

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 Модернизация передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206

Обучающийся

И.А. Егунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент М.В. Прокопьев

(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)

доцент Д.А. Романов

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

канд. филол. наук, доцент О.В. Мурдускина

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

Тольятти 2023

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Модернизация передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206».

Цель работы – модернизация передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206.

Пояснительная записка включает в себя введение, шесть разделов, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложения, всего 109 страницы с приложениями.

Графическая часть представлена 10 листами формата А1, выполненными в инженерном программном обеспечении КОМПАС-3D.

Дипломный проект полностью соответствует утвержденному заданию на проектирование.

В первом разделе рассмотрены особенности устойчивости автопоезда, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов подвески на устойчивость автомобиля.

Во втором разделе выполнен тягово-динамический расчёт легкового автомобиля категории М1 и построены соответствующие графики.

В третьем разделе рассмотрены требования к подвеске автомобиля-тягача, разработана кинематическая схема подвески, выполнены конструкторские расчеты подвески, разработана передняя подвеска для автопоезда КАМАЗ-65206 со стабилизатором поперечной устойчивости.

В четвертом разделе выбрана организационная форма сборки, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки проектируемой подвески.

В пятом разделе рассмотрены вопросы напрямую связанные с обеспечением безопасности и экологичности проекта.

В шестом разделе определена экономическая эффективность проекта.

В заключении сделаны выводы по дипломному проекту.

Abstract

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

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.....	6
1 Состояние вопроса	9
1.1 Особенности устойчивости автопоезда	9
1.2 Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов подвески на устойчивость автомобиля	20
1.3 Влияние стабилизатора поперечного крена на устойчивость автомобиля .	25
1.4 Описание планируемых изменений в подвеске	27
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	29
2.1 Определение параметров автомобиля.....	29
2.3 Определение параметров двигателя	31
2.4 Определение параметров трансмиссии.....	34
2.5 Анализ тягово-скоростных свойств автомобиля	36
2.6 Мощностной баланс автомобиля	41
2.7 Расчет топливно-экономической характеристики.....	43
3 Конструкторская часть	45
3.1 Требования к подвеске автомобиля-тягача	45
3.2 Расчёт показателей устойчивости и управляемости автомобиля-тягача.....	48
3.3 Разработка кинематической схемы подвески.....	56
3.4 Расчёт подвески	57
4 Технологический раздел.....	67
4.1 Обоснование выбора технологического процесса	68
4.2 Проектирование технологического процесса сборки подвески автопоезда КАМАЗ-65206.....	72
5 Производственная и экологическая безопасность проекта	77
5.1 Характеристика технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206 с конструктивно-технологической и организационно- технической стороны.....	78
5.2 Идентификация профессиональных рисков	79

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	81
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	87
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-6520690	
6 Экономическая эффективность проекта.....	93
Заключение	101
Список используемой литературы и используемых источников.....	102
Приложение А	107

Введение

Устойчивость автомобиля является одним из ключевых эксплуатационных свойств автомобиля и определяет его способность сохранять равновесие и контроль при движении, особенно на поворотах, неровностях и при торможении. Это свойство напрямую влияет на безопасность и комфорт вождения, а также на проходимость автомобиля.

Устойчивость автомобиля зависит от ряда факторов, таких как:

- конструкция и геометрия подвески: хорошо спроектированная подвеска обеспечивает оптимальное сцепление колес с дорогой и равномерное распределение нагрузки, что улучшает устойчивость автомобиля;
- распределение массы: равномерное распределение массы между передней и задней осью автомобиля способствует лучшей устойчивости и управляемости;
- центр тяжести: низкий центр тяжести уменьшает вероятность опрокидывания автомобиля при резких маневрах и повышает его устойчивость;
- ширина колеи и колесной базы: автомобили с широкой колеей и длинной колесной базой обычно обладают лучшей устойчивостью, так как их масса распределена на большей площади;
- размер и тип шин: шины с широким профилем и хорошим сцеплением с дорогой улучшают устойчивость автомобиля;
- аэродинамические характеристики: автомобили с хорошим аэродинамическим обтекаемым кузовом имеют меньшее сопротивление воздуху, что способствует улучшению устойчивости при движении на высоких скоростях;
- системы стабилизации и контроля траектории движения: современные автомобили оснащаются системами, такими как ESP (Electronic Stability Program) или ESC (Electronic Stability Control),

которые автоматически корректируют траекторию движения автомобиля в случае потери сцепления с дорогой или опасности опрокидывания.

Автомобиль с плохой курсовой устойчивостью занимает полосу, существенно превышающую габаритную ширину» [1].

«Под потерей автомобилем устойчивости подразумевают опрокидывание или скольжение автомобиля. В зависимости от направления опрокидывания и скольжения различают продольную и поперечную устойчивость. Более вероятна и опасна потеря поперечной устойчивости, которая происходит под действием центробежной силы, поперечной составляющей силы тяжести автомобиля, силы бокового ветра, а также в результате ударов колес о неровности дороги.

Показателями поперечной устойчивости автомобиля являются максимально возможные скорости движения по окружности и углы поперечного уклона дороги (косогора)» [26].

Максимальная скорость на вираже зависит от радиуса поворота, ширины колёс, высоты центра тяжести и коэффициента сцепления колёс.

«Автомобиль может потерять поперечную устойчивость и во время прямолинейного движения, если водитель очень резко повернет управляемые колеса, хотя бы и на небольшой угол. Возникающая при этом центробежная сила может весьма быстро достигнуть значения силы сцепления шин с дорогой и вызвать занос.

Если скорость автомобиля велика, а коэффициент сцепления мал, то резкий поворот управляемых колес вызовет занос автомобиля в течение весьма короткого промежутка времени. В особенно неблагоприятных условиях это время может оказаться меньше времени реакции водителя и он не успеет принять мер для ликвидации начавшегося заноса. Чтобы избежать потери автомобилем устойчивости, необходимо плавно уменьшать скорость до начала поворота, в особенности на влажной и скользкой дороге» [4].

Одним из основных элементов конструкции абсолютно любого автомобиля является подвеска.

«Подвеска осуществляет упругую связь рамы (кузова) автомобиля с мостами или непосредственно с колесами, смягчая толчки и удары, возникающие при наезде колес на неровности дороги.

Подвеска автомобиля состоит из упругого, направляющего и гасящего устройств. Некоторые подвески включают также стабилизатор поперечной устойчивости» [2].

Стабилизатор поперечной устойчивости – устройство в подвеске автомобиля, служащее для уменьшения боковых кренов в поворотах [1].

«Работающий на кручение торсион, предназначенный для создания сопротивления крену автомобиля. Закрепляется в ступичном узле левого колеса, далее проходит в направлении движения до шарнирного узла крепления к кузову, далее в боковом направлении к противоположному борту автомобиля, где крепится зеркально аналогично первому борту. Отрезки торсиона, проходящие в направлении движения, работают как рычаги при работе подвески в вертикальном направлении. При отсутствии крена оба отрезка поворачиваются на один и тот же угол, торсион не скручивается и проворачивается в узлах крепления к кузову как целое. При крене автомобиля левый и правый отрезки торсиона поворачиваются на различные углы, скручивая торсион и создавая упругий момент, сопротивляющийся крену. На зависимых задних подвесках часто отсутствует, вместо этого продольные рычаги прикрепляются к балке жестким соединением, способным передавать крутящий момент. Таким образом, вся балка в сборе с продольными рычагами выполняет роль торсиона. На передних подвесках Макферсона «рычажные» отрезки торсиона часто применяются как один из 2 нижних рычагов подвески, также передавая продольные (в направлении движения) силы от ступицы на кузов.

Стабилизаторы могут устанавливаться или на обе оси, или только на одну (обычно на переднюю)» [7].

В связи с вышеперечисленным, акцентируем внимание на разработке передней подвески со стабилизатором поперечной устойчивости.

1 Состояние вопроса

1.1 Особенности устойчивости автопоезда

«Показателями поперечной устойчивости автомобиля являются критическая скорость по боковому скольжению (заносу) v_3 , 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:

$$P_y = P_{сц}. \quad (1)$$

Подставим в это выражение значения центробежной силы и силы сцепления:

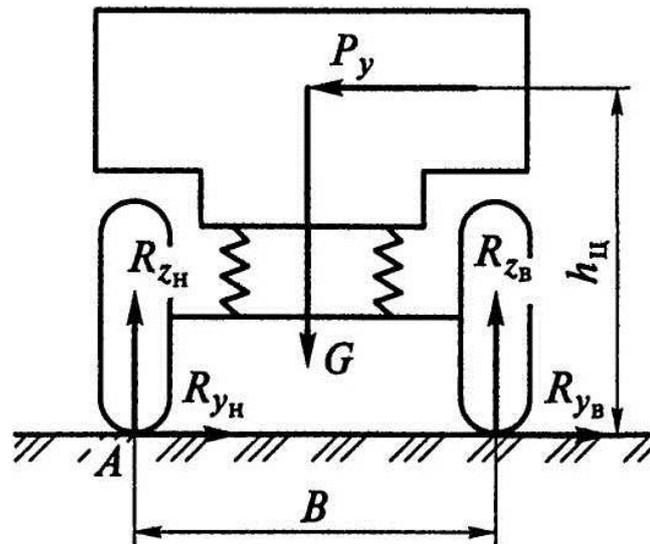
$$\frac{Gv^2}{13gR} = G\varphi_y, \quad (2)$$

где φ_y – коэффициент поперечного сцепления» [2].

