

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование кафедры)

15.04.05 Конструкторско-технологическое обеспечение

машиностроительных производств

(код и наименование направления подготовки)

Инжиниринг и производство транспортных средств

(профиль)

## **МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

на тему Исследование возможности применения системы  
пневмоподвески на автомобильных цистернах для перевозки  
нефтепродуктов

Студент	<u>А.Г Чернышев</u> (И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Научный руководитель	<u>Л.А Черепанов</u> (И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Консультант	<u>А.Г Егоров</u> (И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
Руководитель программы	<u>к.т.н, доцент Бобровский А.В</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой	<u>к.т.н, доцент Бобровский А.В</u> (ученая степень, звание, И.О. Фамилия)	<u>_____</u> (личная подпись)
---------------------	---	----------------------------------

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019г.

Тольятти 2019

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Цель разработки и область применения пневмоподвески.....	5
1.1 Общая классификация подвесок большегрузных автомобилей.....	5
1.2 Основные цели проектирования пневмоподвески.....	9
1.3 Виды пневмоподвесок.....	9
1.4 Анализ пневподвески.....	10
2 Расчет узла пневмоподвески .....	29
2.1 Проверочный расчет амортизатора.....	29
2.2 Расчет оси балки.....	37
2.3 Расчет пневмоподвески.....	41
2.4 Расчет сварочных швов.....	49
2.5 Расчет высоты подъема колеса.....	55
3 Описание конструкции пневмоподвески.....	56
3.1 Описание узла пневмоподвески.....	56
3.2 Система автоматического управления пневмоподвеской.....	58
3.3 Система электронного управления пневмоподвеской.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	74

## ВВЕДЕНИЕ

Автомобильные цистерны для перевозки нефтепродуктов, эксплуатация которых связана с доставкой топлив, масел смазочных материалов и других нефтепродуктов от складов и баз горюче-смазочных материалов до автозаправочных станций и других потребителей, являются неотъемлемой составной частью автомобильного транспорта. Они представляют собой специализированные автотранспортные средства, у которых на базе автомобилей монтируется различное технологическое оборудование. Первые автомобильные цистерны появились одновременно с первыми отечественными автомобилями, для заправки которых необходимо было подвозить горюче-смазочные материалы.

До начала 60-х годов выпуск автомобильных цистерн для нефтепродуктов был незначительным, их вместимость в основном не превышала 4м<sup>3</sup>, а эксплуатация и техническое обслуживание технологического оборудования не были сложными из-за отсутствия в их составе высокопроизводительных насосных установок, автоматизированных систем контроля и управления сливноналивными операциями.

Рост выпуска грузовых и легковых автомобилей, увеличение объема грузовых перевозок, возрастание объема перевозок нефтепродуктов привели к созданию в 1960-1970гг. нескольких десятков типов автомобильных цистерн для перевозки нефтепродуктов на базе автомобилей средней и большой грузоподъемности, полуприцепов и прицепов.

Одновременно с этим произошло усложнение их технологического оборудования, возникла потребность в проведении присущих только этому виду подвижного состава операций по технологическому осмотру и текущему ремонту оборудования в процессе эксплуатации.

В 80-е годы на автомобильных дорогах страны появились наливные большегрузные автопоезда АЦ-9-5320 с ПЦ-9-6350, полноприводные

полуприцепы цистерны ППЦ-15-375СН, а также ряд неполноприводных полуприцепов- цистерн вместимостью от 8 до 18 м<sup>3</sup>.

Эксплуатация, технического обслуживания (ТО) и технического ремонта (ТР) технологического оборудования этих машин по технической сложности приближаются к аналогичным операциям на шасси базового автомобиля, полуприцепа и прицепа и требуют специального оборудования, помещения и подготовленного инженерно-технического персонала.

## **1 Цель разработки и область применения пневмоподвески**

Современная перевозка грузов регламентируется множеством требований. Уже не является достаточным только перевезти товары от пункта А до пункта Б.

В расширенном европейском хозяйстве с различными дорожными условиями надежность транспорта, соблюдение сроков доставки, гибкость и обоснование соотношения между ценой и объемом поставок, сохранностью дорог, груза, и увеличения безопасности особенно при перевозке опасных, высоко расположенным центром тяжести грузов стали вопросом выживания предприятий. ПАО «НЕФАЗ, как партнер автомобильной промышленности ставит перед собой вышеуказанные задачи. Так как именно ходовую часть шасси регламентируют особо жесткие требования. Пришли к выводу вместо рессорно-балансирной подвески спроектировать пневматические подвески.

Если вы часто ездите пустым или не полностью загруженным, сэкономить деньги вам помогут подъемники оси. В зависимости от места монтажа поставляют конструкции подъемников, монтируемых по центру или с одной стороны. Непродолжительно их можно применять и для повышения тяги в сложной местности.

### **1.1 Общая классификация подвесок большегрузных автомобилей**

Подвеска представляет собой набор устройств, которые обеспечивают упругую связь между подрессоренной и непрессоренной массами.

Подвеска снижает динамические нагрузки, действующие на подрессоренную массу.

Подвеска состоит из трех основных элементов:

- 1) упругий элемент;
- 2) направляющий элемент;
- 3) демпфирующий (гасящий) элемент.

