U_{K1}}, \quad (37)$$

$$U_{K3} = \sqrt[3]{3,636} = 1,5377.$$

Передаточное число пятой передачи выбирается в соответствии со схемой коробки передач $U_{K5} = 0,941$.

2.4 Анализ тягово-скоростных свойств автомобиля

«Анализ тягово-скоростных свойств автомобиля проводится в зависимости от линейной скорости V_A . Значение скоростей движения автомобиля на соответствующей передаче определяется по формуле:

$$V_{An} \leq \frac{\omega_B r_K}{U_{Kn} U_{ГЛ}}, \quad (38)$$

Значение радиуса качения r_K принимается равным статическому радиусу r_{CT} .

Результаты расчета скорости движения вносятся в таблицу 2» [20].

«Определение тяговой силы на соответствующей передаче по формуле:

$$F_{K1} = \frac{M_e U_{Kn} U_{ГЛ} \eta_T}{r_D}, \quad (39)$$

Значение динамического радиуса r_D принимается равным статическому радиусу r_{CT} » [20].

«Определяем силы сопротивления движению по формуле:

$$F_{\Sigma} = F_B + F_{\psi V}, \quad (40)$$

где $F_{\psi V}$ – сила дорожного сопротивления (формула 41);

F_B – сила аэродинамического сопротивления (формула 42)» [20].

$$F_{\psi V} = m_a \cdot g \cdot \psi_V, \quad (41)$$

$$F_B = k_B \cdot A_a \cdot V_a^2, \quad (42)$$

Определяем динамический фактор по формулам (43 – 47)

$$D_1 = \frac{F_{K1} - F_{B1}}{m_a g}, \quad (43)$$

$$D_2 = \frac{F_{K2} - F_{B2}}{m_a g}, \quad (44)$$

$$D_3 = \frac{F_{K3} - F_{B3}}{m_a g}, \quad (45)$$

$$D_4 = \frac{F_{K4} - F_{B4}}{m_a g}, \quad (46)$$

$$D_5 = \frac{F_{K5} - F_{B5}}{m_a g}. \quad (47)$$

«Полученные данные динамического фактора вносим в таблицу 2 и по этим данным строим динамическую характеристику автомобиля. На динамическую характеристику наносим кривую зависимости коэффициента дорожного сопротивления от скорости:

Определяем ускорения разгона автомобиля по формулам (48 – 52)

$$J_{a1} = \frac{D_1 - \psi_v}{\delta_{j1}}, \quad (48)$$

$$J_{a2} = \frac{D_2 - \psi_v}{\delta_{j2}}, \quad (49)$$

$$J_{a3} = \frac{D_3 - \psi_v}{\delta_{j3}}, \quad (50)$$

$$J_{a4} = \frac{D_4 - \psi_v}{\delta_{j4}}, \quad (51)$$

$$J_{a5} = \frac{D_5 - \psi_v}{\delta_{j5}}, \quad (52)$$

где ψ_v – значение коэффициента дорожного сопротивления для каждого из значений скорости движения автомобиля;

δ_{j1} – коэффициент, учитывающий влияние вращения колес (формулы 53 – 57)» [20].

$$\delta_{j1} = 1,04 + 0,04U_{K1}^2, \quad (53)$$

$$\delta_{j2} = 1,04 + 0,04U_{K2}^2, \quad (54)$$

$$\delta_{j3} = 1,04 + 0,04U_{K3}^2, \quad (55)$$

$$\delta_{j4} = 1,04 + 0,04U_{K4}^2, \quad (56)$$

$$\delta_{j5} = 1,04 + 0,04U_{K5}^2. \quad (57)$$

«Подставляя D , ψ_v , δ_j , получаем значения ускорений, которые вносим в таблицу 2. По данным таблицы строим характеристику ускорений разгона автомобиля на всех передачах.

Для определения времени разгона автомобиля до заданной скорости, например, до 100км/ч или до скорости $0,9V_{max}$, определяем величину, обратную ускорению разгона $1/J_a$ и строим график зависимости обратных ускорений от скорости» [20].

Таблица 2 – Анализ тягово-скоростных свойств

Степень коробки передач	Обозначение, единицы измерения	Обороты, об/мин							
		800	1500	2000	3000	4000	4500	5600	6160
1-я ступень коробки передач, δ_{j1}	V_{A1} , м/с	1,283	2,406	3,208	4,812	6,416	7,218	8,983	9,881
	F_{K1} , Н	9134,4	9733,8	10006	10162	9798,7	9422,4	8137,9	7242,7
	$F_{\psi1}$, Н	136,67	136,95	137,26	138,14	139,37	140,11	142,06	143,22
	F_B , Н	1,038	3,647	6,484	14,590	25,938	32,827	50,838	61,514
	$F_{\psi1} + F_B$, Н	137,71	140,60	143,74	152,73	165,30	172,94	192,90	204,74
	D_1	0,803	0,855	0,879	0,892	0,859	0,825	0,711	0,631
	j_1 , м/с ²	4,944	5,272	5,420	5,500	5,294	5,083	4,366	3,867
	$1/j_1$, с ² /м	0,202	0,190	0,185	0,182	0,189	0,197	0,229	0,259

Продолжение таблицы 2

Ступень коробки передач	Обозначение, единицы измерения	Обороты, об/мин							
		800	1500	2000	3000	4000	4500	5600	6160
2-я ступень коробки передач δ_{j_2}	$V_{A2}, \text{ м/с}$	1,973	3,700	4,933	7,400	9,867	11,100	13,814	15,195
	$F_{K2}, \text{ Н}$	5940,1	6329,9	6507,1	6608,4	6372,1	6127,4	5292,1	4701,0
	$F_{\psi 2}, \text{ Н}$	136,82	137,49	138,22	140,29	143,20	144,97	149,58	152,32
	$F_B, \text{ Н}$	2,45	8,63	15,33	34,50	61,33	77,63	120,21	145,46
	$F_{\psi 2} + F_B, \text{ Н}$	139,27	146,11	153,55	174,79	204,54	222,59	269,80	297,78
	D_2	0,522	0,555	0,570	0,578	0,555	0,532	0,454	0,401
	$j_2, \text{ м/с}^2$	3,957	4,219	4,334	4,389	4,208	4,028	3,426	3,010
	$1/j_2, \text{ с}^2/\text{м}$	0,253	0,237	0,231	0,228	0,238	0,248	0,292	0,332
3-я ступень коробки передач δ_{j_3}	$V_{A3}, \text{ м/с}$	3,034	5,690	7,586	11,379	15,172	17,069	21,241	23,365
	$F_{K3}, \text{ Н}$	3863,0	4116,5	4231,8	4297,6	4144,0	3984,8	3441,6	3063,0
	$F_{\psi 3}, \text{ Н}$	137,18	138,77	140,48	145,40	152,27	156,45	167,36	173,83
	$F_B, \text{ Н}$	5,80	20,39	36,26	81,57	145,02	183,54	284,24	343,93
	$F_{\psi 3} + F_B, \text{ Н}$	142,98	159,16	176,74	226,97	297,29	339,99	451,60	517,76
	D_3	0,339	0,360	0,369	0,370	0,351	0,334	0,277	0,239
	$j_3, \text{ м/с}^2$	2,827	3,007	3,081	3,093	2,923	2,769	2,272	1,934
	$1/j_3, \text{ с}^2/\text{м}$	0,354	0,333	0,325	0,323	0,342	0,361	0,440	0,517
4-я ступень коробки передач δ_{j_4}	$V_{A4}, \text{ м/с}$	4,959	9,297	12,396	18,595	24,793	27,892	34,710	38,181
	$F_{K4}, \text{ Н}$	2364,0	2519,1	2589,6	2629,9	2535,9	2438,5	2106,1	1784,4
	$F_{\psi 4}, \text{ Н}$	138,23	142,46	147,05	160,16	178,52	189,67	218,82	236,09
	$F_B, \text{ Н}$	15,49	47,20	83,91	188,79	335,62	424,77	657,82	795,96
	$F_{\psi 4} + F_B, \text{ Н}$	153,72	189,65	230,95	348,95	514,15	614,44	876,63	1032,1
	D_4	0,206	0,217	0,220	0,215	0,193	0,177	0,127	0,095
	$j_4, \text{ м/с}^2$	1,772	1,867	1,891	1,828	1,621	1,462	0,986	0,675
	$1/j_4, \text{ с}^2/\text{м}$	0,564	0,536	0,529	0,547	0,617	0,684	1,015	1,481
5-я ступень коробки передач δ_{j_5}	$V_{A4}, \text{ м/с}$	5,952	11,159	14,879	22,318	29,758	33,478	41,661	45,827
	$F_{K4}, \text{ Н}$	1969,6	2098,8	2157,6	2191,5	2112,8	2031,6	1754,7	1561,7
	$F_{\psi 4}, \text{ Н}$	138,97	145,06	151,67	170,57	197,02	213,08	255,06	279,95
	$F_B, \text{ Н}$	22,32	78,45	139,47	313,81	557,89	706,07	1093,4	1323,1
	$F_{\psi 4} + F_B, \text{ Н}$	161,29	223,51	291,14	484,38	754,90	919,15	1348,5	1603,0
	D_4	0,171	0,178	0,177	0,165	0,137	0,116	0,058	0,042
	$j_4, \text{ м/с}^2$	1,464	1,519	1,511	1,382	1,100	0,901	0,329	0,167
	$1/j_4, \text{ с}^2/\text{м}$	0,683	0,659	0,662	0,724	0,909	1,110	3,040	6,006

«При определении времени разгона автомобиля до заданной скорости воспользуемся графиком обратных ускорений. Площади под кривой,

прилегающие к оси скорости разбиваем на простые геометрические фигуры: прямоугольная трапеция, прямоугольник» [20].

«Время разгона от скорости V_0 до скорости V_1 определится по формуле:

$$t_{p1} = 0,5 \cdot \left(\frac{1}{j_0} + \frac{1}{j_1} \right) \cdot \Delta V_1, \quad (58)$$

Время разгона от скорости V_1 до скорости V_2 определится по формуле:

$$t_{p2} = 0,5 \cdot \left(\frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2} \right) \cdot \Delta V_2, \quad (59)$$

Время разгона от скорости V_2 до скорости V_3 определится по формуле:

$$t_{p3} = 0,5 \cdot \left(\frac{1}{j_2} + \frac{1}{j_3} \right) \cdot \Delta V_3, \quad (60)$$

где $\frac{1}{j_0}, \frac{1}{j_1}, \frac{1}{j_2}, \frac{1}{j_3}$ – величина, обратная ускорению в начале и в конце отрезка скорости $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3$ » [20].

Результаты расчетов заносим в таблицу 3 и по этим данным строим график зависимости времени разгона автомобиля от скорости.

Таблица 3 – Данные для построения графика зависимости времени разгона автомобиля от скорости

$V, \text{ м/с}$	1,283	4,812	8,983	13,813	21,241	27,892	34,71	41,661	45,827
$\Delta V, \text{ м/с}$	0	3,529	4,171	4,83	7,428	6,651	6,818	6,951	4,166
$1/j, \text{ с}^2/\text{м}$	0,202	0,182	0,229	0,292	0,440	0,684	1,015	3,040	1,481
$t_p, \text{ с}$	0	0,678	0,857	1,258	2,718	3,738	5,790	14,092	9,418
$\Sigma t_p, \text{ с}$	0	0,678	1,534	2,792	5,511	9,248	15,038	29,130	38,548

«Определение пути разгона.