Учитывая, что в этом случае $v=v_3$, находим критическую скорость автомобиля по боковому скольжению, или заносу:

$$v_3 = 3,6\sqrt{gR\varphi_y}. \quad (3)$$

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 заноса 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.

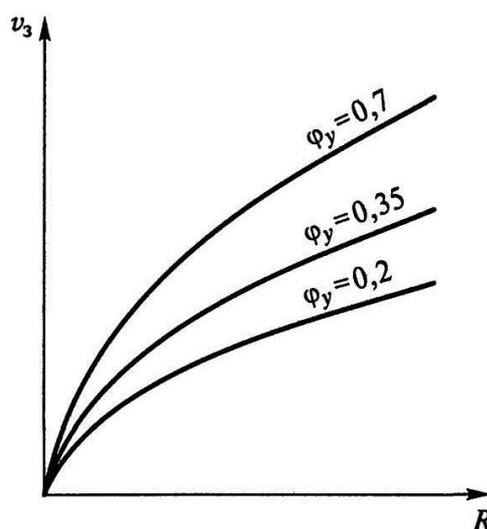


Рисунок 2 – Зависимости критической скорости автомобиля по заносу от радиуса поворота и коэффициента сцепления

«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:

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

или с учетом значения поперечной силы:

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

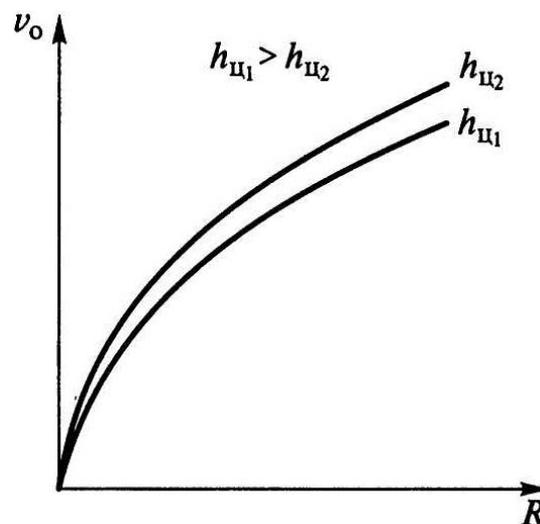
Помня о том, что в этом случае $v = v_0$, определим критическую скорость автомобиля по опрокидыванию, км/ч:

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

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_u показаны на рисунке 3.



h_{u1}, h_{u2} – значения высоты центра тяжести двух автомобилей

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

«Критический угол поперечного уклона дороги по боковому скольжению. При прямолинейном движении автомобиля по дороге с поперечным уклоном (по косоугору) потерю его поперечной устойчивости вызывает составляющая силы тяжести автомобиля (рисунок 4), параллельная плоскости косоугора:

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

где β – угол поперечного уклона дороги» [3].

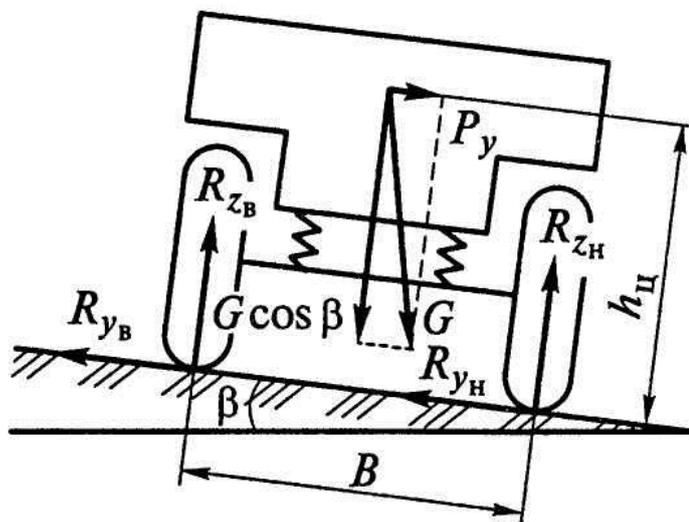


Рисунок 4 – Схема для определения критических углов поперечного уклона дороги по боковому скольжению и опрокидыванию

Боковое скольжение автомобиля на косоугоре 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:

$$\beta_3 = \text{arctg} \varphi_y. \quad (11)$$

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

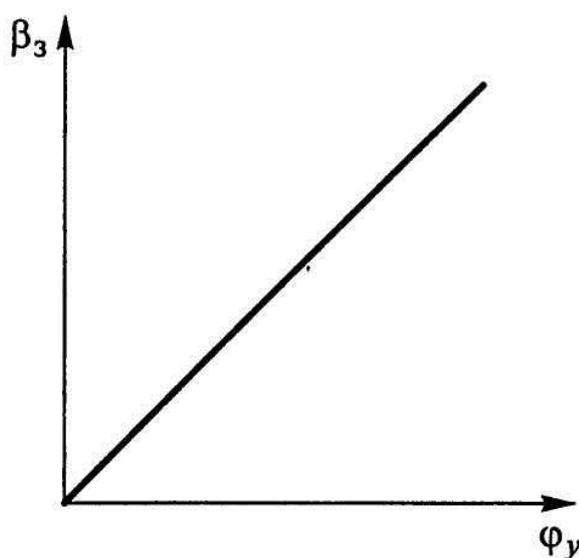


Рисунок 5 – Зависимость критического угла поперечного уклона дороги по боковому скольжению от коэффициента сцепления

«Критическим углом поперечного уклона дороги по боковому скольжению называется предельный угол, при котором еще возможно прямолинейное движение автомобиля по косоугору 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 (см. 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:

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

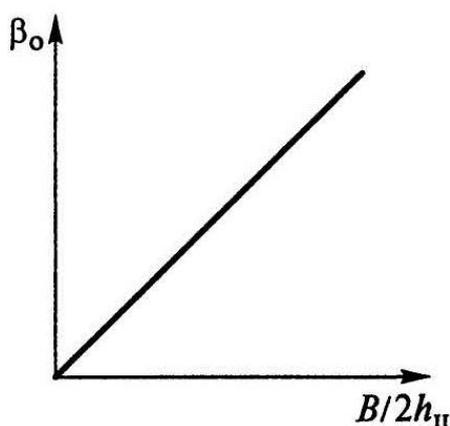


Рисунок 6 – Зависимость критического угла поперечного уклона дороги по опрокидыванию от соотношения колеи колес и высоты центра тяжести автомобиля

«Критическим углом поперечного уклона дороги по опрокидыванию называется предельный угол, при котором еще возможно прямолинейное движение автомобиля по косоугору без опрокидывания.

Опрокидывание автомобиля в этом случае может произойти только при любом минимальном боковом возмущении. Значение критического угла поперечного уклона дороги по опрокидыванию зависит от типа автомобиля. Так, для легковых автомобилей этот угол составляет 40...50°, для грузовых

автомобилей – 30...40° и для автобусов – 25...35°. Угол β_0 линейно зависит от отношения $B/2 \cdot h_y$ (рисунок 6)» [24].

Коэффициент поперечной устойчивости. 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» [4].

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.

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].

Один из признаков нарушения продольной устойчивости автопоезда при движении на подъеме может быть потеря тяги. Если автопоезд не может поддерживать достаточную силу тяги, чтобы преодолеть подъем, это может привести к его остановке или даже откату назад. Другим признаком может быть недостаточная сцепление колес с рельсами, что может привести к проскальзыванию или скольжению автопоезда. Это может произойти из-за неправильного состояния колес или рельсов, а также из-за неблагоприятных погодных условий, таких как снег или лед.

Поперечная устойчивость автомобиля зависит от нескольких конструктивных и эксплуатационных факторов. Вот некоторые из них:

- ширина колесной базы: чем шире колесная база автомобиля, тем лучше его поперечная устойчивость. Широкая колесная база обеспечивает большую площадь контакта с дорогой, что улучшает устойчивость при поворотах;
- центр тяжести: чем ниже центр тяжести автомобиля, тем лучше его поперечная устойчивость. Низкий центр тяжести уменьшает вероятность перекачивания автомобиля при резких маневрах;
- жесткость подвески: жесткая подвеска способствует лучшей поперечной устойчивости автомобиля. Она позволяет автомобилю лучше контролировать боковые силы, возникающие при поворотах;
- качество шин: шины с хорошей сцепляемостью с дорогой улучшают поперечную устойчивость автомобиля. Шины должны иметь достаточную ширину и правильный протектор для обеспечения хорошего сцепления с дорогой;

- состояние дороги: качество дороги также влияет на поперечную устойчивость автомобиля. Неровности, гравий или лед на дороге могут снизить сцепление шин с дорогой и ухудшить устойчивость;
- скорость движения: при высоких скоростях поперечная устойчивость автомобиля становится особенно важной. Большая скорость увеличивает боковые силы, действующие на автомобиль при поворотах, и требует более высокой устойчивости.
- нагрузка: перегрузка автомобиля может негативно сказаться на его поперечной устойчивости. Избыточная нагрузка может привести к снижению сцепления шин с дорогой и управляемости.