Упругое устройство на подрессоренной массе передает вертикальные силы, действующие со стороны дороги, снижает динамические нагрузки и

улучшает плавность хода. Примером упругого элемента являются спиральные пружины и листовые рессоры (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Упругие элементы подвески

«Направляющее устройство представляет собой механизм, который воспринимает продольные и поперечные силы, действующие на колесо, и их моменты. Кинематика направляющего устройства определяет характер движения колеса относительно несущей системы. В качестве примера направляющим устройством может служить листовая рессора» [1].

«Демпфирующее устройство предназначено для демпфирования вибраций кузова и колес путем преобразования вибрационной энергии в тепло и рассеивания ее в окружающей среде. Примером демпфирующего устройства является гидравлический амортизатор» [2].

В зависимости от типа направляющего устройства все подвески делятся на зависимые и независимые.

Особенностью зависимой подвески колес является наличие жесткой балки, соединяющей левое и правое колеса, поэтому движение одного колеса

в поперечной плоскости передается другому (см. рисунок 1.2). Зависимые подвески сбалансированы и автономны.

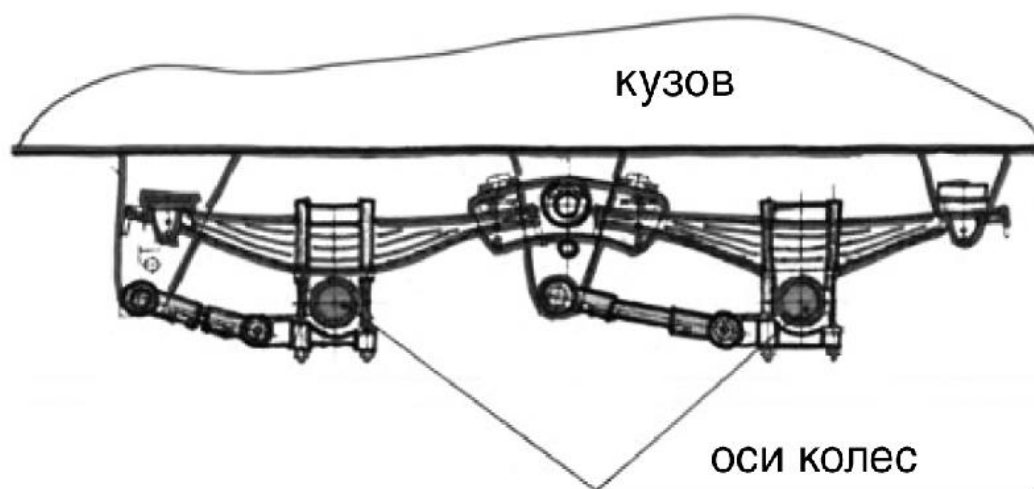


Рисунок 1.2 –Зависимая балансирующая рессорная подвеска.

С независимой подвеской нет прямой связи между колесами. Каждое колесо этого моста движется независимо друг от друга.

Независимые подвески по характеру движений, сопровождающих вертикальный подъем колеса, делятся на подвески с движением колеса в поперечной, продольной плоскости или в двух плоскостях (продольной и поперечной) и подвески.

По типу демпфирующего элемента подвески имеют рычажные или телескопические амортизаторы.

По типу упругого элемента подвески являются:

1. с металлическим упругим элементом;
2. с неметаллическим упругим элементом.

Металлическими упругими элементами являются пружины, пружины и торсионные стержни, а также их комбинации.

Неметаллические упругие элементы подразделяются на:

1. пневматические упругие элементы;
2. гидропневматические упругие элементы;
3. резиновые упругие элементы;

#### 4. комбинированные упругие элементы.

Зависимые пружинные подвески очень широко использовались в грузовиках, автобусах и прицепах, а также на сельскохозяйственной технике.

Прежде всего, стоит отметить, что широко используются листовые рессоры, поскольку они объединяют все три элемента подвески.

Недостатком листовой рессоры является высокая интенсивность металла - по сравнению с пружиной рессора может хранить в 4 раза меньше энергии. Еще одним недостатком является наличие межлинейного трения в рессоре, что отрицательно сказывается на характеристиках рессорной подвески и ее долговечности.

Чтобы увеличить долговечность листовых рессор, они разгружаются от крутильных напряжений, уменьшают напряжения в листах за счет ограничения амплитуды или введения дополнительных упругих элементов.

Межслойное трение значительно усиливается за счет проникновения абразивных частиц, что приводит к локальному износу поверхности, разрыву и образованию микротрещин, что в конечном итоге приводит к разрушению пружинных рессор.

Преимущество балансирной подвески заключается в два раза меньшее перемещение кузова при вертикальном движении одного колеса относительно другого.

В рессорных подвесках к кинематической схеме направляющего устройства предъявляются дополнительные требования:

1. Горизонтальное перемещение рессоры относительно балки моста, влияющее на износ пары фрикционных пружинных мостов, должно быть минимальным. Трение и износ могут быть значительными из-за высоких давлений и работы трущихся поверхностей в абразивной среде (дорожная пыль). В некоторых подвесках это движение уменьшается до 2 - 4 мм.

2. Должно быть минимальное угловое смещение, влияющее на износ и долговечность карданных передач.



## **1.2 Основные цели проектирования пневмоподвески**

Система ходовых механизмов - решающие компоненты если говорить о качестве.