При определении пути разгона автомобиля до заданной скорости или до скорости $0,9 \cdot V_{max}$ воспользуемся графиком времени разгона. Путь разгона от $V_{min} = V_0$ до V_1 определим по формуле:

$$S_1 = 0,5 \cdot (V_0 + V_1) \cdot t_1. \quad (61)$$

Путь разгона на других промежутках рассчитывается подобным образом.

Далее, суммируя последовательно $(S_{p1} + S_{p2})$, $(S_{p1} + S_{p2} + S_{p3})$, $(S_{p1} + S_{p2} + S_{p3} + S_{p4})$ и так далее, определяем время разгона автомобиля от скорости $V_0 = V_{min}$ до заданной скорости.

Результаты расчетов вносим в таблицу 4» [20].

Таблица 4 – Данные для построения графика пути разгона автомобиля до заданной скорости

V, м/с	1,283	4,812	8,983	13,813	21,241	27,892	41,661	45,827
t _p , с	0,0	0,7	0,9	1,3	2,7	3,7	14,1	9,4
S _p , м	0,0	2,1	5,9	14,3	47,6	91,8	538,1	412,0
ΣS _p , м	0,0	2,1	8,0	22,3	70,0	161,8	881,1	1293,1

По таблице 4 строим график зависимости пути разгона от скорости.

2.5 Мощностной баланс автомобиля

«При определении мощностного баланса автомобиля используем данные по внешней скоростной характеристике двигателя и по тяговому балансу автомобиля.

Мощность на ведущих колесах определяется по формуле:

$$N_K = N_e \cdot \eta_T. \quad (62)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление дорожного

сопротивления, определяется по формуле:

$$N_{\psi v} = m_a \cdot \psi_v \cdot V_a. \quad (63)$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление силы сопротивления воздуха определим по формуле:

$$N_e = K_e \cdot A_a \cdot V_a^3. \quad (64)$$

Суммируя и поделив на $1000 \cdot \eta_T$, приводим мощность, затраченную на преодоление сопротивлений движению к коленчатому валу двигателя:

$$N_{\psi v} + N_e / 1000 \cdot \eta_T. \quad (65)$$

Из таблицы 3 и 4 переносим в таблицу 5 значения ω_e , N_e , V_a . и значения мощностей N_k , $N_{\psi v}$, N_e » [20].

Таблица 5 – Данные для построения графика мощностного баланса

n _e , об/мин		800	1500	2000	3000	4000	4500	5600	6160
N _e , кВт		12,45	24,88	34,10	51,95	66,80	72,26	77,6	76,04
N _k , кВт		11,48	22,95	31,46	47,92	61,61	66,65	71,64	70,13
1 передача	V _{a1} , м/с	1,283	2,406	3,208	4,812	6,416	7,218	8,983	9,881
2 передача	V _{a2} , м/с	1,973	3,700	4,933	7,400	9,867	11,10	13,81	15,19
3 передача	V _{a3} , м/с	3,034	5,690	7,586	11,379	15,17	17,06	21,24	23,36
4 передача	V _{a4} , м/с	4,959	9,297	12,39	18,595	24,79	27,89	34,71	38,18
5 передача	V _{a5} , м/с	5,952	11,15	14,87	22,318	29,75	33,47	41,66	45,82
N _b , кВт		0,133	0,875	2,075	7,004	16,60	23,63	45,55	60,63
N _{ψv} , кВт		0,127	0,239	0,318	0,477	0,637	0,716	0,891	0,98
$\frac{N_{\psi v} + N_e}{1000 \eta_T}$, кВт		0,282	1,208	2,595	8,111	18,68	26,40	50,35	66,8

По данной таблице строим график мощностного баланса.

2.6 Расчет топливно-экономической характеристики

«Путевой расход топлива при пробеге автомобиля 100 км:

$$Q_s = \frac{K_e \cdot K_n \cdot g_e^{\min} \cdot 1,1 \cdot (N_{\psi\nu} + N_e)}{36000 \cdot \rho_T \cdot \eta_T \cdot v_a}, \quad (66)$$

где K_e и K_n – коэффициенты, учитывающие соответственно изменения величины g_e в зависимости от угловой скорости и мощности двигателя.

$$K_e = 1,25 - 0,99E + 0,98E^2 - 0,24E^3, \quad (67)$$

$$K_n = 3,27 - 8,22I + 9,13I^2 - 3,18I^3, \quad (68)$$

$$E = \frac{\omega_e}{\omega_n}, \quad (69)$$

$$I = \frac{N_{\psi\nu} + N_e}{N_K}, \quad (70)$$

где $g_e^{\min}$ – минимальный удельный эффективный расход топлива, принимается равным 340 г/кВт·ч;

ρ_T – плотность топлива, принимается равно 0,72 кг/л» [20].

Данные значения вносим в таблицу 6 и по ней строим график топливной экономичности.

Таблица 6 – Данные для построения графика топливной экономичности

V_a^5 , м/с	5,952	11,159	14,879	22,318	29,758	33,478	41,661	45,827
ω_e/ω_n	0,143	0,268	0,357	0,536	0,714	0,804	1,000	1,100
k_e	1,128	1,051	1,011	0,964	0,955	0,963	1,000	1,027
I	0,023	0,049	0,076	0,156	0,280	0,365	0,648	0,878
k_n	3,089	2,892	2,697	2,197	1,615	1,330	0,912	0,939
Q_s , л	2,382	4,746	6,857	11,107	13,985	14,576	15,901	20,286

Выводы по разделу.

В рамках выполненного исследования проведен комплексный тягово-динамический расчет характеристик легкового автомобиля категории М1.

Основные цели расчета:

- определение максимальной скорости автомобиля.
- оценка разгонной динамики и ускорений.
- расчет тормозных усилий и эффективности замедления.
- изучение влияния различных факторов (дорожных условий, нагрузки, типа шин) на эксплуатационные показатели автомобиля.

Расчеты проводились на основании стандартных методик и нормативов, применяемых в автомобильной отрасли. Использовались компьютерные модели и специализированные программы для моделирования поведения автомобиля в реальных условиях эксплуатации.

Результаты и выводы:

- эффективность торможения соответствует требованиям безопасности и стандартам качества;
- управляемость и устойчивость автомобиля оценены положительно, что подтверждает высокие эксплуатационные характеристики исследуемого транспортного средства.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о высокой надежности и безопасности конструкции автомобиля, а также подтверждают соответствие его технических характеристик современным требованиям рынка.

Для наглядности полученных данных в графической части выпускной квалификационной работы представлены диаграммы и графики, иллюстрирующие динамику ускорения, торможения, зависимости мощности двигателя от оборотов коленчатого вала и другие важные показатели.

3 Конструкторская часть

3.1 Требования к подвеске автомобиля-тягача

Создание современных грузовых автомобилей-тягачей требует особого внимания к разработке подвески. Ее конструктивные особенности оказывают непосредственное влияние на основные эксплуатационные характеристики техники: комфорт водителя во время передвижения, способность преодолевать препятствия различной сложности, безопасность управления автомобилем, стабильность траектории движения, износостойкость узлов и агрегатов, а также уровень расхода топлива.

Современные грузовые автопоезда эксплуатируются в широком диапазоне дорожных условий – от высокоскоростных магистралей до тяжелых грунтовок карьеров и полного отсутствия покрытия. Конструкторы вынуждены учитывать разнообразные требования, определяемые условиями эксплуатации, среди которых важнейшим параметром становится дорожный просвет. Его значение определяется расстоянием от поверхности дороги до нижних элементов шасси и механизмов автомобиля.

Выбор оптимального размера клиренса осуществляется исходя из специфики предстоящих маршрутов транспортировки груза. Так, при работе в сложных дорожных условиях и на бездорожье увеличение дорожного просвета способствует повышению проходимости, однако одновременно создает ряд негативных последствий: увеличивается центр тяжести автомобиля, снижается общая устойчивость транспортного средства, повышается риск опрокидывания, усложняется управление машиной на высоких скоростях.

Оптимальное решение достигается путем комплексного подхода, включающего балансировку всех важных параметров, что обеспечивает максимальную производительность и безопасность транспортного средства при любых условиях эксплуатации.

«На современных грузовых автомобилях-тягачах можно встретить как зависимые, так и независимые подвески колес. При этом в силу экономической целесообразности наибольшее распространение получили рессорные подвески жестких балок мостов и только на магистральных тягачах в качестве упругих элементов прижились пневмобаллоны» [14].

Рессора представляет собой универсальную деталь подвески, выполняющую одновременно несколько функций. Она действует как упругий элемент, поглощающий удары и колебания, возникающие при движении по неровностям дороги, и одновременно выступает в роли направляющего устройства, задающего траекторию перемещения моста относительно рамы автомобиля.

Использование рессор упрощает конструкцию подвески, сокращает количество отдельных деталей и делает процесс сборки и ремонта автомобиля менее трудоемким. Простота конструкции рессоры позволяет легко производить замену изношенных или поврежденных частей, поддерживая функциональность подвески.

Однако наряду с достоинствами, рессоры обладают рядом существенных минусов. Главный недостаток заключается в высоком уровне межлистового трения, которое способно заметно ухудшать плавность хода, особенно на ровных участках дороги. Еще один существенный минус – высокая материалоемкость рессор и сложность технологии производства самих стальных листов, используемых в их конструкции. Эти недостатки ограничивают область применения рессор преимущественно рамными транспортными средствами и спецтехникой, не ориентированными на комфортные условия эксплуатации.

«Листы для рессор изготавливают из дорогой, высокопрочной стали, содержащей кремний и марганец (55ГС, 55С2, 60С2), а также хром и никель (50ХГ). Чтобы рессоры могли выдерживать высокие, многократно повторяющиеся напряжения, возникающие во время прогиба, на поверхности листов после термообработки не должно быть обезуглероженных участков,

трещин и других дефектов, а этого можно добиться только при довольно дорогом технологическом процессе. Предел текучести стали, идущей для изготовления листов рессоры, должен быть не менее $1\ 150\ \text{Н/см}^2$. Отсюда и высокая стоимость рессоры» [4].

«Несмотря на то, что рессоры известны уже несколько столетий, их долговечность, обусловленная начальными напряжениями, сложным напряженным состоянием, динамическим и повторяющимся воздействием разнообразных сил, остается невысокой. По сравнению с торсионами и пружинами рессора работает в менее благоприятных условиях; ее усталостная прочность в 4 раза меньше, чем у торциона. В настоящее время при эксплуатации в хороших дорожных условиях (асфальтовое покрытие) долговечность рессор магистральных грузовиков составляет 100...150 тысяч км пробега, но в плохих условиях (грунтовые дороги, работа на стройках) она падает вдвое и доходит до 10...15 тысяч км в случае применения рессор, изготовленных ремонтными предприятиями.