«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:

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

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

где G_{np} – вес прицепа, Н;

$h_{кр}$ – 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:

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

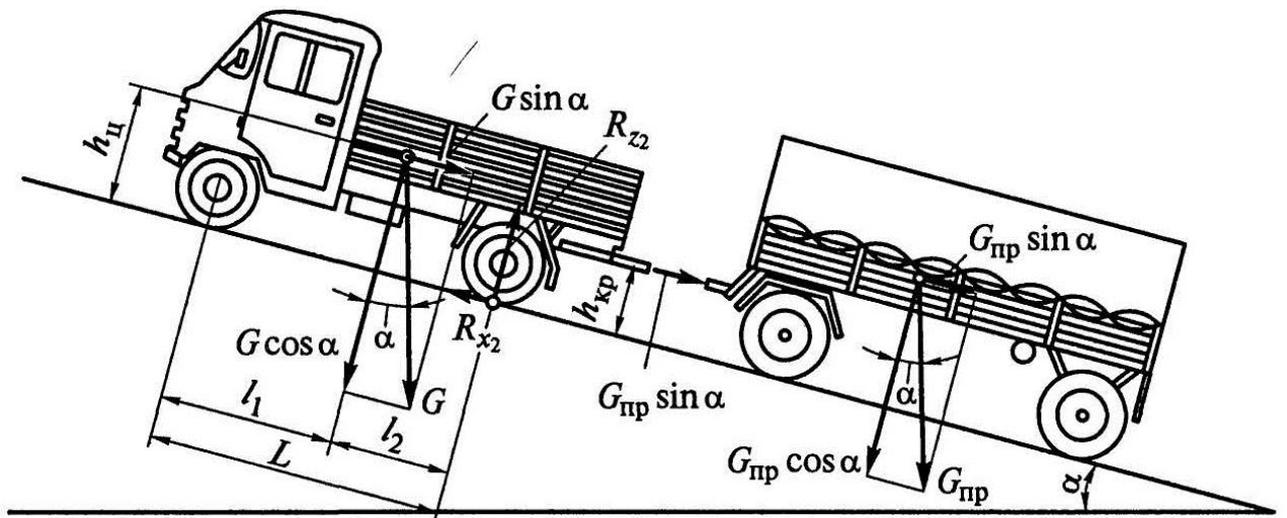


Рисунок 7 – Движение автопоезда на подъеме

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.

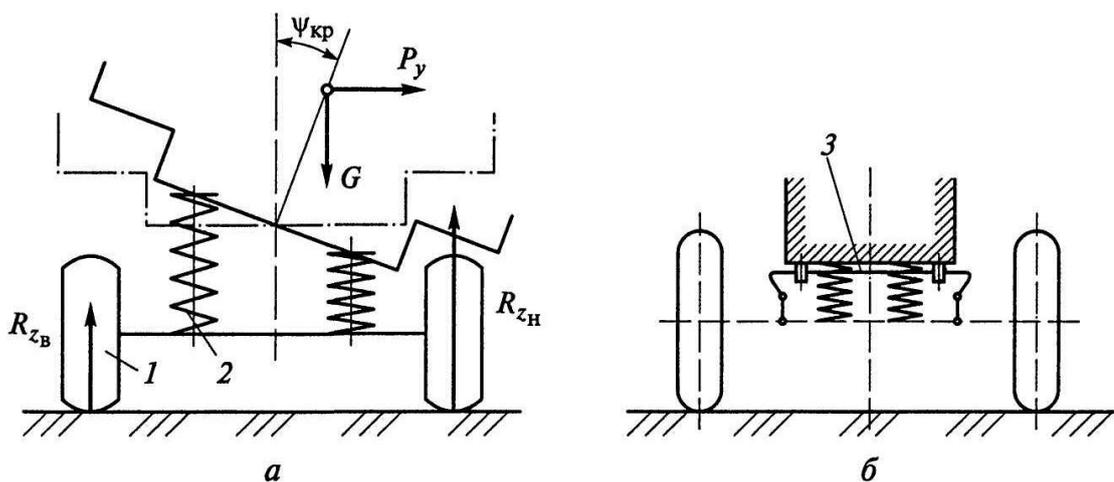
Поперечный крен кузова. При определении показателей поперечной устойчивости автомобиля не учитывались эластичность шин и упругость подвески, а автомобиль рассматривался как единое твердое тело.

В действительности автомобиль представляет собой систему масс, соединенных между собой подвеской, к которым относятся подрессоренные (кузов) и неподдресоренные (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

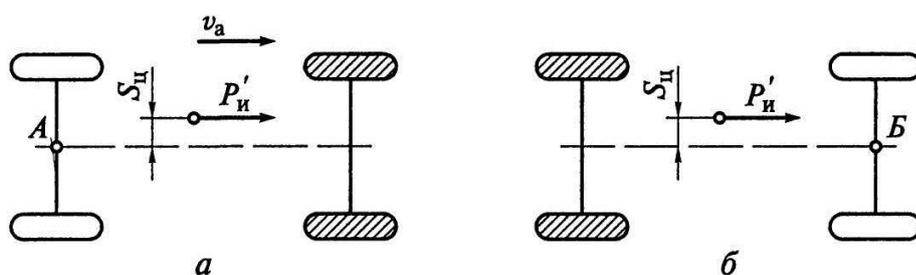
Рисунок 8 – Крен кузова (а) и стабилизатор (б) поперечной устойчивости кузова

«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.

Расположение груза в кузове автомобиля. Устойчивость автомобиля при торможении может быть нарушена вследствие неправильного размещения груза в кузове. Так, например, 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.

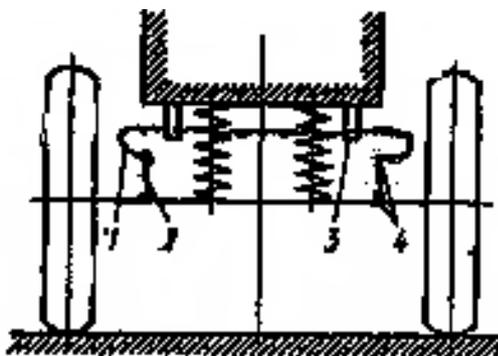
При боковых кренах и поперечных угловых колебаниях кузова концы (плечи) стержня стабилизатора перемещаются в разные стороны - один опускается, другой поднимается. Вследствие этого средняя часть стержня закручивается и частично изгибается, уменьшая тем самым крен и поперечное раскачивание кузова автомобиля»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

«Если не вдаваться в технические подробности, 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].

«Имейте в виду, что нельзя изменить общее сцепление автомобиля, но оно может быть сбалансировано путем распределения нагрузки на колеса. Стабилизаторы поперечной устойчивости являются очень полезным инструментом для изменения баланса автомобиля.

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.

Не стоит путать поворачиваемость и чувствительность управления. Автомобиль с мягким передним стабилизатором поперечной устойчивости может иметь хорошую поворачиваемость, но наклон шасси и перенос веса с этим мягким стабилизатором займет больше времени, что создаст задержку в управлении и, следовательно, снизит чувствительность управления. Жесткий передний стабилизатор поперечной устойчивости создаст очень быстрый перенос веса и, таким образом, очень чувствительное управление, но с низкой величиной управления. Другими словами, величина управления относится к крутизне поворота, а чувствительность относится к скорости или быстроте реакции на поворот» [13].

Передний стабилизатор поперечной устойчивости влияет главным образом на поворачиваемость при входе в поворот.

Более мягкий передний стабилизатор обеспечивает:

- большой крен шасси;
- улучшенное сцепление передних колес;
- уменьшение сцепления задних колес;
- лучшую поворачиваемость при входе в поворот;
- меньшую чувствительность управления.

Более жесткий передний стабилизатор обеспечивает:

- меньше крен шасси;
- уменьшение сцепления передних колес;
- улучшенное сцепление задних колес;
- меньшую поворачиваемость при входе в поворот;
- большую чувствительность управления.

1.4 Описание планируемых изменений в подвеске

Передняя подвеска КАМАЗ-65206 предназначена для обеспечения надежного и стабильного контакта колес грузового автомобиля с дорогой, а также для поглощения ударов и вибраций, возникающих при движении по неровным поверхностям.

Основными элементами передней подвески КАМАЗ-65206 являются:

- рессоры: полуэллиптические рессоры, которые служат для поддержания грузового автомобиля на определенной высоте от дороги и 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 или при поворотах;
- рычаги подвески: соединяют рессоры с кузовом автомобиля и передают на них нагрузки от колес;
- опоры подвески: элементы, на которых установлены рессоры.

В соответствии с темой дипломного проекта и общими моментами в рассмотрении данного вопроса перед нами ставится следующая цель: повышение активной безопасности автомобиля категории КАМАЗ-65206 путём модернизации передней подвески, а именно изменение конструкции стабилизатора поперечной устойчивости, грузоподъемности путем установки дополнительных рессор.

Выводы по разделу.

В разделе рассмотрены особенности устойчивости автопоезда, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов подвески на устойчивость автомобиля, а также представлены планируемые изменения в конструкции передней подвески КАМАЗ-65206.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Ввиду отсутствия рекомендованных методичек по расчету автопоездов (автомобиль-тягача и прицепа) для подтверждения знаний проведения тяговых расчетов принято решение провести расчет тягово-динамических характеристик легкового автомобиля категории М1.

Для этого зададимся исходными данными для расчета:

- тип автомобиля – легковой;
- класс легкового автомобиля – 1-ый;
- компоновка автомобиля – переднеприводная;
- число мест – 4 (n_n);
- снаряжённая масса автомобиля – 820 кг (m_0);
- максимальная скорость движения – $V_{\max}=165$ км/ч или $V_{\max}=45,8$ м/с;
- коэффициент сопротивления качению при малой скорости движения – 0,009 (f_k);
- максимальный уклон (подъем) дороги, преодолеваемый на первой передаче – 0,26 (i_{\max});
- лобовая площадь автомобиля – $A_a=2,10$ м²

2.1 Определение параметров автомобиля

«Определение полной массы автомобиля:

$$m_a = m_0 + (m_n + m_b) \cdot n, \quad (22)$$

m_0 – снаряженная масса автомобиля (исходные данные);

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

m_b – расчетная масса багажа, $m_b = 10$ 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].