Экономичность и качество в системе транспортных перевозок имеют много аспектов: необходимо бережное отношение к шоссе, грузу и грузовой машине, а также щадить дорогие кузова. Всем этим транспортным компонентам в системе грузовых перевозок обеспечена высокая степень безопасности, особенно при перевозках опасных грузов или быстро портящихся грузов.

Доставка в срок – основное качество современных грузовых перевозок. Для этого необходим быстрый и мощный транспорт, а также эффективное использование мощностей грузовых машин. Задача транспортной промышленности заключается в первую очередь в том, чтобы гарантировать качество транспорта и его надежность. Поэтому производители машин и транспортники все более понимают преимущество пневматических систем ходовых механизмов. Ведь никакой другой принцип амортизации не может сравниться с принципом пневматической амортизации.

Прогрессивные, а также экономичные решения в области транспортной техники связаны сегодня непосредственно с системой пневматической амортизации.

## **1.3 Виды пневмоподвесок**

В грузовых транспортных средствах и автобусах все чаще находят применение системы пневмоподвески.

В грузовых транспортных средствах достигается при этом большее время полезной эксплуатации, так как время погрузки/разгрузки при работе со сменными грузовыми платформами значительно сократилось. В автобусах это обеспечивает повышение комфорта во время поездки и постоянный уровень при посадке/высадке.

Пневмоподвески.

Проектирование и различные варианты исполнения систем пневмоподвесок привели к появлению следующих типов:

- а) пневмоподвески с закрытым контуром;
- б) пневмоподвески с закрытым наполовину контуром;
- в) пневмоподвески с открытым контуром.

Системы пневмоподвески типа а) и б) применяются в транспортных средствах для перевозки пассажиров. Их преимуществом является незначительное потребление воздуха и то, что время включения компрессора для подачи воздуха в систему незначительно. За счет этого снижается количество выпавшего конденсата и степень загрязнения. Однако системы такого типа достаточно сложны и не дешевы.

Поэтому в автобусах и грузовых транспортных средствах в основном применяются системы пневмоподвески с открытым контуром. Так как в данных системах ненужный воздух сбрасывается в атмосферу, то система подачи воздуха должна быть большей мощности.

Обе системы подвесок (рессорная и пневматическая) не в состоянии отвечать всем появляющимся техническим требованиям. Сравнение же данных систем показывает значительное преимущество пневмоподвески.

#### **1.4 Анализ пневподвески**

«Пневматические упругие элементы (пневмоподушки или пневморессоры) постепенно вытесняют стальные рессоры из конструкций подвесок современных грузовиков, прицепов и автобусов. В 1955 г. концерн Continental AG первым в Европе начал разработку пневматики для подвесок автобусов и железнодорожных вагонов. Сегодня практически невозможно себе представить современную модель магистрального тягача без пневмоподушек и интеллектуальной подвески, способной подстраиваться под рабочие условия, по мере необходимости изменяя высоту подрессоренной части транспортного средства. Разумеется, эксплуатация более сложной системы пневморессор требует дополнительных знаний и

грамотного подхода к обслуживанию. Поэтому в начале немного теории о пневморессорах» [4].

Эластичный элемент подвески может служить для снижения динамических нагрузок, вызванных, главным образом, действием части веса автомобиля на колесо. Когда колесо сталкивается с дорогой, упругий элемент подвески сжимается, значительно смягчая удар, передаваемый колесом на кузов автомобиля. Разжимаясь, он сообщает вибрации кузову. Подбирая соответствующие характеристики подвески в целом, можно придать желаемый характер движения автомобиля. Идеальной плавностью хода считается такая, при которой подрессоренная часть колеблется с частотой 1–1,3 Гц, хорошей - примерно до 2 Гц. По физиологическим параметрам это соответствует нормальной ходьбе пешком (60–70 и 120 шагов в минуту соответственно).

Согласно учебной литературе [2] «основной характеристикой упругого устройства является жесткость, представляющая собой отношение нагрузки к статическому прогибу под ее воздействием. Чем жестче упругий элемент, тем меньше он проседает под воздействием внешней нагрузки. Рессоры, даже если они изготовлены из легких композиционных материалов, имеют один серьезный недостаток – их упругая характеристика неизменна, в то время как загрузка автомобиля меняется. Чтобы выдержать максимальную загрузку автомобиля, рессоры должны быть достаточно жесткими. Соответственно в порожнем состоянии плавность хода получается недостаточной. Установка относительно мягкой рессоры с подрессорником – только частичное решение проблемы. В пневмоподвеске упругие элементы с системой регулирования обеспечивают переменную жесткость, реагируя на изменение нагрузки. Полезная нагрузка, воспринимаемая пневморессорой, прямо пропорциональна площади окружности и внутреннему давлению. Если автомобиль загружен частично, в баллонах устанавливается низкое давление воздуха, а при полной загрузке – высокое. Повышение давления производится автоматически с помощью специальных датчиков уровня

кузова. Благодаря этому прогиб остается в заданных значениях, но жесткость увеличивается пропорционально нагрузке» [2].

Проанализируем компоненты пневматического упругого элемента.