Листы рессоры имеют в свободном состоянии разную кривизну, поэтому уже при сборке в них появляются начальные напряжения (наибольшие в коротких листах). Рессора, являющаяся упругим и направляющим элементом подвески, испытывает изгиб в вертикальной плоскости, прогиб от вертикальных сил, воспринимает продольные силы и их моменты, а также осевое сжатие от продольных сил, изгиб в горизонтальной плоскости от боковых сил и кручение от их моментов. Самым напряженным является коренной лист, поэтому его делают или толще остальных, или для усиления ставят два-три коренных листа» [4].

«Недостатком рессор является их линейная характеристика жесткости (то есть прогиб пропорционален прикладываемому усилию), в то время как желательно иметь прогрессивное увеличение жесткости по мере прогиба. Некоторого изменения жесткости рессоры можно достичь установкой серьги с наклоном (на легких и средних грузовиках) или за счет цилиндрической задней опоры (на тяжелых грузовиках).

Изменение жесткости рессорной подвески чаще всего достигают введением подрессорника или нижней дополнительной (иногда однолистовой) рессоры, делающей характеристику подвески прогрессивной (жесткость ступенчато увеличивается при ходе колеса вверх).

Трение в рессоре в прошлом позволяло обходиться без специальных амортизаторов в подвеске современных грузовых автомобилей, что удешевляло машину и упрощало уход за ней. В настоящее время скорости движения грузовиков выросли настолько, что для обеспечения безопасности движения и плавности хода установка амортизаторов стала необходима, так же, как и борьба с трением в листах рессор. Причин две: из-за неблагоприятного закона изменения трения и нестабильности его величины при эксплуатации. При малых толчках, когда сила, передающаяся через рессору, меньше силы трения между листами, рессора «блокируется», неровности компенсируются только шинами, и плавность хода значительно ухудшается. Те же силы трения при колебаниях большой амплитуды не способствуют достаточному их затуханию. У рессор, работающих без смазки, сила трения может достигать 25% от упругой силы рессоры. Для обеспечения хорошей плавности хода автомобиля сила трения не должна превышать 5...8%» [18].

Производители стремятся минимизировать трение между листами рессор, используя различные инновационные решения. Наиболее эффективным подходом является применение малолистовых конструкций, включая одинарные элементы переменной толщины и ширины. Это позволяет существенно уменьшить количество взаимодействующих поверхностей и снижает износ материалов.

Еще одним важным решением является использование листов особой конфигурации, разработанных специально для минимизации контакта и трения. Дополнительно применяются технологии введения смазки непосредственно внутрь рессорной системы, а также специальные прокладки и вставки между отдельными элементами, предотвращающие нежелательное

соприкосновение и значительно продлевающие ресурс изделия. Эти меры обеспечивают значительное улучшение долговечности и комфорта езды, снижая негативное воздействие фрикционных процессов на работоспособность подвески.

3.2 Расчёт показателей устойчивости и управляемости автомобиля-тягача

Одной из ключевых характеристик любого автомобиля, оказывающей прямое влияние на безопасность и удовольствие от вождения, является его управляемость. Именно этот показатель отражает, насколько успешно водитель сможет контролировать движение своего транспортного средства, выполняя любые маневры на дороге независимо от текущих условий внешней среды и интенсивности трафика.

«Управляемость автомобиля зависит от многих факторов, включая конструкцию шасси, систему подвески, рулевое управление, тормозную систему, а также качество шин и дорожного покрытия. Все эти факторы должны работать в совершенстве, чтобы обеспечить хорошую управляемость автомобиля на дороге.

Управляемость автомобиля также зависит от навыков и опыта водителя. Водитель должен уметь правильно управлять автомобилем, адекватно оценивать ситуацию на дороге и принимать решения, чтобы избежать аварийных ситуаций» [23].

Хорошая управляемость предполагает лёгкое выполнение поворотов, уверенное удерживание заданной траектории, своевременное реагирование на команды рулевого механизма и чёткую обратную связь водителю. Современные автомобили оснащены множеством инновационных систем помощи водителю, улучшающих восприятие дорожной ситуации и облегчающих управление транспортным средством, что позволяет повысить общий уровень комфорта и безопасности поездок.

«Радиус поворота необходимо считать для автомобиля с колёсами с эластичными колёсами:

$$R_{\vartheta} = \frac{L}{\operatorname{tg}(\Theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2}, \quad (71)$$

где L – база автомобиля, принимается равной 4500,0 мм;

Θ – угол поворота управляемых колёс, принимается равным $30^\circ = 0,52$ рад» [21].

$$R_{\vartheta} = \frac{4500,0}{\operatorname{tg}(30^\circ - 6^\circ) + \operatorname{tg} 4^\circ} = 8737,86 \text{ мм.}$$

Дальнейшие расчеты ведём для всего автопоезда.

«При равномерном движении на повороте поперечная составляющая центробежной силы (для передней оси):

$$P_y = \frac{G \cdot v^2}{g \cdot R}, \quad (72)$$

где G – вес автомобиля 91478 Н, предположим, что вес по осям распределяется следующим образом: 1/3 веса на переднюю ось ($91478 \cdot 1/3 = 30492,6$ Н), 2/3 на заднюю ось ($91478 \cdot 2/3 = 60985,3$ Н);

v – скорость автомобиля при совершении манёвра, принимается равной 6,6 км/ч или 1,84 м/с;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с» [9].

$$P_y = \frac{30492,6 \cdot 1,84^2}{9,81 \cdot 8,74} = 2408,13 \text{ Н.}$$

Для задней оси:

$$P_y = \frac{60985,3 \cdot 1,94^2}{9,81 \cdot 8,74} = 4682,22 \text{ Н.}$$

«Весовой стабилизирующий момент равен:

$$M_{CB} = G_{\kappa} \cdot l_{\eta} \cdot \sin \beta_{\omega} \cdot \sin \Theta, \quad (73)$$

где G_{κ} – нагрузка на колесо, принимается равной 15246,3 Н;

l_{η} – длина поворотной цапфы, принимается равной 0,30 м [9];

β_{ω} – угол оси поворота управляемого колеса, принимается равным 7° [3];

Θ – угол поворота управляемых колёс, принимается равным $30^\circ = 0,52 \text{ рад.}$ » [9].

$$M_{CB} = 15246,3 \cdot 0,30 \cdot \sin 7^\circ \cdot \sin 30^\circ = 278,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

«Угол увода колеса:

$$\delta_{y\vartheta} = \frac{P_y}{k_{y\vartheta}}, \quad (74)$$

где $k_{y\vartheta}$ – коэффициент сопротивления уводу, принимается равным 40 кН/рад» [3].

$$\delta_{y\vartheta} = \frac{1,21}{40,0} = 0,030 \text{ рад} = 4^\circ.$$

«Величина $\delta_{y\vartheta} \approx 4,0^\circ$, что укладывается в пределы $4...6^\circ$ – при отсутствии бокового скольжения.

Колебания управляемых колёс должны быть высокой частоты, превышающей 10 Гц, с амплитудой не более $1,5...2,0^\circ$. Они происходят в

пределах упругих шин и рулевого привода. Эти колебания не передаются водителю и не приводят к нарушению управляемости автомобиля, так как поглощаются в рулевом управлении. Колебания низкой частоты необходимо устранять» [4].

«Скоростной стабилизирующий момент:

$$M_{CC} = R_y \cdot r_k \cdot \sin \gamma_u, \quad (75)$$

где R_y – поперечная реакция дороги на переднюю и заднюю ось автомобиля при равномерном движении на повороте, Н:

r_k – радиус колеса, принимается равным 0,48 м [9];

γ_u – угол продольного наклона, принимается равным $3,5^\circ$ [3].

$$M_{CC} = 1206,76 \cdot 0,48 \cdot \sin 3,5^\circ = 35,36 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

«Упругий стабилизирующий момент, создаваемый шиной:

$$M_{CV} = P_\phi \cdot b, \quad (76)$$

где P_ϕ – результирующая боковых сил, принимается равной 1755,83 Н;

b – плечо действия силы P_ϕ , принимается равным 0,3 м» [9].

$$M_{CV} = 1206,76 \cdot 0,300 = 362,03 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

«Критическая скорость по боковому скольжению (заносу) равна:

$$v_3 = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot \phi_y} \quad (77)$$

где ϕ_y – коэффициент поперечного сцепления, принимается равным 0,5» [3].

$$v_3 = 3,6 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 8,74 \cdot 0,50} = 23,57 \text{ км/ч.}$$

«Критическая скорость по опрокидыванию:

$$v_0 = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot B}{2 \cdot h_{\text{ц}}}}, \quad (78)$$

где B – ширина колеи автомобиля, принимается равной 1,90 м;

$h_{\text{ц}}$ – высота центра тяжести, принимается равной 1,20 м» [9].

$$v_0 = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 8,74 \cdot 1,90}{2 \cdot 1,20}} = 29,66 \text{ км/ч.}$$

«Критический угол поперечного уклона дороги по скольжению:

$$\beta_3 = \arctg \varphi_y, \quad (79)$$

$$\beta_3 = \arctg 0,40 = 21,80^\circ.$$

Критический угол поперечного уклона дороги по опрокидыванию:

$$\beta_0 = \arctg \frac{B}{2 \cdot h_{\text{ц}}}, \quad (80)$$

$$\beta_0 = \arctg \frac{1,90}{2 \cdot 1,20} = 38,37^\circ.$$

Коэффициент поперечной устойчивости:

$$\eta_{\text{п}} = \frac{B}{2 \cdot h_{\text{ц}}}, \quad (81)$$

$$\eta_{II} = \frac{1,9}{2 \cdot 1,20} = 0,79^0.$$

Из условий равновесия автомобиля-тягача следует:

$$R_{z2} = \frac{(Gh_u + G_{np}h_{кр})\sin\alpha + G\cos\alpha l_1}{L}, \quad (82)$$

$$R_{\chi2} = (G + G_{np})\sin\alpha,$$

где G_{np} – вес прицепа, Н;

$h_{кр}$ – высота расположения крюка буксирного устройства;

α – угол подъема» [11].

«Максимальное значение касательной реакции дороги $R_{\chi2}$ ограничено сцеплением колес с дорогой:

$$R_{\chi2} \leq \varphi_x R_{z2}. \quad (83)$$

Подставим в это выражение значения касательной $R_{\chi2}$ и нормальной R_{z2} реакций дороги, разделим обе части выражения на $\cos\alpha$ и, приняв, что $\alpha = \alpha_{\delta}$, получим выражение для максимального, или критического, угла подъема, при котором возможно движение прицепного автопоезда без буксования ведущих колес автомобиля-тягача:

$$\operatorname{tg}\alpha_{\delta} = \frac{\varphi_x G l_1}{G(L - \varphi_x h_u) + G_{np}(L - \varphi_x h_{np})}. \quad (84)$$

Критический угол подъема по буксованию существенно зависит от сцепления колес с дорогой. Так, например, при коэффициенте сцепления $\varphi_x = 0,3$ (асфальт, покрытый снегом) для автопоездов этот угол не превышает 6° . Поэтому в зимнее время часто происходит буксование ведущих колес тягача

автопоезда на относительно пологих подъемах» [13].