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

Выбор шин

В соответствии с нагрузкой на колесо и максимальной скоростью автомобиля выбираются шины 175/65R14, которые имеют следующие характеристики:

- 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 (2.5)

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

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].

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

2.3 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

$$k_B = 0,3 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^4;$$

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» [20].

Отношение угловых скоростей при максимальной скорости и мощности принимаем равной 1,1.

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 ω_{\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 ω_{\min} до ω_V 6 – 8 точек, определяем значения N_e и вносим в таблицу 1.

Также определяем крутящий момент двигателя по формуле (32) и заносим 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 , c^{-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.

2.4 Определение параметров трансмиссии

«Определяем передаточное отношение главной передачи по формуле:

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

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

где $U_{ГЛ}$ – передаточное отношение главной передачи;

r_K – радиус качения, принимаем $r_K = r_{СТ} = r_D$;

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].

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

«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.

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

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 $U_{K5} = 0,941$.

2.5 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.

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} .

«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].

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

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

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

Определяем величины обратной ускорению разгона автомобиля. 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.

Таблица 2 – Анализ тягово-скоростных свойств

Ступень 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

Определение времени разгона автомобиля до заданной скорости

«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. Тогда 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 $\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3$ соответственно» [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.

По ней строим график зависимости пути разгона от скорости

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

2.6 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:

$$N_g = K_g \cdot A_a \cdot V_a^3. \quad (64)$$

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

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

Из таблицы 3 и 4 переносим в таблицу 5 значения ω_e , N_e и V_a .

В эту же таблицу в соответствующие клетки вносим значения мощности N_k , $N_{\psi v}$, N_g .

По данной таблице строим график мощностного баланса.

Таблица 5 – Данные для построения графика мощностного баланса

n _e , об/мин		800	1500	2000	3000	4000	4500	5600	6160
N _e , кВт		12,454	24,884	34,108	51,958	66,801	72,265	77,67	76,04
N _k , кВт		11,487	22,952	31,460	47,924	61,615	66,654	71,640	70,136
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	11,100	13,814	15,195
3 передача	V _{a3} , м/с	3,034	5,690	7,586	11,379	15,172	17,069	21,241	23,365
4 передача	V _{a4} , м/с	4,959	9,297	12,396	18,595	24,793	27,892	34,710	38,181
5 передача	V _{a5} , м/с	5,952	11,159	14,879	22,318	29,758	33,478	41,661	45,827

Продолжение таблицы 5

n_e , об/мин	800	1500	2000	3000	4000	4500	5600	6160
N_e , кВт	12,454	24,884	34,108	51,958	66,801	72,265	77,67	76,04
N_k , кВт	11,487	22,952	31,460	47,924	61,615	66,654	71,640	70,136
N_B , кВт	0,133	0,875	2,075	7,004	16,601	23,638	45,554	60,633
$N_{\psi\nu}$, кВт	0,127	0,239	0,318	0,477	0,637	0,716	0,891	0,98
$\frac{N_{\psi\nu} + N_e}{1000\eta_T}$, кВт	0,282	1,208	2,595	8,111	18,689	26,404	50,355	66,8

2.7 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 гр/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 разделе выполнен тягово-динамический расчет тягово-динамических характеристик легкового автомобиля категории М1 по результатам которого построены графики тягово-динамических характеристик в графической части ВКР.

3 Конструкторская часть

3.1 Требования к подвеске автомобиля-тягача

«При создании грузового автомобиля-тягача подвеске уделяется все большее внимание. Ведь от ее совершенства зависят не только плавность хода, но и проходимость машины, безопасность движения, устойчивость, надежность, долговечность грузовика и даже расход топлива» [8].

«Как известно, современные грузовые автомобили-тягачи работают на дорогах разных категорий: от магистральных автострад до грунтовых дорог в строительных карьерах, не говоря уже о бездорожье. В зависимости от конкретных условий конструктор выбирает величину дорожного просвета машины между поверхностью дороги и нижними точками ходовой части и ее органов. Чем хуже условия, в которых предстоит работать машине, тем просвет должен быть больше, несмотря на некоторые негативные последствия, а именно: повышение центра тяжести, снижение устойчивости и так далее» [11].

«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. Большое разнообразие конструктивных схем наблюдается на специальных военных машинах, к стоимости которых не предъявляются столь жесткие требования, как у обычных коммерческих грузовиков. На военных машинах можно встретить пружины и торсионы, гидропневматические элементы и стеклопластиковые рессоры, однако не эти транспортные средства будут объектом нашего внимания. Для нас наибольший интерес представляют действительно массовые конструкции. Начнем знакомство с самых

характерных из применяемых рессорных подвесок. Оценим их «плюсы» и «минусы».

Рессора это уникальное устройство, в подвеске играет сразу едва ли не все роли. Она и упругий элемент, и направляющий аппарат. Ее использование облегчает сборку и ремонт машины. Рессора проста по конструкции и в ремонте, но не лишена и целого ряда серьезных недостатков. К главным из них относятся: высокое межлистовое трение, способное сильно ухудшить плавность хода на хорошей дороге, а также большая материалоемкость в сочетании с технологической сложностью при производстве листов» [14].

«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.

Рессоры стремятся делать, возможно более длинными, поскольку возникающие в них напряжения обратно пропорциональны квадрату длины. При недостаточной длине в коренном листе могут возникнуть большие напряжения, для уменьшения которых кривизну остальных листов делают такой, чтобы они воспринимали часть нагрузки коренного и нескольких следующих за ним листов, разгружая их» [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 торсиона. 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].

«Коррозия в процессе эксплуатации современного грузового автомобиля-тягача значительно ослабляет эффект поверхностного упрочнения. Срок службы рессорной подвески ограничивается в большой степени износом шарниров. Применение резиновых и пластмассовых втулок, устанавливаемых в шарнирах, способно эту проблему снять, но только для не тяжелой техники» [8].

«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). Но оба способа позволяют реализовать нелинейность лишь в очень малых пределах.

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%. Замечено, что в грузовых автомобилях с высокой посадкой водителя силы межлистового трения вызывают крайне неприятные колебания головы водителя вдоль продольной оси машины» [18].

Для уменьшения межлистового трения изготовители применяют малолистовые рессоры (в том числе однолистовые переменной толщины и ширины), листы специальной формы, вводят смазку и вставки между листами.

3.2 Расчёт показателей устойчивости и управляемости автомобиля-тягача

Исходные данные:

- автомобиль категории N_3 ;
- полная масса – 9324 кг;

- подвеска передняя зависимая, со стабилизатором поперечной устойчивости;
- максимальная скорость – 110,0 км/ч;
- категория дороги – I.

Управляемость автомобиля также является одним из наиболее важных эксплуатационных свойств, которые влияют на безопасность и комфорт вождения. Она определяется способностью автомобиля к маневрированию, управлению и контролю на дороге в различных условиях.

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.

Хорошая управляемость автомобиля позволяет водителю быстро и безопасно реагировать на изменения дорожной ситуации, такие как повороты, замедления или препятствия на дороге. Она также обеспечивает более комфортное вождение, что может уменьшить усталость водителя и повысить безопасность на дороге.

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

$$R_3 = \frac{L}{\operatorname{tg}(\Theta - \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_2}, \quad (71)$$

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

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

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

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 [9];
 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:

$$M_{CB} = G_k \cdot l_y \cdot \sin \beta_{\text{ш}} \cdot \sin \Theta, \quad (73)$$

где G_k – нагрузка на колесо, принимается равной 15246,3 Н;

l_y – длина поворотной цапфы, принимается равной 0,30 м [9];

$\beta_{ш}$ – угол оси поворота управляемого колеса, принимается равным 7° [3];

Θ – угол поворота управляемых колёс, принимается равным $30^\circ=0,52$ 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:

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

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

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

«Величина $\delta_{yв} \approx 4,0^\circ$, 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:

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

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];

$\gamma_{ш}$ – угол продольного наклона, принимается равным 3,5°» [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:

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

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

b – плечо действия силы P_σ , 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:

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

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:

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

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

$h_{ц}$ – 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:

$$\beta_3 = \text{arctg} \varphi_y, \quad (79)$$

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

Критический угол поперечного уклона дороги по опрокидыванию:

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

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

Коэффициент поперечной устойчивости:

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

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

«Из условий равновесия автомобиля-тягача следует:

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

$$R_{y2} = (G + G_{np}) \sin \alpha,$$

где G_{np} – вес прицепа, Н;

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

α – угол подъема» [11].

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

$$R_{x2} \leq \varphi_x R_{z2}. \quad (83)$$

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:

$$\operatorname{tg}\alpha_6 = \frac{\varphi_x G l_1}{G(L - \varphi_x h_u) + G_{np}(L - \varphi_x h_{np})}. \quad (84)$$

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.

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 $1,5...2,0^\circ$. 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.

Весовой стабилизирующий момент равен:

$$M_{CB} = G_k \cdot l_u \cdot \sin \beta_u \cdot \sin \Theta,$$

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

Скоростной стабилизирующий момент:

$$M_{CC} = R_y \cdot r_k \cdot \sin \gamma_u,$$

$$M_{CB} = 26666,67 \cdot 0,30 \cdot \sin 7^\circ \cdot \sin 30^\circ = 487,48 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

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

Упругий стабилизирующий момент, создаваемый шиной:

$$M_{CY} = P_{\delta} \cdot b,$$

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

«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» [9].