Начнем с резиновой оболочки, наиболее интересной с точки зрения технологического изучения. Наружная поверхность «рукава» покрыта специальным составом, защищающим баллон от воздействия внешней среды: высокой температуры, ультрафиолетовых лучей и химических воздействий. Ниже находятся два слоя тканевого шнура, вулканизированные в эластомерном материале и составляющие каркас подушки безопасности. Полиамидные нити, расположенные особым образом, придают пневматической трубе исключительную прочность при сохранении гибкости. Под тканевым каркасом находится еще один уплотнительный слой из эластомера. Верхняя и нижняя часть «рукава» оканчивается отбортовкой с помощью стальной проволоки. Эта конструкция отвечает за надежную фиксацию и герметичность воздушного сильфона в сочетании с другими частями подвески. Синтетический каучук и другие высокотехнологичные эластомерные материалы позволяют продуктам безопасно выдерживать рабочие температуры от  $-40$  до  $70$  °С.

Согласно учебной литературе [1] «сравнительно простую конструкцию представляет собой «пневморуклав», фиксирующийся на посадочных местах верхней пластины и поршня с помощью конического соединения. Простота конструкции в том, что в ней, как правило, меняют только один резиновый элемент. Угол конуса в месте посадки стандартный –  $50$ , а его высота и наличие специального фиксирующего приспособления в виде носика зависит от области применения подушки. Фиксирующие приспособления используют в случае, если пневмоподушка длительное время может работать под минимальным давлением. Например, седельный тягач, движущийся без прицепа. В пневмоподушках автобусов, с их относительно постоянной подрессоренной массой, таких ухищрений не требуется, и бортовое кольцо прекрасно чувствует себя на гладком конусе, а процесс замены происходит,

как правило, гораздо легче, чем в первом случае, и напоминает отделение бортового кольца от диска в бескамерной шине» [1].

В последнее время активно используются пневматические подушки с неразъемным соединением резиновых и металлических деталей. Такое соединение позволяет избежать самостоятельной разборки подушки во время аварийного хода подвески и, кроме того, упрощает установку, для которой требуется только гаечный ключ. Разновидностью неразъемного варианта является баллон с вулканизированной верхней пластиной. Такая конструкция уменьшает расход материала изделия и делает его удобным для монтажа. Конструктивно интересна подушка безопасности ContiTech 4713N, установленная на Volvo FH12. Она имеет завальцованную верхнюю пластину и дополнительное стопорное кольцо на конусе нижнего поршня, который удерживает соединение при минимальном давлении. При сборке на заводе это кольцо надевается перед завальцовкой верхней пластины.

Согласно учебной литературе [4] «еще одна интересная тема – многосекционный пневмобаллон (гармошка), состоящий, как правило, из двух секций. Пневморукав делится на равные секции металлическим опоясывающим кольцом, позволяющим уменьшить диаметр. Резиновая часть обычно крепится к верхнему и нижнему основанию с помощью прижимных колец и болтов. В свое время такую конструкцию очень активно использовали в подвесках городских автобусов. По сравнению с «односкатным» пневмобаллоном такой упругий элемент более уверенно чувствует себя на малой высоте и позволяет достичь сравнительно больших величин прогиба. Сейчас он чаще применяется на прицепах или в промышленном оборудовании. Несколько слов о конструкции поршня-стакана. По форме он может быть цилиндрическим, коническим или с вогнутыми стенками. Специальная форма вогнутых стенок позволяет уменьшить трение и циклические нагрузки, возникающие в результате трения при минимальном давлении. Аналогичная цель достигается при

уменьшении наружного диаметра контура пневмобаллона от середины вниз. Таковую конструкцию имеют преимущественно пневмоподушки тягача» [4].

Согласно учебной литературе [3] «для увеличения комфортности подвески часто используется внутренний объем поршня. Дополнительный объем воздуха, находящийся внутри герметичного поршня особой конструкции, изменяет коэффициент упругости и расширяет «зону комфорта». Объяснение этому можно найти в формулах частоты естественных колебаний, но это уже область инженерных расчетов. Что касается материала, то пластиковые поршни, применяемые в последнее время все чаще, ничем не уступают металлическим, но выигрывают в массе. Резиновый буфер, расположенный внутри большинства конструкций, предотвращает смыкание верхней тарелки с поршнем при отсутствии давления. Теперь об обещанном производственном процессе изготовления пневморессор. Он напоминает изготовление автомобильных шин в уменьшенном масштабе. На начальном этапе резина сырец раскатывается в виде тонкого слоя. Далее происходит намотка полиамидного корда. Нити корда располагаются в пневморессоре под особым углом. За это отвечает специальная «портновская» операция – ленту режут под особым углом, а затем соединяют по месту разреза» [3].

От правильного выбора углов будет зависеть дальнейшее трение пневморессора на изгибах при скатывании. А это означает прочность и долговечность. При сборке предварительно изготовленные ленты наматывают на шаблонный диск в соответствии с последовательностью слоев. Затем одевают боковые кольца по краям и изделие закладывается в индивидуальную форму для вулканизации. Завальцовка металлической пластины и сборка поршня выполняются на последнем этапе. Технологический процесс, доведенный до мелочей, заканчивается серьезным тестированием определенного количества образцов из каждой партии перед отправкой заказчику. Репутация крупного конвейерного поставщика обязывает его искать новые конструктивные решения для выполнения

заказов автопроизводителей. Из последних разработок вызывает интерес пневмоподушка со встроенным датчиком перемещения подвески. Такая подушка должна решать эксплуатационные проблемы, связанные с выходом из строя датчиков, расположенных на раме автомобиля.