Итак, для проектируемого автомобиля критический угол равен:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{0,40 \cdot 160000,0 \cdot 3,0}{91478 \cdot (4,50 - 0,40 \cdot 1,20) + 280000,0 \cdot (4,50 - 0,40 \cdot 2,20)} = 0,1159,$$
$$\alpha_B = \operatorname{arctg} 0,1159 = 6,61^\circ.$$

Дальнейшие расчеты ведём для тягача отдельно.

«Колебания управляемых колёс должны быть высокой частоты, превышающей 10 Гц, с амплитудой не более $1,5 \dots 2,0^\circ$. Они происходят в пределах упругих шин и рулевого привода. Эти колебания не передаются водителю и не приводят к нарушению управляемости автомобиля, так как поглощаются в рулевом управлении. Колебания низкой частоты необходимо устранять [4].

Весовой стабилизирующий момент возникает вследствие поперечного наклона или оси поворота управляемого колеса» [20].

Весовой стабилизирующий момент равен:

$$M_{CB} = G_\kappa \cdot l_u \cdot \sin \beta_u \cdot \sin \Theta,$$
$$M_{CB} = 26666,67 \cdot 0,30 \cdot \sin 7^\circ \cdot \sin 30^\circ = 487,48 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Скоростной стабилизирующий момент:

$$M_{CC} = R_y \cdot r_\kappa \cdot \sin \gamma_u,$$
$$M_{CB} = 26666,67 \cdot 0,30 \cdot \sin 7^\circ \cdot \sin 30^\circ = 487,48 \text{ Н} \cdot \text{м},$$
$$M_{CC} = 1206,76 \cdot 0,48 \cdot \sin 3,5^\circ = 35,36 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Упругий стабилизирующий момент, создаваемый шиной:

$$M_{cy} = P_{\sigma} \cdot b,$$

$$M_{cy} = 1206,76 \cdot 0,300 = 362,03 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

«Критическая скорость по боковому скольжению (заносу) равна:

$$v_3 = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot \varphi_y}$$

где φ_y – коэффициент поперечного сцепления, принимается равным 0,40» [21].

$$v_3 = 3,6 \cdot \sqrt{9,81 \cdot 8,74 \cdot 0,40} = 21,08 \text{ км/ч}.$$

«Критическая скорость по опрокидыванию:

$$v_3 = 3,6 \cdot \sqrt{g \cdot R \cdot \varphi_y},$$

$$v_0 = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{g \cdot R \cdot B}{2 \cdot h_{ц}}},$$

где B – ширина колеи автомобиля, принимается 1,9 м;

$h_{ц}$ – высота центра тяжести, принимается равной 1,0 м.

$$v_0 = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 8,74 \cdot 1,90}{2 \cdot 1,0}} = 32,49 \text{ км/ч}.$$

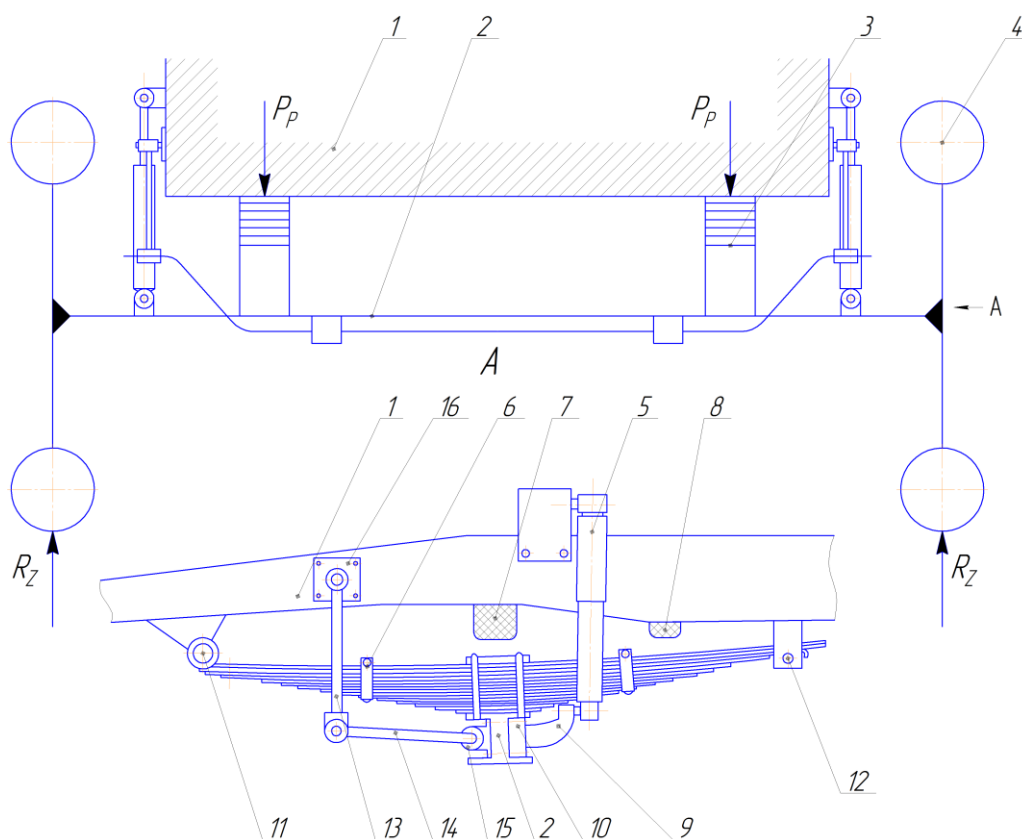
Критический угол поперечного уклона дороги по скольжению, опрокидыванию, а также коэффициент поперечной устойчивости имеют аналогичные ранее проведенным расчетам значения» [9].

3.3 Разработка кинематической схемы подвески

Кинематическую схему модернизируемой передней подвески со стабилизатором поперечной устойчивости можно представить в виде рисунка 12.

«Схема достаточно распространённая, но есть в ней и свои новшества. Итак, подвеска получилась зависимая, рессорная, со стабилизатором поперечной устойчивости. Количество рессорных листов 14 шт. Стабилизатор поперечной устойчивости состоит из жёсткой штанги 14, стойки 13 и кронштейна 16.

Стойка имеет шарнирное соединение, как со штангой, так и с кронштейном. При наезде правым или левым колесом на препятствие штанга 13 поделит усилие примерно пополам на оба передних колеса. Это исключит крен кузова автомобиля на виражах и неровностях дороги» [22].



- 1 – рама автомобиля; 2 – передний мост; 3 – комплект рессор (14 шт.);
 4 – колёса; 5 – амортизатор; 6 – скобы; 7 – буфер передний; 8 – буфер задний;
 9 – кронштейн; 10 – стремянки; 11 – ухо; 12 – кронштейн задний; 13 – стойки;
 14 – штанга; 15 – обоймы; 16 – кронштейн тяги стабилизатора

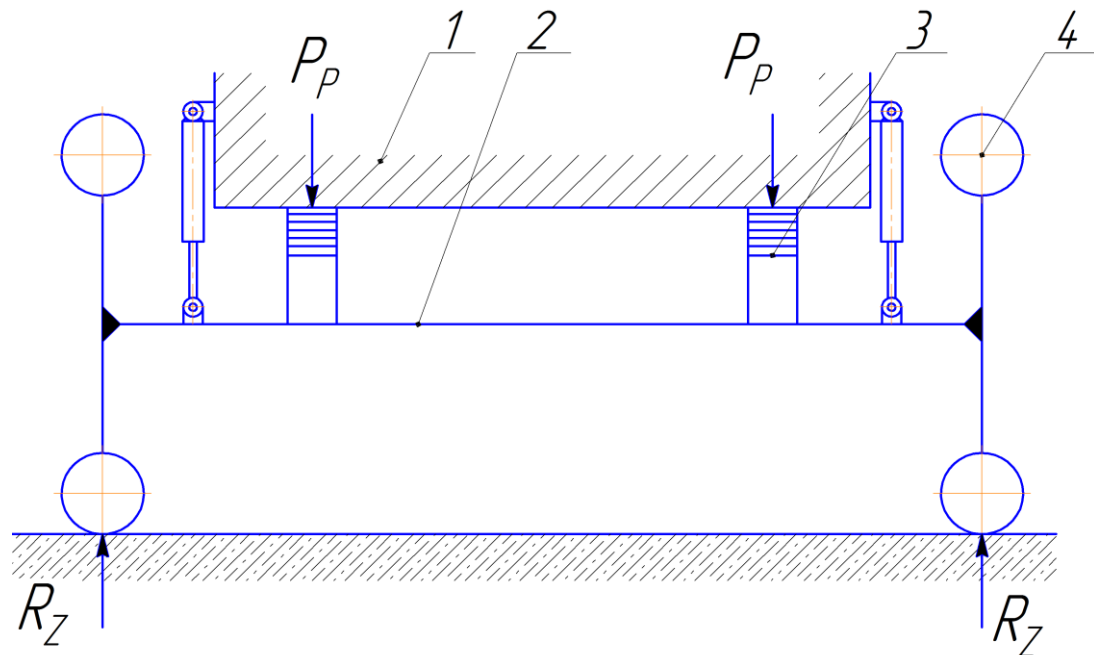
Рисунок 12 – Кинематическая схема разрабатываемой передней подвески

Спецификация на переднюю подвеску представлена в Приложении А (рисунки А.1, А.2, А.3).

3.4 Расчёт подвески

Выполним расчёт упругого элемента подвески.

«Подвеска у нас рессорная, симметричная (рисунок 13). По четырнадцать рессорных листов в блоке, длина всей рессорной части 1,80 м, ширина листа – 0,090 м, толщина листа 0,012 м.



1 – рама автомобиля; 2 – передний мост; 3 – комплект рессор (14 шт.);
4 – колёса; P_p – нагрузка на поддрессоренную часть, Н; R_z – нормальная реакция, Н

Рисунок 13 – Расчётная схема для определения нагрузок на подвеску

Полная масса автомобиля категории N_3 (без прицепа) составляет 9324 кг, вес автомобиля – 91,5 кН (рисунок 13).

Нагрузка рессорную часть составляет (на одну сторону моста):

$$P_p = R_z - 0,5 \cdot G_{H.M.}, \quad (85)$$

где R_z – нормальная реакция, Н;

$G_{H.M.}$ – вес неподрессоренных масс (вес моста с колёсами),
принимается равным 5625,0 Н» [11].

На одну сторону моста:

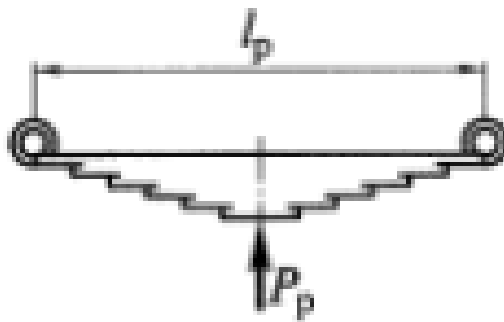
$$P_p = \frac{P}{2}. \quad (86)$$

Нормальная реакция зависит от веса автомобиля и распределения его по платформе, а также от дорожных условий. Для проверочных расчётов примем самый наихудший случай:

$$R_z = R_z^1 = 30492,6 \text{ Н} = 30,5 \text{ кН}. \quad (87)$$

$$P_p = 30492,6 - 0,5 \cdot 5625,0 = 27680,1 \text{ Н}.$$

Изначально при разработке рессоры задались симметричной схемой для упрощения расчёта (рисунок 14) [3].



l_p – длина фиксации рессоры, м; P_{pE} – нормальная реакция, Н

Рисунок 14 – Нагружение симметричной рессоры

«Жёсткость рессоры находится из выражения:

$$c_p = \frac{P_{pE}}{f_p}, \quad (88)$$

где P_{pE} – нормальная реакция, принимается равной 50,52 кН;

f_p – прогиб рессоры, м» [12].