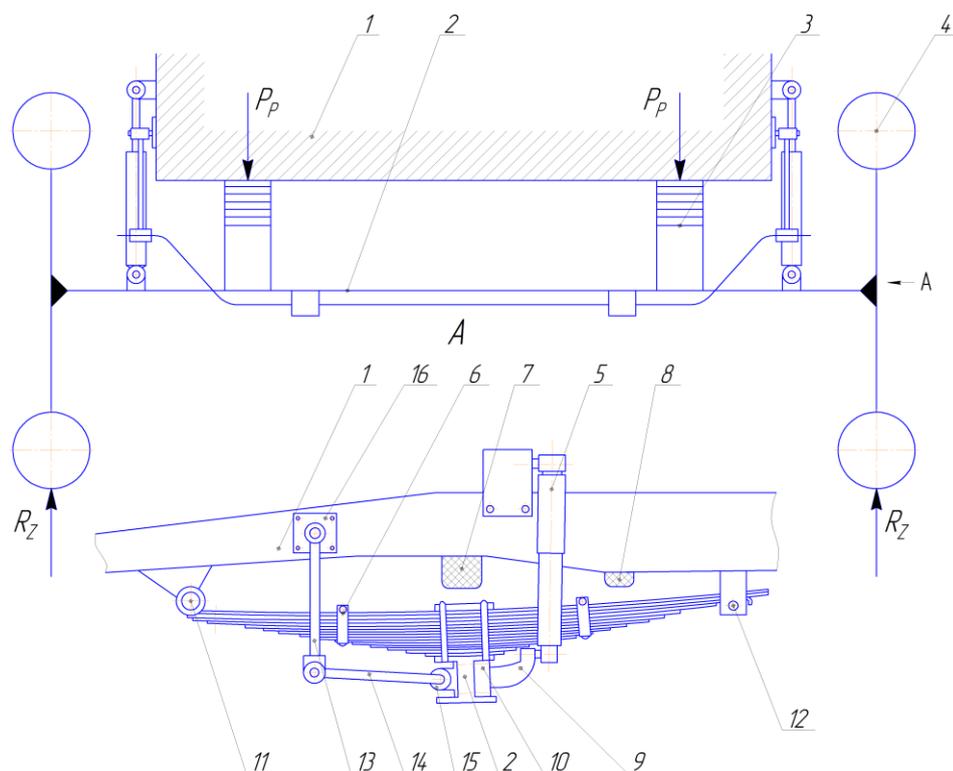
$$v_0 = 3,6 \cdot \sqrt{\frac{9,81 \cdot 8,74 \cdot 1,90}{2 \cdot 1,0}} = 32,49 \text{ км/ч.}$$

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

3.3 Разработка кинематической схемы подвески

Кинематическую схему разрабатываемой передней подвески со стабилизатором поперечной устойчивости можно представить в виде рисунка 11.

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.



- 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

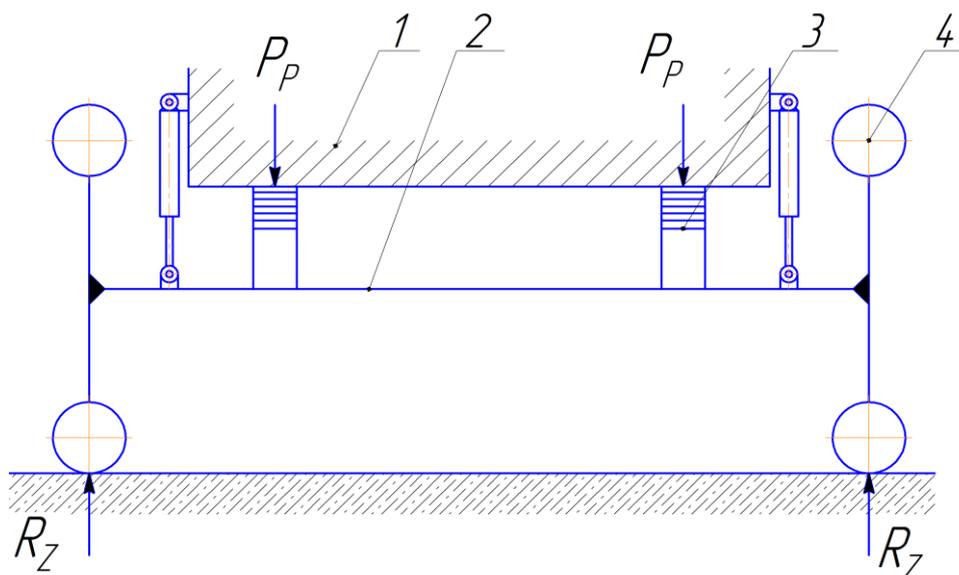
Рисунок 11 – Кинематическая схема разрабатываемой передней подвески

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 12). 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 поддресоренную часть, Н; R_z – нормальная реакция, Н

Рисунок 12 – Расчётная схема для определения нагрузок на подвеску

Полная масса автомобиля категории N_3 (без прицепа) составляет 9324 кг, вес автомобиля – 91,5 кН (рисунок 12).

«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 неподресоренных масс (вес моста с колёсами),
принимается равным 5625,0 Н» [11].

На одну сторону моста:

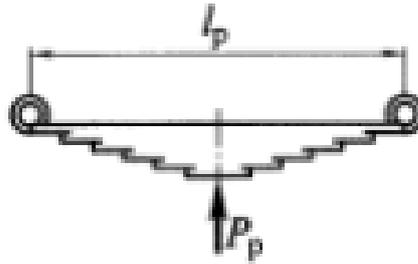
$$P_p = \frac{P}{2}. \quad (86)$$

Нормальная реакция зависит от веса автомобиля и распределения его по платформе, а так же 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 13) [3].



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

Рисунок 13 – 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 14) 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];

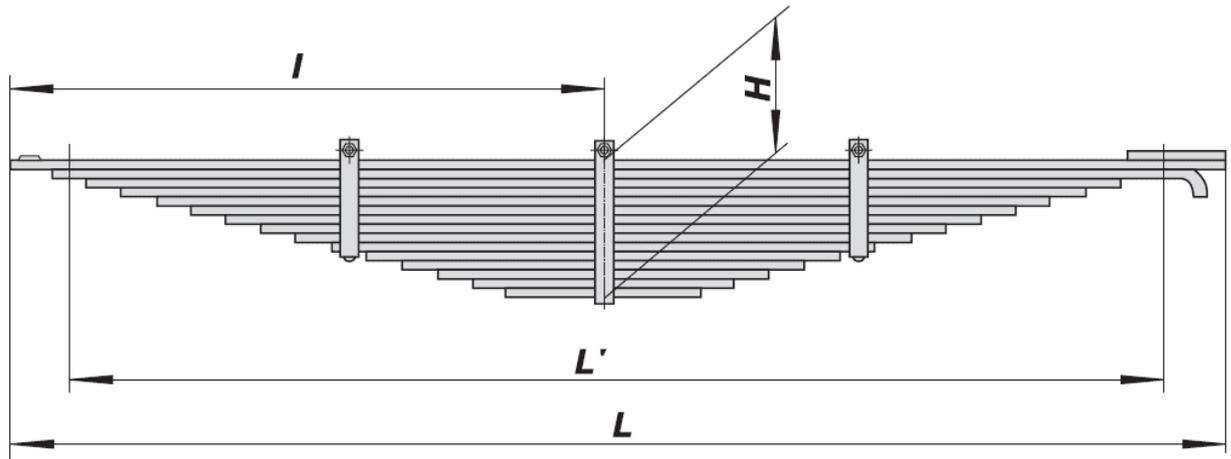
n_{PE} – число листов рессоры, конструктивно принято 14 шт. ();

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 14 – Вид общий переднего рессора автомобиля категории N_2

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

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

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

, что 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].

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

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

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

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

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

Выполним расчёт гасящего элемента подвески

«Основной целью расчета 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 аperiodичности 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 отбоя $K_{н.о}$. 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:

$$P_k = P_n^l + \kappa_k \cdot (V_n - V_n^l)^{m_l}, \quad (94)$$

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

P_n^l – сопротивления, соответствующие началу открытия клапана;

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

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

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

Коэффициент сопротивления определяют тангенсами углов наклона

характеристик.

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

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

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

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:

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

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

$$\kappa_{ср.о} = (0,15 \dots 30) \cdot \kappa_{ср.с}. \quad (98)$$

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

$$\kappa_s = 0,5 \cdot (\kappa_{ср.с} + \kappa_{ср.о}), \quad (99)$$

$$\kappa_s = 0,5 \cdot (5,4 + 1,19) = 5,9.$$

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

$$n_n = \kappa_s \cdot i^2 \cdot \cos^2 \gamma, \quad (100)$$

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 подрессоренных 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 15).