Сегодня все крупные производители тяжелого оборудования в Европе перешли на использование электронной системы управления пневматической подвеской. Единственным исключением являются американские грузовики, на которых все еще установлена пневматическая механика. С этим не поспоришь - за рубежом своя концепция автомобильной промышленности. Полный обзор о пневматических рессорах не может быть получен без отдельного обобщенного описания характерных отказов. Основными причинами выхода из строя упругих элементов являются:

- потеря герметичности из-за чрезмерного растяжения из-за неисправных ограничителей. Предельное значение хода подвески (и, соответственно, подушки) является важным конструктивным параметром;
- воздействие химических веществ. Парадоксально, что основным веществом, сокращающим срок службы пневмоцилиндра, является смазка, наносимая на детали автомобилей;
- усталость и старение проявляются в виде трещин в резиновой втулке; они являются результатом длительной эксплуатации и постоянных циклических нагрузок, испытываемых баллоном.

«Оригинальные детали по уже изложенным причинам при хорошем уходе служат исключительно долго, и дело редко доходит до появления естественной усталости пневмобаллона. В то же время от механического износа, вызванного контактом с посторонними предметами, деталями автомобиля а также дорожной грязью, накапливающейся на боковой поверхности поршня, изготовитель защитить не сможет. Смотреть за этим – это уже «дело хозяйское». При монтаже нового пневмобаллона для обеспечения его долгой работоспособности советуют обратить внимание на исправность механизма регулировки уровня, амортизаторов и ограничителей

хода подвески. Кроме того, нужно проверить также шарнирные элементы подвески на предмет отсутствия перекосов и возможного попадания смазки от агрегатов на резиновые части пневмобаллона. Для установки пневмобаллона с коническим уплотнением желательно использовать специальную пасту или мыльный раствор. Процедуру монтажа такой рессоры может облегчить подвод сжатого воздуха от внешнего источника непосредственно на вход установленной подушки. Гарантией прочной посадки служит характерный хлопок. При монтаже подушки в сборе рекомендуется использовать новые крепежные болты, поскольку существует вероятность разрушения старого крепежа. В процессе эксплуатации пневмобаллон постепенно меняет свою форму. В большинстве случаев он уменьшается в длине, увеличиваясь при этом в диаметре. По этой причине определение модели пневмобаллона с помощью наружных размеров привести к ошибке» [3].

Пневматические подвески разрабатываются в соответствии с такими определенными условиями, как нагрузка, характеристики и отклонения буферной пружины. В грузовых автомобилях, как правило, используются пневматические подвески двух типов: Баллон пневматической подвески с обкатывающей диафрагмой и пневматическая подвеска с пневмоэлементами рукавного типа.

Баллон пневматической подвески с обкатывающей диафрагмой (стандартная пневматическая подвеска без металлической части) Как правило, используется в автобусах. Баллон пневматической подвески с обкатывающей диафрагмой оснащен конусообразными углублениями для простоты демонтажа или установки баллона с/на поршень и опорный фланец. В автобусах вопрос комфорта передвижения поставлен более остро, чем в других транспортных средствах. А это означает, что оригинальная высота транспортного средства (высота посадки пассажира) должна оставаться постоянно на одном и том же уровне, независимо от действующей нагрузки.



Баллон пневматической подвески с обкатывающей диафрагмой с металлической частью (беспоршневые пневматические подвески с металлической частью).

Чаще используется в грузовиках и тягачах. То есть, применяется при транспортировке тяжелых грузов. Наряду с этим, также используется в некоторых видах автобусов. Имеет в верхней части обжимной элемент, на котором находятся соединительные части, используемые для соединения с раструбом и шасси, для обеспечения ввода и вывода воздуха (стержни, центровочные штыри и т.п.). Соединение данного изделия с поршнем, находящимся на оси, осуществляется посредством нижней емкости, вулканизированной с привариванием к нижней каучуковой части подвески или посредством распорного металлического элемента, установленного непосредственно на вулканизированную подвеску. Данные изделия могут изготавливаться как в цилиндрической, так и в конусообразной форме. Данная характеристика, касающаяся формы подвески, определяется на стадии проектирования и непосредственно зависит от размещения шасси транспортного средства.

Независимые пневматические подвески.

Единственным отличием независимых пневматических подвесок от баллонов пневматической подвески с обкатывающей диафрагмой с металлической частью является наличие в независимых пневматических подвесках металлического или пластикового поршня. В некоторых видах подвесок объем поршня используется в качестве воздушного резервуара с целью увеличения комфорта передвижения. Также этот вид подвесок может изготавливаться с встроенным вкладышем или без него.

За счет изменения давления в пневмобаллонах в зависимости от загрузки сохраняется постоянное расстояние между дорожным покрытием и грузовой платформой транспортного средства. При этом сохраняется постоянная высота посадки или загрузки, а также настройки фар.

Степень комфорта от работы пневмоподвески не зависит от степени загрузки. Пассажир автобуса ощущает постоянные, плавные колебания. Перевозка грузов осуществляется без повреждений. При использовании пневмоподвески так называемые подпрыгивания порожнего или частично загруженного прицепа отсутствуют.