«Прогиб рессоры (рисунок 15) находится из выражения:

$$f_p = \frac{\delta \cdot P_{PE} \cdot l_{PE}}{4 \cdot E \cdot n_{PE} \cdot b \cdot h^3}, \quad (89)$$

где δ – коэффициент прогиба рессоры, принимается равным 1,25 [3];

l_{PE} – длина рессоры, конструктивно принята 1,80 м;

E – модуль упругости при растяжении, равен $2 \cdot 10^{11}$ Па [3];

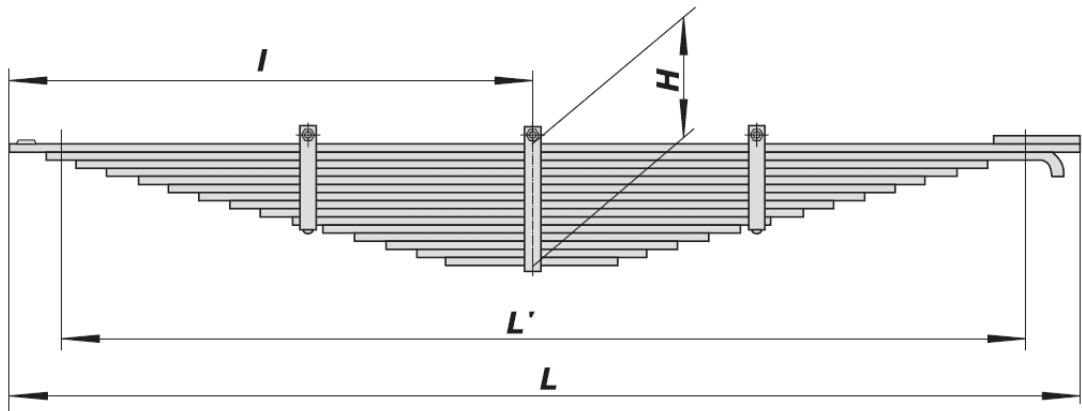
n_{PE} – число листов рессора, конструктивно принято 14 шт.

b – ширина листа, конструктивно принята 0,090 м;

h – толщина листа, конструктивно принята 0,012 м» [11].

$$f_p = \frac{1,25 \cdot 50520,83 \cdot 1,80}{4 \cdot 2 \cdot 10^{11} \cdot 14 \cdot 0,090 \cdot 0,012^3} = 0,13 \text{ м},$$

$$c_p = \frac{50520,83}{0,13} = 388621,77 \text{ Н} \cdot \text{м} = 388,62 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$



H – высота пакета рессор; L – длина рессор; L^* – длина по местам фиксации рессор; $l = L/2$

Рисунок 15 – Вид общий переднего рессора автомобиля категории N₂

Далее необходимо рассчитать рессоры на прочность. Проверку произведём по напряжению изгиба [3]:

$$\sigma_{изг.} = \frac{1,5 \cdot P_{PE} \cdot l_{PE}}{n_{PE} \cdot b \cdot h^2}, \quad (90)$$

$$\sigma_{изг.} = \frac{1,5 \cdot 50520,83 \cdot 1,80}{14 \cdot 0,090 \cdot 0,012^2} = 751,80 \text{ МПа},$$

Полученное значение укладывается в пределы 800...1000 МПа (рессора подобрана верно) [9].

«Далее необходимо рассчитать ограничитель хода колёс (буфер). В конструкции проектируемой подвески их два: передний и задний. Буфера работают на сжатие, расчёт сводится к определению их жёсткости.

Для нашей конструкции жёсткость буфера определится из выражения:

$$c_{\delta}^1 = c_p \cdot \frac{f_{cm}}{f_{\delta}} \cdot (k_{\delta} - \frac{f_{\delta}}{f_{cm}} - 1), \quad (91)$$

где c_p – жесткость рессоры, принимается равной 388,62 кН/м;

f_{cm} – статический прогиб рессоры, принимается равным 0,25 м;

f_{δ} – динамический прогиб рессоры, принимается равным 0,31 м;

k_{δ} – коэффициент динамичности, принимается равным 2,5 [3];

f_{δ} – прогиб буфера» [21].

$$f_{\delta} = 0,76 \cdot h_{\delta}, \quad (92)$$

$$f_{\delta} = 0,76 \cdot h_{\delta} = 0,75 \cdot 100,0 = 75,0 \text{ мм},$$

$$f_{\delta} = 0,76 \cdot h_{\delta} = 0,75 \cdot 45,0 = 33,75 \text{ мм}.$$

$$c_{\delta}^1 = 388621,77 \cdot \frac{0,25}{0,075} \cdot (2,5 - \frac{0,31}{0,25} - 1) = 339805,53 \text{ Н} \cdot \text{м} = 339,81 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

$$c_{\delta}^1 = 388621,77 \cdot \frac{0,25}{0,034} \cdot (2,5 - \frac{0,31}{0,25} - 1) = 742953,38 \text{ Н} = 742,95 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

«Основной целью расчёта является определение параметров амортизатора и выбор его по каталогу. Основные параметры и размеры телескопических амортизаторов стандартизированы (ГОСТ 11728-76).

Основные определяемые параметры амортизатора являются:

- коэффициент апериодичности в подвеске при колебаниях автомобиля;
- максимальные усилия при сжатии и отбое;
- критические движения поршня, при которых открываются клапаны;
- энергоемкость и степень ее уменьшения при нагреве» [10].

«На начальном участке сила сопротивления определяется:

$$P_n = \kappa_n \cdot V_n^m, \quad (93)$$

где V_n – скорость поршня [11];

m – показатель степени [11];

κ_n – коэффициент сопротивления на начальном участке» [11].

$$P_n^{отб} = 0,15 \cdot 52,5^2 = 409,5 \text{ Н};$$

$$P_n^{сж} = 0,11 \cdot 35^2 = 136 \text{ Н}.$$

«Различают коэффициенты сопротивления при сжатии $K_{н.с}$ и при отбое $K_{н.о}$. У несимметричных амортизаторов они не равны.

Сопротивление сжатия принимается меньшим (20% от сопротивления отбоя), чтобы при наезде колеса на неровность и быстром сжатии амортизатора через него на раму не передавалось большое усилие.

Завышенное сопротивление отбоя может привести к отрыву колеса от дороги при высокочастотном резонансе. При больших скоростях это опасно, поэтому на автомобилях малой грузоподъемности сопротивление сжатия и отбоя значительно меньше различаются и их, иногда, делают одинаковыми.

На клапанном участке сила сопротивления определяется:

$$P_\kappa = P_n^l + \kappa_\kappa \cdot (V_n - V_n^l)^{m_l}, \quad (94)$$

где V_n^l – критическая скорость поршня, соответствующая открытию клапана;

P_n^l – сопротивления, соответствующие началу открытия клапана;

κ_κ – коэффициент сопротивления на клапанном участке» [21].

$$P_{\kappa}^{отб} = 409,5 + 0,15 \cdot (52,5 - 75)^2 = 285,0 \text{ Н},$$

$$P_{\kappa}^{сж} = 136,5 + 0,11 \cdot (50 - 35)^2 = 161,25 \text{ Н}.$$

Коэффициент сопротивления определяют тангенсами углов наклона характеристик.

Амортизатор с линейной характеристикой рассеивает мощность ($\tau=1$).

$$N_a = \frac{\left((P_{\kappa}^{сж} + P_{\kappa}^{отб}) \cdot 30 \right)}{(2 \cdot 100)}, \quad (95)$$

$$N_a = \frac{\left((136,5 + 409,5) \cdot 30 \right)}{(2 \cdot 100)} = 81,9 \text{ Н} \cdot \text{м/с}.$$

При нелинейной характеристике рассеиваемая мощность определяется площадью по кривой характеристике. Приравнивая мощность, рассеиваемую при сжатии N_c , мощности условного амортизатора с линейной характеристикой, можно найти среднее значение сопротивления хода сжатия.

$$\kappa_{ср.с} = 2 \frac{N_c^2}{V_c^2}, \quad (96)$$

$$\kappa_{ср.с} = 2 \frac{81,9^2}{35^2} = 4.$$

Аналогично для хода отбоя:

$$\kappa_{ср.о} = \frac{N_o^2}{V_o^2}, \quad (97)$$

$$\kappa_{cp.o} = \frac{81,9^2}{75^2} = 1,19,$$

$$\kappa_{cp.o} = (0,15...30) \cdot \kappa_{cp}. \quad (98)$$

Эквивалентный коэффициент сопротивления амортизатора определяется как средний для хода сжатия и отбоя:

$$\kappa_{\gamma} = 0,5 \cdot (\kappa_{cp.c} + \kappa_{cp.o}), \quad (99)$$

$$\kappa_{\gamma} = 0,5 \cdot (5,4 + 1,19) = 5,9.$$

«Характеристика амортизатора, приведена к колесу, зависит от кинематики направляющего устройства и угла наклона амортизатора. Показатель сопротивления, приведенный к колесу, определяется формулой:

$$n_n = \kappa_{\gamma} \cdot i^2 \cdot \cos^2 \gamma, \quad (100)$$

где i – передаточное число установки амортизатора в подвеске;

γ – угол наклона амортизатора 40° » [11].

$$n_n = 5,9 \cdot 1^2 \cdot 1,53 = 9,17.$$

«По величине периодичности n_n определяется коэффициент апериодичности:

$$\psi_a = \frac{n_n}{M_{\omega}} = \frac{n_n}{\sqrt{M_c}}, \quad (101)$$

где M – масса поддрессоренных частей;

ω – частота колебаний» [11].

$$\psi_a = \frac{9,17}{(500 \cdot 0,15)} = 0,12,$$

$$0,1 \leq \psi_a \leq 0,25.$$

Строим по расчетным значениям характеристику работы амортизатора (рисунок 16).