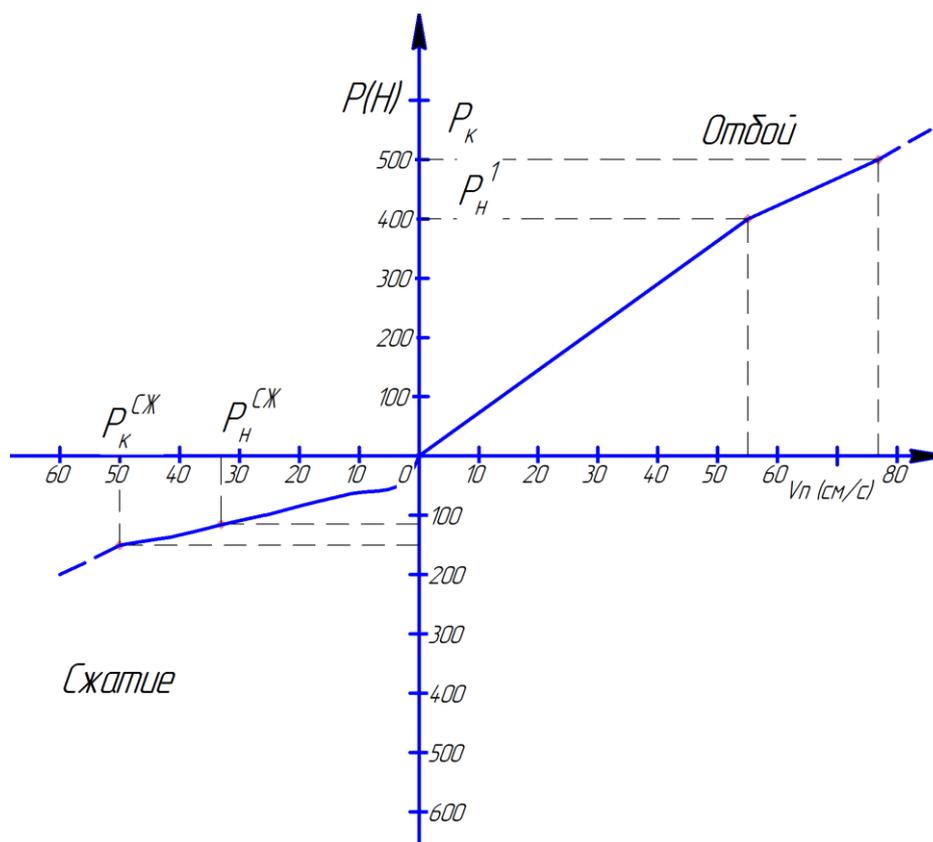


Рисунок 15 – Характеристика работы гидравлического амортизатора

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.

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 $2 \cdot 10^{11}$ Н/м²» [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 разделе рассмотрены требования к подвеске автомобиля-тягача, разработана кинематическая схема подвески, выполнены конструкторские расчеты подвески, разработана передняя подвеска для автопоезда КАМАЗ-65206 со стабилизатором поперечной устойчивости.

4 Технологический раздел

Сборочный процесс в автомобиле- и тракторостроении представляет собой совокупность операций по соединению деталей в определенной последовательности для получения узлов, механизмов или законченного автомобиля (трактора), полностью отвечающих установленным техническим требованиям.

При производстве автомобилей и тракторов их собирают либо на том же заводе, где изготавливаются детали этого изделия, либо на специализированном сборочном предприятии. Первый вид организации производства в настоящее время преобладает в отечественном автотракторостроении.

Трудоемкость сборочных работ больше трудоемкости литейных, сварочных, кузнечно-прессовых и ряда других работ. Реальная возможность снижения трудоемкости сборки прежде всего путем ее механизации – это один из важных резервов производства.

В автотракторостроении преобладает массовое и крупносерийное производство. По сравнению с другими отраслями машиностроения здесь имеются более благоприятные условия для механизации и автоматизации процессов сборки и сокращения на этой основе ручного труда. Между тем, трудоемкость работ в заготовительных и обрабатывающих цехах большинства автомобильных и тракторных заводов снижается более быстрыми темпами, чем в сборочных. В связи с этим относительное значение трудоемкости сборки очень часто не сокращается, а растет.

Удельный вес сборочных работ в общей трудоемкости изготовления автомобилей и тракторов составляет в настоящее время 25-30%.

Исходными данными для проектирования технологического процесса сборки являются:

- сборочные чертежи (изделия, узла или машины);
- технические условия на сборку;

- рабочие чертежи деталей, входящих в изделие;
- заданная годовая программа или общая программа выпуска.

Также при проектировании технологического процесса сборки необходимо пользоваться вспомогательными материалами, такими как: каталоги, паспорта, характеристики сборочного оборудования и механизированного сборочного инструмента; ГОСТ и нормами на немеханизированный сборочный инструмент, технологические процессы сборки типовых узлов.

4.1 Обоснование выбора технологического процесса

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

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

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

Ввиду того, что модернизация подвески автопоезда КАМАЗ-65206 не будет иметь большого спроса сборку можно осуществлять методом мелкосерийной сборки.

«В мелкосерийном производстве используют форму стационарной непоточной сборки с дифференциацией процесса на узловую и общую сборку. Процесс сборки осуществляется бригадами рабочих, имеющих профильную специальность по каждому виду сборочных работ.

Рассчитаем такт выпуска по формуле:

$$T_d = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (105)$$

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

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 100 шт» [13].

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

Далее составляем технологическую схему сборки.

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

Основные элементы технологической схемы сборки:

- получение исходных материалов;
- подготовительные операции – разметка материалов, нарезка, обработка и так далее;
- сборочные операции – сборка изделия из отдельных деталей;
- окончательная обработка – шлифовка, полировка, окраска и так далее;
- контроль качества – проверка соответствия готового изделия заданным требованиям;
- упаковка и хранение готового изделия.

Перечень сборочных работ узловой и общей сборки подвески автопоезда КАМАЗ-65206 представлен 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
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

Продолжение таблицы 7

Содержание основного и вспомогательного перехода	Время на выполнение операции, мин.
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

Рассчитаем общее оперативное время на все виды работ по формуле:

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots + t_{on_n} \cdot$$

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

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

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 3%;

β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 5%» [23].

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

4.2 Проектирование технологического процесса сборки подвески автопоезда КАМАЗ-65206

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

Таблица 8 – Технологический процесс сборки подвески автопоезда КАМАЗ-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	Грузоподъемное приспособление, гайковерт, набор головок, рожковые ключи, динамометрический ключ, вороток	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		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		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		
		14	Взять болт М14×1-45 ГОСТ 7805-70 (4 шт.), шайбу 14 65 Г ГОСТ 6402-70 (4 шт.)		
		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		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			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		
		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		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			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 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		
		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		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			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		
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 подвески автопоезда КАМАЗ-65206 и представлен в графической части ВКР.

5 Производственная и экологическая безопасность проекта

В настоящее время возрос интерес к человеческим ресурсам, улучшились условия и качественные меры по охране труда на рабочем месте. В долгосрочной перспективе благополучие человеческих ресурсов является источником стабильности, процветания и производительности.

Стоимость несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в странах колеблется от 2,6% до 3,8% валового национального продукта.

Работники должны активно участвовать в процессе управления охраной труда и рисками для здоровья, так как это позволяет повысить эффективность мер по защите от опасностей на рабочем месте.

Участие работников в процессе управления охраной труда подразумевает:

- информирование сотрудников о возможных опасностях, связанных с работой и оказании первой помощи в случае необходимости;
- оценка рисков и выработка предложений по принятию мер по уменьшению их воздействия на работников;
- проведение обучения и тренингов по охране труда, продуктивному использованию рабочего времени и управлению стрессом;
- участие в разработке и контроле соблюдения инструкций по безопасности, а также в работе комиссии по охране труда.

Риск для здоровья работников может возникнуть в случае невнимательного отношения к охране труда, а также при недостаточной осведомленности о возможных опасностях и оказанию первой помощи в случае необходимости. Поэтому, активное участие работников в процессе управления охраной труда и рисками для здоровья является необходимым условием для создания безопасной и здоровой рабочей среды.

Работники должны иметь возможность выражать свое мнение и предлагать свои идеи по улучшению охраны труда в организации. Это

позволит улучшить культуру безопасности и создать атмосферу ответственности и заботы о здоровье друг друга.

5.1 Характеристика технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206 с конструктивно-технологической и организационно-технической стороны

В целях наиболее полного рассмотрения характеристики технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206 с конструктивно-технологической и организационно-технической стороны необходимо составить технологический паспорт (таблица 9).

Таблица 9 – Технологический паспорт технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Обслуживание подвески автопоезда КАМАЗ-65206	- установка автомобиля на пост; - проверить состояние амортизаторов, пружин, стабилизаторов, рычагов, шаровых опор и других элементов подвески; - убедиться в отсутствии трещин, деформаций, коррозии и износа;	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда	Рожковые ключи, специальный ключ, индикатор, набор щупов, плоскогубцы	Перчатки, краска, ветошь, масло трансмиссионное

Продолжение таблицы 9

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
	- проверить уровень масла в гидравлических амортизаторах и при необходимости произвести замену масла; - проверить состояние крепежных элементов и болтов подвески, а также правильность регулировки углов установки колес.			

5.2 Идентификация профессиональных рисков

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

Оценка профессионального риска представляет собой подробное изучение всех возможных происшествий, потенциально вредных действий, которые допустимы или недопустимы в организации. Одним из наиболее важных аспектов является то, что каждая организация должна определить и выбрать риски, которые находятся на пределе мер предосторожности, которые должны быть проанализированы и пересмотрены. Тяжесть последствий отражает серьезность результата, который может быть вызван нежелательным и неожиданным событием. Вероятность возникновения

события следует оценивать с учетом наличия или отсутствия систем управления.

Деятельность по идентификации рисков включает:

- выявление опасностей, присутствующих на рабочем месте и в рабочей среде;
- выявление опасностей, обнаруженных в ходе предыдущего управления рисками;
- выявление потенциальных последствий признанных опасностей – рисков, то есть потенциальных причин травматизма работников, несчастного случая на производстве, профессионального заболевания или профессионального заболевания.