Улучшаются управляемость и степень передачи тормозного усилия дорожному полотну, так как все колеса находятся в сцеплении с дорогой.

Изменяющееся в зависимости от состояния загрузки давление в пневмобаллонах может использоваться для управления регулятором тормозных сил.

Пневмоподвеска является оптимальным решением для погрузки и разгрузки в системе контейнерных перевозок с использованием сменных грузовых платформ.

Минимальное воздействие, ухудшающее дорожное покрытие.

В системе пневмоподвески элементы подачи воздуха, хранение сжатого воздуха и пневматического управления, а также сами пневмобаллоны должны образовать единое целое.

При многоосевой агрегатной системе уже один пневматический амортизатор помогает коррекции нагрузки на оси и на тормоз. Даже при значительном наклоне шасси полуприцепов или при неровностях дороги.

Преимущества коррекции нагрузки тормоза заключаются в том, что каждое отдельное колесо получает одинаковую силу торможения, а это означает что будет одинаковая сила торможения на оси и одинаковый износ.

«Другой особенностью пневматической подвески с функцией регулирования дорожного просвета является то, что частота собственных колебаний кузова остаётся почти постоянной при изменении массы автомобиля. Помимо принципиальных достоинств системы регулирования дорожного просвета, её внедрение на пневматической подвеске обеспечивает важнейшее преимущество. Благодаря тому, что давление воздуха в пневматических упругих элементах регулируется в зависимости от нагрузки,

достигается изменение жёсткости пропорционально величине поддресоренной массы. В результате этого частота собственных колебаний кузова и, вследствие этого, комфорт в движении остаются почти неизменными вне зависимости от нагрузки» [12].

Условия работы в кабинах современных грузовиков характеризуются наличием комплекса неблагоприятных факторов, в том числе вибрации, повышенного шума и т. д. Все эти факторы способствуют развитию ряда заболеваний и приводят к преждевременной усталости водителей и экипажа. Исследования ряда авторов [13, 14, 15] показывают, что одной из основных причин относительно низких скоростей транспортных средств, особенно на дорогах с неровными поверхностями, является высокий уровень их вибрационной нагрузки.

Согласно учебной литературе [15] «особое место в проблеме улучшения условий труда водителей автотранспортных средств занимают вопросы виброзащиты от воздействия низкочастотных колебаний, дисперсия которых сосредоточена в диапазоне от 1 до 30 Гц. Именно в этом диапазоне расположены спектры частот вибраций транспортных средств и основные резонансные частоты организма человека. Особенно актуальна эта проблема для кабин большегрузных многоосных автомобилей, так как для автомобилей данного класса, характерной особенностью является повышенная вибронагруженность экипажа».

С 50-х годов прошлого века различные исследователи отмечали, что ускорения, передаваемые человеческому телу на разных частотах, по-разному влияют на его организм [13, 14, 15]. Применительно к автотранспортным средствам обзор и анализ исследований приводятся в ряде опубликованных работ [13, 14, 15].

Согласно учебной литературе [15] «профессиональная деятельность водителя оценивается двумя взаимосвязанными требованиями. Во-первых, водитель должен работать эффективно, т.е. используя эксплуатационные качества автомобиля. Во-вторых, при этом он не должен нарушать

требования безопасности движения, т.е. работать надежно. В простых дорожных условиях, когда отсутствуют помехи движению, работать быстро, эффективно и надежно могут многие водители. В сложных условиях работать эффективно могут лишь водители, отличающиеся достаточной надежностью» [15].

В соответствии с [15] «надежность водителя зависит от его профессиональной пригодности, подготовленности и работоспособности. Пригодность зависит от состояния здоровья водителя, его психофизиологических и личностных особенностей. Вредные для человека свойства вибрации были замечены сравнительно недавно. В последние годы проблема воздействия этого фактора приобрела исключительно важное значение и обусловила появление такого понятия, как вибрационная болезнь. Эта болезнь диагностируется, как правило, у водителей большегрузных многоосных автомобилей. Лица, подвергающиеся воздействию вибрации, чаще болеют сердечно-сосудистыми и нервными заболеваниями и обычно предъявляют много жалоб общесоматического характера» [15].

Согласно учебной литературе [15] «колебания автотранспортного средства в большинстве случаев формируются случайными в вероятностно-статистическом смысле кинематическими воздействиями от профиля дороги. Однако следует отметить, что колебания подрессоренной и непрессоренных частей автомобиля в какой-то степени, связаны с вибрациями, источниками которых могут являться: двигатель, трансмиссия, грузовая платформа, шины и другие агрегаты и механизмы автомобиля. Снижение уровня вибрации на путях ее распространения от источника возбуждения к телу человека удастся во многих случаях осуществить с помощью средств виброизоляции. Поэтому для обеспечения оптимальных условий выполнения водителем автотранспортного средства функциональных задач управления необходимо создание более эффективных систем виброзащиты».