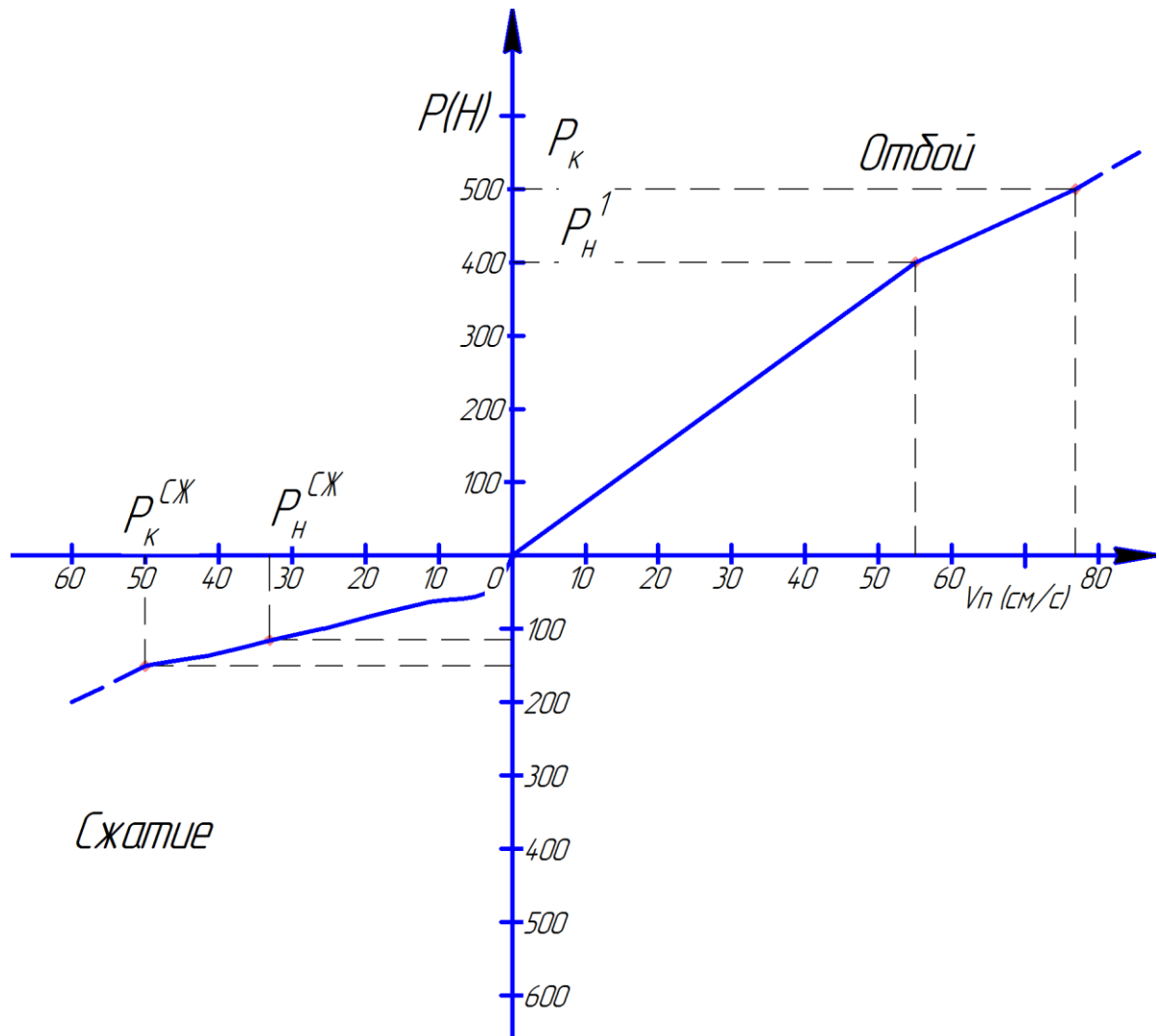


Рисунок 16 – Характеристика работы гидравлического амортизатора

Проектируем наш амортизатор на основе амортизатора 2905006-13 Reiger Racing, который соответствует данным параметрам. Основные параметры и размеры телескопических амортизаторов стандартизированы (ГОСТ 11728-76).

«Выбранный амортизатор имеет:

- запас прочности по напряжениям изгиба 1600,0 МПа,
- запас прочности по напряжениям кручения 700,0 МПа» [11].

Выполним расчёт стабилизатора поперечной устойчивости.

«Нагрузка на стабилизатор поперечной устойчивости определяется моментом закручивания вала стабилизатора:

$$M_{KP} = (R_z - g_k) \cdot l, \quad (102)$$

где R_z – приложенная нагрузка, $R_z = R_z^1 = 30492,6 \text{ Н} = 30,5 \text{ кН}$;

g_k – вес неподрессоренных масс, принимается равным 2812,5 Н;

l – длина стабилизатора, принимается равной 0,3 м» [10].

$$M_{KP} = (30492,5 - 2812,50) \cdot 0,30 = 8304 \text{ Н}.$$

«Угол закручивания вала круглого стабилизатора поперечной устойчивости:

$$\theta^1 = \frac{32 \cdot M_{KP} \cdot l_T}{\pi \cdot d_{CT}^4 \cdot G}, \quad (103)$$

где l_T – рабочая длина стабилизатора, принимается равной 1,80 м;

d_{CT} – диаметр стабилизатора, принимается равным 0,030 м;

G – модуль упругости Юнга, принимается равным $2 \cdot 10^{11} \text{ Н/м}^2$ » [1].

$$\theta^1 = \frac{32 \cdot 8304 \cdot 1,80}{3,14 \cdot 0,030^4 \cdot 2 \cdot 10^{11}} = 0,94^0$$

Напряжение кручения вала стабилизатора поперечной устойчивости:

$$\tau_{KP} = \frac{16 \cdot M_{KP}}{\pi \cdot d_{CT}^3}, \quad (104)$$

$$\tau_{KP} = \frac{16 \cdot 8304}{3,14 \cdot 0,030^3} = 156,7 \text{ МПа} < 800 \dots 1000 \text{ МПа},$$

Условие выполняется.

Выводы по разделу.

В данном разделе проанализированы ключевые требования, предъявляемые к подвескам автомобилей-тягачей, обеспечивающим высокий уровень комфорта и безопасности движения. Представлен разработанный механизм функционирования подвески, основанный на четком понимании взаимосвязи ее элементов и характера реакций на внешние воздействия.

Проведен полный цикл конструкторских расчетов, охватывающий как статические, так и динамические аспекты работы подвески, учитывающие взаимодействие автомобиля с дорожным покрытием различного уровня сложности. Особое внимание уделено вопросам прочности, жесткости и долговечности подвески, с обеспечением надежной работоспособности на длительных дистанциях эксплуатации.

Также выполнена разработка оригинальной конструкции передней подвески для автопоезда марки КАМАЗ-65206, дополненная интегрированным стабилизатором поперечной устойчивости. Эта система направлена на поддержание необходимой степени устойчивости и равномерного распределения веса автомобиля при выполнении маневров, что увеличивает запас безопасности и комфортабельности для водителя и груза.

4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [10].

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;
- 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 модернизированную подвеску, 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 и возможность параллельного выполнения операций.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (105)$$

где $F_{\text{д}}$ – 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 100 шт» [8].

$$T_{\text{д}} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{100} = 1242 \text{ ч.}$$

«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» [8].

Данный подход обеспечивает:

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

Спецификация операций узловой и общей сборки подвески автопоезда КАМАЗ-65206 приведена в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень сборочных работ

Содержание основного и вспомогательного перехода	Время на выполнение операции, мин.
«Осмотреть раму автомобиля на наличие повреждений и дефектов	1,5
Взять кронштейн задний	0,2
Осмотреть кронштейн задний на наличие повреждений и дефектов	0,8
Установить кронштейн задний на раму на место, предназначенное для крепления	5
Взять кронштейн передний	0,2
Осмотреть кронштейн передний на наличие повреждений и дефектов	0,8
Установить кронштейн передний на раму на место предназначенное для крепления	5
Взять кронштейн амортизатора	0,2
Осмотреть кронштейн амортизатора на наличие повреждений и дефектов	0,8
Установить кронштейн амортизатора на раму на место предназначенное для крепления	5
Осмотреть балку переднего моста на наличие повреждений и дефектов	1,3
Взять кронштейн амортизатора нижний	0,2
Осмотреть кронштейн амортизатора нижний на наличие повреждений и дефектов	0,8
Взять болт М14×1-45 ГОСТ 7805-70 (4 шт.), шайбу 14 65 Г ГОСТ 6402-70 (4 шт.)	0,3
Установить кронштейн амортизатора нижний на раму на место предназначенное для крепления	5
Взять буфер	0,2
Осмотреть буфер на наличие повреждений и дефектов	0,8
Взять болт М16×0,75-60 (4 шт.), шайбу 16 65 Г ГОСТ 6402-70 (1 шт.), гайку М16×0,75 (1 шт.), шайбу 16 ГОСТ 9649-78 (1 шт.)	0,3
Взять подкладку	0,2
Осмотреть подкладку на наличие повреждений и дефектов	0,8
Установить подкладку на балку переднего моста	0,2
Взять подкладку	0,2» [1]

Продолжение таблицы 7

Содержание основного и вспомогательного перехода	Время на выполнение операции, мин.
«Осмотреть подкладку на наличие повреждений и дефектов	0,8
Установить подкладку на кронштейн задний	0,2
Взять рессоры в сборе при помощи грузоподъемного приспособления	3
Осмотреть рессоры в сборе на наличие повреждений и дефектов	2
Установить рессоры в сборе в кронштейн задний и кронштейн передний	5
Взять болт М20×1-150 ГОСТ 7805-70 (8 шт.), шайбу 20 65Г ГОСТ 6402-70 (8 шт.), гайку М20×1 ГОСТ 15526-70 (8 шт.), шайбу 20 ГОСТ 9649-78 (8 шт.)	1
Соединить рессоры в сборе с кронштейном передним при помощи болтов М20×1-150 ГОСТ 7805-70, шайб 20 65Г ГОСТ 6402-70, гаек М20×1 ГОСТ 15526-70), шайб 20 ГОСТ 9649-78	6
Взять стремянку	0,2
Осмотреть стремянку на наличие повреждений и дефектов	0,5
Взять гайку М24×1 (4 шт.)	0,2
Установить стремянку на рессоры в сборе и зафиксировать гайками М24×1	4
Взять амортизатор	0,2
Осмотреть амортизатор на наличие повреждений и дефектов	0,8
Взять болт М20×1-150 ГОСТ 7805-70 (2 шт.), шайбу 20 65Г ГОСТ 6402-70 (2 шт.), гайку М20×1 ГОСТ 15526-70 (2 шт.), шайбу 20 ГОСТ 9649-78 (2 шт.)	0,6
Установить амортизатор в кронштейн амортизатора и кронштейн амортизатора нижний и зафиксировать при помощи болтов М20×1-150 ГОСТ 7805-70, шайб 20 65Г ГОСТ 6402-70, гаек М20×1 ГОСТ 15526-70), шайб 20 ГОСТ 9649-78	6
Взять стабилизатор поперечной устойчивости	0,3
Осмотреть стабилизатор поперечной устойчивости на наличие повреждений и дефектов	1
Взять болт М12×0,75-40 ГОСТ 7805-70 (6 шт.), шайбу 12 65 Г ГОСТ 6402-70 (6 шт.), гайку М12×0,75 ГОСТ 15526-70 (6 шт.), шайбу 12 ГОСТ 9649-78 (6 шт.)	0,8
Установить стабилизатор поперечной устойчивости при помощи болтов М12×0,75-40 ГОСТ 7805-70, шайб 12 65 Г ГОСТ 6402-70, гаек М12×0,75 ГОСТ 15526-70, шайб 12 ГОСТ 9649-78	8
Проверить качество выполненных работ и при необходимости провести регулировку	30
Итого:	100,4» [1]

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}. \quad (106)$$

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:

$$t_{ит}^{общ} = t_{он}^{общ} + t_{он}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (107)$$

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

$$t_{ит}^{общ} = 100,4 + 100,4 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 108,43 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составила 108,43 мин.