Работодатель также должен заменять опасные элементы на менее опасные или совсем неопасные, а также организовывать работу и условия труда таким образом, чтобы создать безопасную атмосферу на рабочем месте.

Еще один важный аспект – это адаптация работы к личности работника. Каждый человек уникален и его индивидуальные потребности и возможности должны учитываться при создании рабочего места и установки задач.

Таблица 10 содержит результаты идентификации профессиональных рисков в процессе обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206.

Таблица 10 – 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 Установка автомобиля на пост. 2 Проверить состояние амортизаторов, пружин, стабилизаторов, рычагов,	«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на	Элементы конструкции автомобиля

Продолжение таблицы 10

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
шаровых опор и других элементов подвески. 3 Убедиться в отсутствии трещин, деформаций, коррозии и износа. 4 Проверить уровень масла в гидравлических амортизаторах и при необходимости произвести замену масла. 5 Проверить состояние крепежных элементов и болтов подвески, а также правильность регулировки углов установки колес	поверхностях деталей автомобиля	
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, транспорта» [4].
	«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Электроинструмент
	Возможность поражения электрическим током	«Электроинструмент» [12].
	«Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [17].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [12].
	Напряжение зрительных анализаторов	
Монотонность труда, вызывающая монотонию		

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Основой снижения профессиональных рисков является подготовка и обучение сотрудников. Это поможет им понимать процессы своей работы и принимать правильные решения.

Правильное планирование задач поможет снизить риски и уменьшить вероятность возникновения проблем в работе.

Использование защитной экипировки и оборудования – в некоторых профессиях защитная экипировка необходима для снижения рисков. Например, обязательное использование шлемов и защитных очков в строительстве.

Регулярные проверки оборудования и обслуживание позволят выявлять и устранять возможные проблемы до их возникновения.

Правильное распределение нагрузки – риск травм и ранений может быть снижен.

«В обязанности работодателя входит обеспечение мероприятий, направленных на улучшение условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки условий труда (Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ). Работодатель должен направлять на эти цели, согласно статье 226 «Финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда» Трудового кодекса РФ, не менее 0,2% суммы затрат на производство продукции (работ, услуг)» [12].

Специальная оценка условий труда (далее – СОУТ) – это процесс анализа рабочей среды и рабочих операций с целью определения возможных рисков и определения мер по их устранению или снижению.

СОУТ проводится специалистами по охране труда и имеет законодательную базу во многих странах. Она является обязательной для всех организаций, где работники подвергаются воздействию вредных факторов, таких как шум, вибрация, химические вещества, пыль, излучения и другое.

Оценка проводится на основе измерений и анализа данных, полученных на рабочих местах. После проведения оценки, специалисты определяют уровень риска и рекомендуют меры по его снижению.

«Основные мероприятия:

- а) проведение специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) позволяет оценить условия труда на рабочих местах и выявить О и

ВПФ и тем самым выполнить некоторые обязанности работодателя, предусмотренные Трудовым кодексом РФ:

- 1) информировать работников об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске повреждения здоровья, предоставляемых им гарантиях, полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты;
 - 2) разработать и реализовать мероприятия по приведению условий труда в соответствие с государственными нормативными требованиями охраны труда;
 - 3) установить компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда» [12].
- б) «обеспечение работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых температурных и климатических условиях или связанных с загрязнением, средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
- в) устройство новых и (или) модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;
- г) приведение уровней естественного и искусственного освещения на рабочих местах, в бытовых помещениях, местах прохода работников в соответствие с действующими нормами;
- д) устройство новых и (или) реконструкция имеющихся мест организованного отдыха, помещений и комнат релаксации, психологической разгрузки, мест обогрева работников, а также укрытий от солнечных лучей и атмосферных осадков при работах на открытом воздухе; расширение, реконструкция и оснащение санитарно-бытовых помещений;
- е) обеспечение хранения средств индивидуальной защиты, а также ухода за ними (своевременная химчистка, стирка, дегазация,

дезактивация, дезинфекция, обезвреживание, обеспыливание, сушка), проведение ремонта и замена СИЗ;

- ж) приобретение стендов, тренажеров, наглядных материалов, научно-технической литературы для проведения инструктажей по охране труда, обучения безопасным приемам и методам выполнения работ, оснащение кабинетов (учебных классов) по охране труда компьютерами, теле-, видео-, аудиоаппаратурой, лицензионными обучающими и тестирующими программами, проведение выставок, конкурсов и смотров по охране труда;
- з) обучение лиц, ответственных за эксплуатацию опасных производственных объектов;
- и) оборудование по установленным нормам помещения для оказания медицинской помощи и (или) создание санитарных постов с аптечками, укомплектованными набором лекарственных средств и препаратов для оказания первой помощи;
- к) и других мероприятий в рамках действующего законодательства (нормативно-правовых актов) РФ» [12].

Для решения выявленных проблем, используем методы и средства, соответствующие действующим нормативным документам. Также предлагаем меры, указанные в таблице 11, для уменьшения профессиональных рисков.

Таблица 11 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда,

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
оборудования	устройств в надлежащем состоянии	средства защиты органов дыхания, зрения, слуха» [12].
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования. – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; – обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Повышенный уровень шума	Применение звукоизоляции, звукопоглощения, демпфирования и глушителей шума (активных, резонансных, комбинированных); группировка шумных помещений в одной зоне здания и отделение их коридорами; введение регламентированных дополнительных перерывов; проведение обязательных медосмотров	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].
«Возможность поражения электрическим током	Оформление допуска по электробезопасности, проведение инструктажа по работе с электрическими установками, применение заземляющего устройства	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].
«Отсутствие или недостаток естественного света	Устройство дополнительных световых проемов в стенах, фонарей на крыше здания» [1]	–
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение	–

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ;</p> <ul style="list-style-type: none"> – 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» [4]. 	
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> – объединение малосодержательных операций в более сложные и разнообразные: 1. длительность объединенных операций не должна превышать 10-12 мин, иначе это повлечет снижение производственных показателей; чрезмерное укрупнение операций может не соответствовать уровню квалификации работника. При совмещении профессий следует учитывать перенос (положительное) и интерференцию (отрицательное) взаимодействие навыков новой и совмещаемой профессии Должны загружаться различные психофизиологические функции работника» [5]; – «внедрение научно обоснованных режимов труда и отдыха для предотвращения возникновения у работающих на монотонных работах отрицательных психологических состояний (психологического пресыщения, скуки, сонливости, апатии); 	–

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> – применение методов эстетического воздействия во время работы, что способствует улучшению психологических условий труда и включает озеленение, цветовой интерьер, оптимальную освещенность рабочего места, снижение шума, вибрации, запыленности и загазованности; – отбор работников на основе учета их индивидуальных психофизиологических особенностей; – разработку и регулярное применение систем морального и материального стимулирования; – усложнение обязанностей в процессе дежурства, а именно выполнение дополнительных задач по изучению техники, ведение записей в журнале; – выбор компромиссной продолжительности периодического дежурства исходя из назначения системы «человек-машина» [20]; – «установление оптимальной длительности ежесуточного пассивного отдыха (сна без перерывов) не менее 7 час (при отсутствии экстренной необходимости его прерывания); – чередование пассивного отдыха с активным» [15]. 	

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Анализируем вероятные источники возможного возникновения пожаров и выявляем опасные факторы, которые могут вызвать их появление (таблица 12).

Таблица 12 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Зона ТО	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [24].

«В статье 42 Федерального закона от 22.07.2008 № 123-ФЗ представлена классификация пожарной техники:

- системы, установки АПС (автоматическая пожарная сигнализация), АУПТ (автоматическая установка пожаротушения), СОУЭ (системы оповещения и управления эвакуацией), пожарной связи, автоматики;
- первичные: мобильные средства пожаротушения (все виды огнетушителей, пожарные краны, пожарный инвентарь);
- пожарное оборудование;
- средства индивидуального/группового самоспасения, защиты органов дыхания;
- ручной, механизированный инструмент» [12].

«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 – 1шт.;

- 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» [26].

Разработка мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности является одним из главных этапов обеспечения безопасности в зданиях и сооружениях.

Такие мероприятия должны быть разработаны в соответствии с законодательными и нормативными актами и утверждены руководством организации.

Первый шаг при разработке мероприятий – это проведение анализа рисков возможного возникновения пожара в здании или сооружении.

Для этого необходимо провести осмотр помещений, выявить наличие возможных источников возгорания, оценить состояние систем пожарной безопасности.

Выполним разработку мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности при обслуживании подвески автопоезда КАМАЗ-65206 (таблица 13), в целях обеспечения пожарной безопасности, определяющих порядок поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий.

Таблица 13 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании 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 источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения»	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [7]
«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]

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206

Для обеспечения экологической безопасности технологического процесса необходимо принимать следующие меры:

- использование экологически чистых материалов и ресурсов. Например, замена опасных химических реагентов на более

безопасные аналоги;

- минимизация выбросов и отходов. Необходимо использовать эффективные системы очистки выбросов и переработки отходов;
- соблюдение норм и требований экологического законодательства. Технологический процесс должен соответствовать требованиям всех нормативных документов и лицензий;
- обучение и мотивация персонала. Сотрудники должны понимать важность экологической безопасности и использовать соответствующие методы;
- проведение экологической оценки технологического процесса

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206 и сведем их в таблицу 14.

Таблица 14 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Обслуживание 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].