Согласно учебной литературе [15] «одним из важнейших факторов, определяющих качество современных колесных машин, является эффективно функционирующая система поддрессоривания. Как известно, от характеристик колебаний автомобиля существенно зависят важные эксплуатационные свойства, такие как плавность хода, устойчивость, управляемость и т.д., которые влияют на средние скорости движения и производительность автомобиля, а также на сохранность перевозимых грузов и утомляемость водителя и пассажиров. Значение этих показателей повышается, если учесть особенности грузов, перевозимых многоосными автомобилями и высокие скорости движения по магистральным дорогам и местности для определенной группы многоосных автомобилей».

В соответствии с [16] «многоосные большегрузные автомобили характеризуются значительной податливостью несущих систем, повышенной склонностью к продольно-угловым колебаниям, однако относительно малым влиянием пробоев подвесок колес на ускорения поддрессоренной части. Одной из особенностей многоосных автомобилей является повышенная вибронегруженность экипажа. Это связано с особенностями компоновки и массово-геометрическими параметрами машины» [16].

В соответствии с [14] «При рассмотрении компоновки поддрессоренной массы многоосных автомобилей необходимо отметить, что у большинства из них центр тяжести автомобиля в загруженном состоянии совпадает с центром упругости. Это можно объяснить стремлением конструкторов максимально использовать несущую способность каждой оси автомобиля и обеспечить одинаковый статический прогиб всех рессор. Важным путем снижения вибронегруженности экипажа является использование систем вторичного поддрессоривания для отдельных элементов автомобиля – кабины, силовой установки, грузовой платформы. Установка кабины для водителя у многоосных автомобилей имеет специфические особенности. Среднеквадратичные вертикальные ускорения у переднего бампера, в месте

крепления кабин с экипажем, значительно выше ускорений в задней части несущей системы» [14].

Данные отчетов об испытаниях многоосных шасси и автомобилей многоцелевого назначения (НАМИ) показывают, что вертикальные ускорения в центре тяжести имеют тенденцию к снижению с возрастанием количества колесных осей, что согласуется с данными работы [11]. В то же время вертикальные ускорения на сиденьях экипажа не снижаются и имеют тенденцию к некоторому повышению с ростом количества осей.

Поэтому, наряду с использованием амортизации на шинах и применением систем подрессоривания колес автомобиля и сиденья водителя, необходимо введение в конструкцию колесных машин эффективно функционирующей системы подрессоривания кабины. Наряду с этим были замечены существенные различия в субъективных оценках водителями подвесок кабин. Многие водители предпочитают систему подвески кабины, обеспечивающую более высокий уровень «ощущения дороги». В настоящее время на грузовике SCANIA Griffin установлена четырёхточечная пневматическая подвеска кабины (рисунок 1.3). Эта пневмоподвеска поглощает даже малые вибрации и позволяет сохранять высоту положения кабины неизменной независимо от давления воздуха в результате движения автомобиля или неровного распределения груза в кабине.



Рисунок 1.3 - Четырёхточечная пневматическая подвеска кабины автомобиля SCANIA Griffin

Фирма MAN (Германия) разработала пневматическую систему поддрессоривания кабины для грузовика MAN F2000 Evolution с индивидуальным управлением каждого пневматического упругого элемента для компенсации отсутствия стабилизатора поперечной устойчивости (рисунок 1.4). Подвеска кабины полностью пневматическая, с индивидуальным управлением каждого пневматического упругого элемента, что по замыслу призвано компенсировать отсутствие стабилизатора поперечной устойчивости. Пневматические упругие элементы объединены с амортизаторами. Однако на плохих дорогах и при торможениях тяжелая кабина сильно раскачивается.

Фирма MERCEDES-BENZ (Германия) разработала пневматическую систему поддрессоривания кабины для грузовика MERCEDES-BENZ Actros 4141K 8×4 со стабилизатором. Кабина на пневмоподвеске имеет хорошее свойство – не раскачиваться в поворотах (рисунок 1.5).

Фирма RENAULT (Франция) разработала пневматическую систему поддрессоривания кабины для грузовика RENAULT MAGNUM 2005 с двумя наклонными амортизаторами (рисунок 1.6). Подвеска кабины, выполненная на четырех пневмоэлементах с двумя продольными тягами, стабилизатором поперечной устойчивости и тягой Панара, предоставляла комфорт, сравнимый с легковыми автомобилями. Горизонтальное положение пола обеспечивали три клапана, при этом допустимое отклонение составляло 50 мм. Давление воздуха в передних пневмоэлементах – 0,45 МПа, а в задних – 0,35 МПа.

В настоящее время пневматические системы поддрессоривания устанавливаются в подвесках кабин сельскохозяйственных колёсных тракторов MT500B TECHSTAR Features (рисунок 1.7).



Рисунок 1.4 - Пневматическая подвеска кабины автомобиля MAN F2000  
Evolution



Рисунок 1.5 - Пневматическая подвеска кабины MERCEDES-BENZ Actros  
4141K 8x4 со стабилизатором



Рисунок 1.6 - Пневматическая четырёхточечная подвеска кабины RENAULT  
MAGNUM 2005 с двумя наклонными амортизаторами



Кабина с двухступенчатой подвеской с пневматическими упругими элементами баллонного типа для сельскохозяйственных колёсных тракторов MT500B Techstar устанавливается по дополнительному заказу и обеспечивает оператору максимальный комфорт при работе. Пневмоподвеска кабины способна обеспечить оптимальный комфорт при различных условиях работы. Жесткость подвески для различных полевых или дорожных условий регулируется нажатием переключателя. Эта передовая конструкция кабины отмечена специальными наградами и позволяет с высокой степенью эффективности снижать низкочастотные вибрации, при этом использовано минимальное количество механических соединений между кабиной и трансмиссией, что улучшает шумоизоляцию кабины.