4.2 Проектирование технологического процесса сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206

Составим последовательность технологических операций с указанием приспособлений и затрачиваемого на выполнение операций времени и занесем в таблицу 8.

Таблица 8 – Технологический процесс сборки передней подвески автопоезда KAMAZ-65206

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
«005	Сборочная	1	Осмотреть раму автомобиля на наличие повреждений и дефектов	Кран-балка или тельфер (грузоподъёмность от 3 т), опорные подставки под раму и мосты, стенд для сборки мостов, набор гаечных ключей (рожковых, накидных, торцевых), динамометрический ключ (для затяжки ответственных соединений, пневмогайковёрт, молотки, кувалды, зубила, съёмники (для сайлент-блоков, подшипников), гидравлический пресс (для запрессовки втулок, подшипников), стенд для балансировки и регулировки подвески, шаблоны для контроля геометрии подвески, измерительные инструменты (штангенциркуль, микрометр, линейка), расходные материалы: Смазка (Литол-24, ШРУС),	70,4
		2	Взять кронштейн задний		
		3	Осмотреть кронштейн задний на наличие повреждений и дефектов		
		4	Установить кронштейн задний на раму на место, предназначенное для крепления		
		5	Взять кронштейн передний		
		6	Осмотреть кронштейн передний на наличие повреждений и дефектов		
		7	Установить кронштейн передний на раму на место предназначенное для крепления		
		8	Взять кронштейн амортизатора		
		9	Осмотреть кронштейн амортизатора на наличие повреждений и дефектов		
		10	Установить кронштейн амортизатора на раму на место, предназначенное для крепления		
		11	Осмотреть балку переднего моста на наличие повреждений и дефектов		
		12	Взять кронштейн амортизатора нижний		
		13	Осмотреть кронштейн амортизатора нижний на наличие повреждений и дефектов» [1]		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		14	«Взять болт М14×1-45 ГОСТ 7805-70 (4 шт.), шайбу 14 65 Г ГОСТ 6402-70 (4 шт.)	герметики, резьбовые фиксаторы (Loctite)	
		15	Установить кронштейн амортизатора нижний на раму на место предназначенное для крепления		
		16	Взять буфер		
		17	Осмотреть буфер на наличие повреждений и дефектов		
		18	Взять болт М16×0,75-60 (4 шт.), шайбу 16 65 Г ГОСТ 6402-70 (1 шт.), гайку М16×0,75 (1 шт.), шайбу 16 ГОСТ 9649-78 (1 шт.)		
		19	Взять подкладку		
		20	Осмотреть подкладку на наличие повреждений и дефектов		
		21	Установить подкладку на балку переднего моста		
		22	Взять подкладку		
		23	Осмотреть подкладку на наличие повреждений и дефектов		
		24	Установить подкладку на кронштейн задний		
		25	Взять рессоры в сборе при помощи грузоподъемного приспособления		
		26	Осмотреть рессоры в сборе на наличие повреждений и дефектов		
		27	Установить рессоры в сборе в кронштейн задний и кронштейн передний» [1]		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		28	«Взять болт М20×1-150 ГОСТ 7805-70 (8 шт.), шайбу 20 65Г ГОСТ 6402-70 (8 шт.), гайку М20×1 ГОСТ 15526-70 (8 шт.), шайбу 20 ГОСТ 9649-78 (8 шт.)		
		29	Соединить рессоры в сборе с кронштейном передним при помощи болтов М20×1-150 ГОСТ 7805-70, шайб 20 65Г ГОСТ 6402-70, гаек М20×1 ГОСТ 15526-70), шайб 20 ГОСТ 9649-78		
		30	Взять стремянку		
		31	Осмотреть стремянку на наличие повреждений и дефектов		
		32	Взять гайку М24×1 (4 шт.)		
		33	Установить стремянку на рессоры в сборе и зафиксировать гайками М24×1		
		34	Взять амортизатор		
		35	Осмотреть амортизатор на наличие повреждений и дефектов		
		36	Взять болт М20×1-150 ГОСТ 7805-70 (2 шт.), шайбу 20 65Г ГОСТ 6402-70 (2 шт.), гайку М20×1 ГОСТ 15526-70 (2 шт.), шайбу 20 ГОСТ 9649-78 (2 шт.)		
		37	Установить амортизатор в кронштейн амортизатора и кронштейн амортизатора нижний и зафиксировать при помощи болтов		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			М20×1-150 ГОСТ 7805-70, шайб 20 65Г ГОСТ 6402-70, гаек М20×1 ГОСТ 15526-70), шайб 20 ГОСТ 9649-78		
		38	Взять стабилизатор поперечной устойчивости» [1].		
		«39	Осмотреть стабилизатор поперечной устойчивости на наличие повреждений и дефектов		
		40	Взять болт М12×0,75-40 ГОСТ 7805-70 (6 шт.), шайбу 12 65 Г ГОСТ 6402-70 (6 шт.), гайку М12×0,75 ГОСТ 15526-70 (6 шт.), шайбу 12 ГОСТ 9649-78 (6 шт.)		
		41	Установить стабилизатор поперечной устойчивости при помощи болтов М12×0,75-40 ГОСТ 7805-70, шайб 12 65 Г ГОСТ 6402-70, гаек М12×0,75 ГОСТ 15526-70, шайб 12 ГОСТ 9649-78» [2].		
010	Реулировочная	1	Проверить качество выполненных работ и при необходимости провести регулировку	—	30

Технологическая схема сборки подвески автопоезда КАМАЗ-65206 представлена в графической части ВКР.

Выводы по разделу.

В разделе выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, спроектирован технологический процесс сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206 и представлен в графической части ВКР.

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 9 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 9 – 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 + 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 10).

Таблица 10 – Технологический паспорт технологического процесса сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
«Сборка передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206	1 Подготовка. 2 Сборка передней подвески. 3 Регулировка и контроль. 4 Финальная проверка	2 слесаря по ремонту автомобилей пятого разряда» [15].	Кран-балка или тельфер 3 т), опорные подставки под раму и мосты, стенд для сборки мостов, набор гаечных ключей (рожковых, накидных, торцевых), динамометрический ключ (для затяжки ответственных соединений, пневмогайковёрт, молотки, кувалды, зубила, съёмники (для сайлент-блоков	Перчатки, ветошь, смазка Литол-24, ЦИАТИМ-221) – для штока, пружины, уплотнений. Уплотнительная паста (типа Loctite 577) – для резьбовых соединений, чистящие средства

Продолжение таблицы 10

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
			, подшипников), гидравлический пресс (для запрессовки втулок, подшипников), стенд для балансировки и регулировки подвески, шаблоны для контроля геометрии подвески, измерительные инструменты (штангенциркуль, микрометр, линейка)	

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 11 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206.

Таблица 11 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
«1 Подготовка. 2 Сборка передней подвески. 3 Регулировка и контроль. 4 Финальная проверка	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей энергоаккумулятора, навесного оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования

Продолжение таблицы 11

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум базовой машины
	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 помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой Напряжение зрительных анализаторов Монотонность труда, вызывающая монотонию	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]

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 остановки 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» [12].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 12.

Таблица 12 – 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].

Продолжение таблицы 12

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«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].
«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:	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].

Продолжение таблицы 12

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	– 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 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	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 12

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	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. 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	–

Продолжение таблицы 12

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	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 оснащенности средствами комплексной и малой механизации; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [25].	—
«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 задач	—

Продолжение таблицы 12

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	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 13).

Таблица 13 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Участок сборки	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [17].

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).

Обязателен 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 сборке передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206 (таблица 14).

Таблица 14 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206

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	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения

Продолжение таблицы 14

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	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 сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206

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 сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206 и сведем их в таблицу 15.

Таблица 15 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206	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].

«Последствия игнорирования негативных факторов

- ухудшение здоровья населения (респираторные, онкологические заболевания);
- деградация экосистем (исчезновение видов, опустынивание);
- экономические потери (ущерб сельскому хозяйству, туризму);
- климатические катастрофы (учащение экстремальных погодных явлений)» [11].

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

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 16 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 16 – 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%). электрофильтры – для субмикронной пыли (используют коронный разряд). мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов).	–
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха. Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м ³ (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м ³ (СанПиН 1.2.3685-21).

Продолжение таблицы 16

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
	очистители – разложение паров СОЖ на CO ₂ и H ₂ O	
Отходы различного типа: металлическая стружка и лом; промасленная ветошь, спецодежда; твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в спецпечах. 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	—

Выводы по разделу.

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

- составлен технологический паспорт процесса сборки передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

6 Экономическая эффективность проекта

Определение стоимости модернизации подвески КАМАЗ-65206 включает тщательный учет нескольких основных составляющих расходов:

- материалы: Для начала важно выбрать оптимальные материалы, соответствующие требуемым техническим характеристикам новой конструкции. Необходимо детально проанализировать рынок сырья, провести расчеты необходимого количества каждого материала и составить смету затрат на приобретение;
- трудозатраты: Ключевое значение имеет определение объема работ и временных ресурсов, необходимых специалистам для проектирования и внедрения обновленной конструкции. Важно подсчитать общее число рабочих часов, затраченных инженерами, конструкторами и техниками, учитывая их квалификацию и соответствующую оплату труда согласно принятым тарифам предприятия;
- оборудование: Следует принять во внимание необходимость приобретения специализированного инструмента и оснащения производственных участков оборудованием, необходимым для успешного воплощения проекта. Например, речь идет о покупке современного измерительного инструментария, специализированных прессов, сварочного оборудования и прочего промышленного оснащения, необходимого для сборки и испытания компонентов подвески;
- дополнительные издержки: Помимо вышеперечисленных статей расходов, проект потребует учета ряда сопутствующих затрат, таких как оплата аренды помещений для осуществления производственного процесса, логистические расходы на доставку закупаемых материалов и оборудования, потребление электроэнергии на протяжении всего цикла работ, а также

возможные административные расходы, связанные с подготовкой технической документации и сертификацией новой конструкции.

Только всесторонний учет указанных позиций позволит создать достоверный финансовый отчет и реалистично оценить совокупные финансовые вложения, необходимые для успешной реализации проекта модернизации подвески КАМАЗ-65206.

«Затраты на изготовление модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206 определяем по формуле:

$$C_{кон} = C_{к.д} + C_{о.д} + C_{п.д} + C_{сб.н} + C_{о.н}, \quad (108)$$

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

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

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

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

$C_{о.н}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р» [9]:

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_k \cdot C_k, \quad (109)$$

где Q_k – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

C_k – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 140,0 р./кг» [9]:

Корпусные детали для данной конструкции подвески не разрабатывались.