Выполним разработку мероприятий, направленных на снижение негативного антропогенного воздействия при обслуживании подвески автопоезда КАМАЗ-65206:

- атмосферу – использование технологий снижения выбросов и загрязнений: установка фильтров на промышленные предприятия, ограничение использования транспорта с высокими выбросами, утилизация отходов, популяризация и переход на использование

возобновляемых источников энергии (установка солнечных панелей, ветрогенераторов, гидроэлектростанций и так далее);

- литосферу – внедрение программ по сбору и переработке отходов. Это включает создание системы отдельного сбора мусора, развитие рынка вторсырья.

Выводы по разделу.

В разделе:

- разработан паспорт производственно-технологического процесса обслуживания подвески автопоезда КАМАЗ-65206;
- выявлены профессиональные риски при обслуживании подвески автопоезда КАМАЗ-65206 и определены методы и средства их снижения;
- идентифицирован класс и опасные факторы пожара, разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности при обслуживании подвески автопоезда КАМАЗ-65206;
- идентифицированы экологические факторы, возникающие при обслуживании подвески автопоезда КАМАЗ-65206 и разработаны мероприятия по их снижению.

Также необходимо подчеркнуть, что участие работников в процессе управления охраной труда подразумевает:

- информирование сотрудников о возможных опасностях, связанных с работой и оказании первой помощи в случае необходимости;
- оценка рисков и выработка предложений по принятию мер по уменьшению их воздействия на работников;
- проведение обучения и тренингов по охране труда, продуктивному использованию рабочего времени и управлению стрессом;
- участие в разработке и контроле соблюдения инструкций по безопасности, а также в работе комиссии по охране труда.

6 Экономическая эффективность проекта

Для определения финансовых затрат на разработку конструкции модернизированной подвески КАМАЗ-65206 необходимо учесть следующие факторы:

- стоимость материалов: необходимо определить, какие материалы будут использоваться для создания конструкции, и рассчитать их стоимость;
- трудозатраты: необходимо определить количество человеко-часов, которые будут потрачены на разработку конструкции подвески, и рассчитать стоимость труда в соответствии с тарифами на работу;
- оборудование: необходимо определить, какое оборудование будет необходимо для создания конструкции (например, инструменты, станки и так далее) и рассчитать их стоимость;
- дополнительные расходы: необходимо учесть все дополнительные расходы, такие как аренда помещения, расходы на транспортировку материалов и оборудования, расходы на электроэнергию и так далее.

После того как все факторы были учтены, можно рассчитать общую сумму финансовых затрат на модернизацию конструкции подвески КАМАЗ-65206.

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

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

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

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

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

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

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

Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

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

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

$C_{к}$ – 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:

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

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

$C_{м}$ – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р» [9]:

«Зарботную плату рассчитываем по формуле:

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

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_i – 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 2023 года МРОТ составляет 16242 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $16242/(7 \cdot 21) = 110,48$ 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» [12].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $110,48 \cdot 1,42 = 156,88$ р./ч.

$$C_{np} = 2 \cdot 156,88 \cdot 1,03 = 323,17 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

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

$$C_o = 10 \cdot 323,17 / 100 = 32,31 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

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

$$C_{соц} = 30 \cdot (323,17 + 32,31) / 100 = 106,64 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma np} = 323,17 + 32,31 + 106,64 = 462,12 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 462,12 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]:

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

$$C_{o.d} = 462,12 + 3200 = 3662,12 \text{ р.}$$

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

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

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

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_{cb} равную 6,0 чел.-ч.

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

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{c\bar{b}} = 7,5 \cdot 156,88 \cdot 1,03 = 1211,89 \text{ р.,}$$

$$C_{\partial.c\bar{b}} = 0,1 \cdot 1211,89 = 121,19 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.c\bar{b}} = 0,3 \cdot (1211,89 + 121,19) = 399,92 \text{ р.,}$$

$$C_{c\bar{b}.n} = 1211,89 + 121,19 + 399,92 = 1733 \text{ р.}$$

Таким образом, полная заработная плата производственных рабочих занятых на сборке составит 1733 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]:

$$C'_{np} = (C_{np} + C_{c\bar{b}}), \quad (119)$$

$$C'_{np} = 323,17 + 1211,89 = 1535,06 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(1535,06 \cdot 15)}{100} = 230,26 \text{ р.}$$

Стоимость покупных деталей, изделий, агрегатов представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	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	2200
Итого:	161400

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

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

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 0 + 3662,12 + 161400 + 1733 + 230,26 = 167025,38 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление конструкции модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206 сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Затраты на изготовление конструкции модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	0
Стоимость изготовления оригинальных деталей	3662,12
Общая заработная плата на сборку	1733

Продолжение таблицы 16

Обозначение	Числовое значение, руб.
Общепроизводственные накладные расходы	230,26
Стоимость покупных изделий	116400
Итого:	167025,38

Общие затраты на изготовление конструкции модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206 равны 167025,38 р.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{ПР} - C_{КОН}, \quad (120)$$

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

$$\mathcal{E}_Г = 200000 - 167025,38 = 32974,62 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{OK} = \frac{C_{КОН}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (121)$$

$$O_{OK} = \frac{167025,38}{32974,62} = 5,06 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{КОН}, \quad (122)$$

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = 32974,62 - 0,15 \cdot 167025,38 = 7920,81 \text{ р.}$$

В таблице 17 представлены основные показатели проекта.

Таблица 17 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	200000	167025,38
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	32974,62
Экономический эффект при внедрении конструкции	р.	–	7920,81
Срок окупаемости	год	–	5,06

Выводы по разделу.

В разделе определена эффективность разработки модернизированной конструкции подвески КАМАЗ-65206 с экономической стороны.

Стоимость разработки конструкции подвески составляет 167025,38 р., срок окупаемости равен 5,06 года, что является допустимым для данной конструкции.

Заключение

В соответствии с утвержденной темой дипломного проекта была проведена модернизация передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206.

Ключевым вопросом дипломной работы являлось проектирование конструкции модернизированной передней подвески для повышения активной безопасности автомобиля категории N3 путём разработки передней подвески со стабилизатором поперечной устойчивости.

В работе затрагивается проблема совершенствования конструкции передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206, так как она влияет не только на плавность хода, но и проходимость машины, безопасность движения, устойчивость, надежность, долговечность грузовика и даже расход топлива.

В ходе выполнения дипломного проекта было сделано следующее:

- рассмотрены особенности устойчивости автопоезда, влияние конструктивных и эксплуатационных факторов подвески на устойчивость автомобиля;
- выполнен тягово-динамический расчёт легкового автомобиля;
- рассмотрены требования к подвеске автомобиля-тягача, разработана кинематическая схема подвески, выполнены конструкторские расчеты подвески, разработана передняя подвеска для автопоезда КАМАЗ-65206 со стабилизатором поперечной устойчивости;
- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки конструкции проектируемой подвески;
- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
- определена целесообразность модернизация передней подвески автопоезда КАМАЗ-65206 с экономической стороны.

Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Автомобили КамАЗ типа 6х4 : Руководство по эксплуатации : 5320-3902005 РЭ / АО «КамАЗ». - Москва : Машиностроение, 1991. - 335, с.
- 2 Беляев В. П. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для самостоятельной работы студентов : для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобиле- и тракторостроение» / В. П. Беляев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Автомобили». - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2010. - 74, с
- 3 Вахламов В. А. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (Автомобильный транспорт)» направления подготовки «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» / В. К. Вахламов. - 2-е изд., стер. - Москва : Академия, 2009. - 556, с.
- 4 Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства по дисциплине «Конструкции подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования» : [практикум] / М. Д. Герасимов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. - 115 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 Демура Н. А. Экономика предприятия [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства и направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. - 124 с.

9 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.

10 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

11 Кротов С. В. Расчеты на прочность и жесткость элементов конструкций и сооружений с применением ANSYS : учебное пособие / С. В.

Кротов ; Росжелдор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" (ФГБОУ ВО РГУПС). - Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. - 95 с.

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

13 Митрохин Н. Н. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств : учебник : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 15.03.01 «Машиностроение» (квалификация (степень) «бакалавр») / Н. Н. Митрохин, А. П. Павлов. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 262, с.

14 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.

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

16 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 : Изд-во ЛГТУ, 2021. - 112 с.

17 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 : ВолгГТУ, 2014. - 211 с.

18 Селиванов И. И. Специализированные автомобили и автопоезда [Текст] / И. И. Селиванов, М. И. Серебряный. - Москва : Машиностроение, 1964. - 216 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. - Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

21 Шубин А. А. Разработка технологического процесса изготовления детали [Текст] : учебное пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Технология производства наземных транспортно-технологических средств» / А. А. Шубин ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), Калужский филиал. - Калуга : Манускрипт, сор. 2018. - 65 с.

- 22 Garrett T.K. The Motor Vehicle / T.K Garrett, K. Newton, W. Steeds. 13th ed. - Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. - 1214 p.
- 23 Heisler H. Advanced vehicle technology / Heinz Heisler. - 2. ed. - Oxford [etc.] : Butterworth - Heinemann, 2002. - IX, 654, p.
- 24 Pacejka H. B. Tyre and vehicle dynamics / Hans B. Pacejka. - Oxford [etc.] : Butterworth - Heinemann, 2002. - XIII, 627, p.
- 25 Regan F. J. Re-entry vehicle dynamics / Frank J. Regan. - New York : Amer. inst. of aeronautics a. astronautics, 1984. - X, 414 p.
- 26 Zanten A., Erhardt R., Pfaff G. An Introduction to Modern Vehicle Design /Edited by Julian Happian-Smith. Reed Educational and Professional Publishing Ltd 2012. - 600 p.