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{o.o} = C_{прн} + C_m, \quad (110)$$

где $C_{прн}$ – 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» [9]:

«Заработную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{пр} = t \cdot C_q \cdot \kappa_t, \quad (111)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей, (стабилизатор поперечной устойчивости 1,5 чел.-ч.; накладка рессоры 0,3 чел.-ч.; подкладка 0,2 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» [9]:

«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.

$$C_{пр} = 2 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 468,85 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_o = (5...12) \cdot C_{np} / 100, \quad (112)$$

$$C_o = 10 \cdot 468,85 / 100 = 46,88 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{соц} = 30 \cdot (C_{np} + C_o) / 100, \quad (113)$$

$$C_{соц} = 30 \cdot (468,85 + 46,88) / 100 = 154,72 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma np} = 468,85 + 46,88 + 154,72 = 670,45 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 670,45 р.

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

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (114)$$

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

Q_3 – масса заготовки, кг» [9]:

$$C_M = 160 \cdot 20 = 3200 \text{ р.}$$

$$C_{o.o} = 468,85 + 3200 = 3668,85 \text{ р.}$$

Таким образом, затраты на изготовление деталей составляют 3662,12 р.

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

$$C_{сб.н} = C_{сб} + C_{д.сб} + C_{соц.сб}, \quad (115)$$

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» [9]:

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

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (116)$$

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

$$T_{сб} = k_c \cdot \sum t_{сб}, \quad (117)$$

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

k_c – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [9]:

По справочным данным принимаем $t_{сб}$ равную 6,0 чел.-ч.

$$T_{сб} = 1,25 \cdot 6 = 7,5 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих определится:

$$C_{сб} = 7,5 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1758,21 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 1758,21 = 175,82 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (1758,21 + 175,82) = 580,21 \text{ р.,}$$

$$C_{сб.н} = 1758,21 + 175,82 + 580,21 = 2514,24 \text{ р.}$$

Полная заработная плата рабочих составит 2514,2 р.

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{он} = \frac{(C_{np}' \cdot R_{он})}{100}, \quad (118)$$

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

$R_{он}$ – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [9]:

$$C_{np}' = (C_{np} + C_{сб}), \quad (119)$$

$$C_{np}' = 468,85 + 1758,21 = 2227,06 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(2227,06 \cdot 15)}{100} = 334,06 \text{ р.}$$

Стоимость покупных деталей, изделий представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Наименование	Количество	Единица измерения	Числовое значение, руб.
Амортизатор	2	шт.	14000
Кронштейн передний	2	шт.	10000
Кронштейн задний	2	шт.	10000
Комплект рессор	2	шт.	120000
Стремянка	2	шт.	3600
Буфер подвески	2	шт.	1600
Метизы	–	шт.	2200
Итого:	12	–	161400

$$C_{нд} = 14000 + 10000 + 10000 + 120000 + 3600 + 1600 + 2200 = 161400 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 0 + 670,45 + 161400 + 2514,24 + 334,06 = 164918,75 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление новой конструкции сведем в таблицу 18.

Таблица 18 – Затраты на изготовление конструкции модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	0
Стоимость изготовления оригинальных деталей	670,45
Общая заработная плата на сборку	2514,24
Общепроизводственные накладные расходы	334,06
Стоимость покупных изделий	161400
Итого:	167910,42

Общие затраты на изготовление конструкции модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206 равны 164918,75 р.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_r = C_{пр} - C_{кон}, \quad (120)$$

где $C_{пр}$ – стоимость прототипа, р.» [9]:

$$\mathcal{E}_r = 200000 - 164918,75 = 35081,25 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{ок} = \frac{C_{кон}}{\mathcal{E}_r}, \quad (121)$$

$$O_{ок} = \frac{167910,42}{35081,25} = 4,79 \text{ лет.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{эф} = \mathcal{E}_r - 0,15 \cdot C_{кон}, \quad (122)$$

$$\mathcal{E}_{эф} = 35081,25 - 0,15 \cdot 167910,42 = 9894,68 \text{ р.}$$

В таблице 19 представлены основные показатели проекта.

Таблица 19 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	200000	167910,42
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	35081,25
Экономический эффект при внедрении конструкции	р.	–	9894,68
Срок окупаемости	год	–	4,79

В рамках раздела проведена оценка экономической эффективности модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206. Основные выводы:

- затраты на разработку составляют 167 910,42 руб., что является обоснованным для данного проекта;
- срок окупаемости модернизации равен 4,79 лет, что соответствует допустимым нормам для подобных конструктивных решений в автомобилестроении, учитывая долговечность подвески и потенциальное снижение эксплуатационных расходов;
- экономическая целесообразность проекта подтверждается приемлемыми показателями окупаемости, что делает разработку перспективной для внедрения.

Внедрение модернизированной подвески позволит снизить затраты на обслуживание и ремонт за счет повышения надежности конструкции. Дополнительным преимуществом может стать увеличение межсервисных интервалов, что снизит простои техники. Для повышения эффективности рекомендуется провести пилотные испытания на ограниченной партии автомобилей с последующей доработкой (при необходимости).

Таким образом, модернизированная подвеска КАМАЗ-65206 является экономически эффективным решением, а срок окупаемости подтверждает ее практическую значимость.

Заключение

В рамках дипломного проекта на тему «Грузовой автомобиль КАМАЗ-65206. Модернизация передней подвески» была проведена комплексная работа, направленная на улучшение эксплуатационных характеристик автомобиля за счет модернизации его передней подвески.

В процессе исследования были решены поставленные задачи и достигнута основная цель проекта.

Проведен анализ существующей конструкции передней подвески КАМАЗ-65206, выявлены ее основные недостатки, такие как повышенные вибрации, недостаточная устойчивость на неровных дорогах и ограниченный ресурс элементов подвески. Эти проблемы негативно влияют на комфорт водителя, долговечность автомобиля и экономическую эффективность его эксплуатации.

На основе анализа современных технологий и подходов к проектированию подвесок грузовых автомобилей были предложены конструктивные решения для модернизации передней подвески.

Применение усовершенствованной конструкции подвески, включающее установку усиленных амортизаторов, обладающих повышенной энергоемкостью, и высококачественных пружин с увеличенным рабочим ресурсом, а также внедрение стабилизатора поперечной устойчивости, позволило добиться ощутимого повышения устойчивости автомобиля на дороге и существенного улучшения плавности хода.

Рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта.

Определена целесообразность разработки конструкции модернизированной подвески КАМАЗ-65206 с экономической стороны.

Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Автомобили КамАЗ типа 6×4: Руководство по эксплуатации: 5320-3902005 РЭ / АО «КамАЗ». Москва: Машиностроение, 1991. 335, с.
- 2 Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции. Эксплуатация. Расчет [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Открытые горные работы" направления подготовки «Горное дело» и по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование» / В. С. Квагинидзе [и др.]. Москва: Горная книга, 2011. 405 с.
- 3 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов «Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). 521 с.
- 4 Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.
- 5 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.
- 6 Гребнев В. П. Тракторы и автомобили [Электронный ресурс] : теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению "Агроинженерия" / В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин ; под общ. О. И. Поливаева. - 2-е изд., стер. - Москва : КНОРУС, 2015. 260 с.
- 7 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.

8 Дубинин Н. Н. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие для студентов специальности 190109 - Наземные транспортно-технологические средства специализации «Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях / Н. Н. Дубинин; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. 258 с.

9 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

10 Куликов М. И. Трансмиссия тяговых машин: Учеб. пособие / М. И. Куликов, Е. М. Крашенинников; Петрозавод. гос. ун-т им. О. В. Куусинена. Петрозаводск: ПГУ, 1986. 103 с.

11 Лавриков, И. Н. Экономика автомобильного транспорта [Текст]: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» и 190702 «Организация и безопасность движения (автомобильный транспорт)» и специалистов автомобильного транспорта / И. Н. Лавриков, Н. В. Пеньшин; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Тамбовский гос. технический ун-т». Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 115 с.

12 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.

13 Павлюк А. С. Повышение устойчивости и управляемости автопоездов / А. С. Павлюк. Москва: НИИНавтопром, 1984. 42 с.

14 Перегудов Н. Е. Основы создания трехмерных моделей деталей и сборочных единиц автотракторной техники: учебное пособие / Н. Е. Перегудов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Липецкий государственный технический университет». Липецк, 2021. 112 с.

15 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 «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, 2014. 211 с.

16 Селиванов И. И. Специализированные автомобили и автопоезда [Текст] / И. И. Селиванов, М. И. Серебряный. Москва: Машиностроение, 1964. 216 с.

17 Сухочев Г. А. Разработка технологического процесса изготовления детали: Учеб. пособие / Г.А. Сухочев, К.А. Яковлев; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. лесотехн. акад. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 67 с.

18 Транспортное обеспечение производства: учебное пособие / О. А. Лукашук, В. С. Великанов, А. А. Маркина, К. Ю. Летнев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. Екатеринбург: УрФУ, 2024. 133 с.

19 Уханов А. П. Конструкция и основы теории транспортных машин [Текст] : учебное пособие / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, М. В. Рыблов ; М-во сельского хозяйства Российской Федерации, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. Пенза: РИО ПГСХА, 2015. 226 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. 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.
- 21 Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 368 с.
- 22 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.
- 23 Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, - Raleigh, 1998. 209 p.
- 24 Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. Linkoping, 1997. 150 p.
- 25 Puhs, Allen E., Hybrid vehicles. CRC Press, London, NewYork 2009. 505 p.
- 26 Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. Vol. 7 (109). 64-70 p.

Приложение А

Спецификации

[illegible]

Рисунок А.1 – Спецификация на переднюю подвеску

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		17	25.ДПО11386100.017	Рессора №5	1	
		18	25.ДПО11386100.018	Рессора №6	1	
		19	25.ДПО11386100.019	Рессора №7	1	
		20	25.ДПО11386100.020	Рессора №8	1	
		21	25.ДПО11386100.021	Рессора №9	1	
A3		22	25.ДПО11386100.022	Рессора №10	1	
		23	25.ДПО11386100.023	Рессора №11	1	
		24	25.ДПО11386100.024	Рессора №12	1	
		25	25.ДПО11386100.025	Рессора №13	1	
		26	25.ДПО11386100.026	Рессора №14	1	
		27	25.ДПО11386100.027	Подкладка	1	
A4		28	25.ДПО11386100.028	Скоба	2	
		29	25.ДПО11386100.029	Втулка	2	
				Стандартные изделия		
				Болты ГОСТ 7805-70		
		30		M12x0,75-40	6	
		31		M14x1,0-45	4	
		32		M16x0,75-60	1	
		33		M20x1,0-150	8	
				Шайбы ГОСТ 6402-70		
		34		12x65Г	6	
		35		14.65Г	4	
		36		16.65Г	1	
		37		20.65Г	8	
				Гайки ГОСТ 15526-70		
		38		12x0,75	6	
		39		16x0,75	1	
		40		20x1,0	8	
Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № докл.	Подп. и дата	Подп. и дата	25.ДП.01.138.61.00.000	
Юдин Т.И.						Лист
Черепанов Л.А.						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Копировал						

Рисунок А.2 – Спецификация на переднюю подвеску

Продолжение Приложения А

[illegible]

Рисунок А.3 – Спецификация на переднюю подвеску