На отечественных автомобилях КАМАЗ 5460М установлена четырехточечная пневматическая подвеска кабины с кожухами резинового типа. Однако широкое внедрение систем пневматической амортизации для автомобилей в России сдерживается низкой эффективностью существующих конструкций.

Создание такой системы в первую очередь предполагает использование аналитических методов расчета и выбор оптимальных параметров системы поддрессоривания кабины и ее элементов с учетом характеристик автомобиля. Подвеска кабины должна отвечать самым разнообразным, часто противоречивым требованиям. Основные требования к системе поддрессоривания кабины многоосного автомобиля можно сформулировать следующим образом.

1. Обеспечение требуемого уровня вибронегруженности экипажа. Виброизоляция кабины во всем частотном диапазоне как в вертикальном, так и в поперечном и продольном направлениях.

2. Достаточная поперечная и продольная жесткость для уменьшения угловых колебаний кабины при трогании автомобиля с места и при резком торможении, а также для уменьшения крена кабины на повороте, при движении по кособогу и от действия бокового ветра.

3. Постоянный статический прогиб упругих элементов при изменении статической нагрузки.
4. Высокая энергоёмкость системы подвешивания.
5. Обеспечение заданного гарантированного ресурса работы.
6. Надежность связи кабины с рамой для обеспечения безопасности.
7. Низкая металлоёмкость и хорошая компоновка.
8. Минимальная стоимость разработки, изготовления, эксплуатации и ремонта.
9. Эффективность функционирования для различных условий эксплуатации.



Рисунок 1.7 - Двухрежимная (полевой и дорожный) пневматическая подвеска кабины колёсного трактора МТ500В TECHSTAR Features

Анализ особенностей компоновки и колебаний многоосных транспортных средств позволил выявить основные требования к типу упругого элемента подвески кабины.

Исследования показали, что вертикальные и поперечные колебания элементов несущей системы на местах установки кабины являются одним из основных факторов нагрузки экипажа во время движения шасси, а сочетание различных типов колебаний вызывает сложные пространственные движения

подрессоренной кабины. Поэтому, помимо работы в осевом, продольном и поперечном направлениях, пневматические элементы системы виброзащиты кабины должны работать в угловом направлении и для вращения вокруг центральной оси. Наряду с этим работа виброизолятора с РКО в системе подвески кабины должна быть в основном связана с колебаниями малой амплитуды, но в относительно широкой полосе частот, и сегодня есть все возможности для реализации согласованного взаимодействия между упругими и демпфирующими элементами кабины и шасси с использованием электроники.

Анализ возможных конструктивных решений подвески кабины показывает, что для системы вторичного подрессоривания кабин многоосных транспортных средств наиболее приемлемыми могут быть пневматические упругие элементы с РКО тороидного типа. Пневматические упругие элементы с РКО тороидного типа (рисунок 1.8) обладают способностью воспринимать нагрузки по всем трем направлениям, что дает возможность частично или полностью отказаться от направляющего устройства подвески кабины [9].

Наряду с этим вертикальная нагрузочная характеристика пневматических упругих элементов с РКО тороидного типа может в значительной степени варьироваться в зависимости от конфигурации поверхности металлоарматуры, с которой оболочка контактирует. Это дает возможность корректировать для имеющейся РКО нагрузочную характеристику с целью приближения её к оптимальной, для заданных условий [8, 9].

Подвеска кабины грузовиков является важным элементом в цепи систем, отвечающих за комфорт и безопасность водителя и автомобиля в целом. Разное назначение транспортных средств и разные рынки продаж способствуют расширению конструкций кабин, которые различаются по размерам, способам крепления и массе. При этом каждая конструкция

обычно требует индивидуальных решений по разработке систем подпрессоривания.

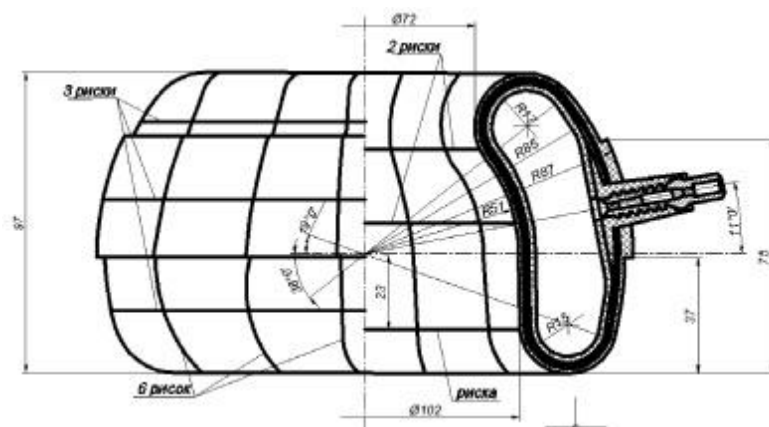


Рисунок 1.8 - Резино-кордная оболочка тороидного типа

## 2 Расчет узла пневмоподвески

### 2.1 Проверочный расчет амортизатора

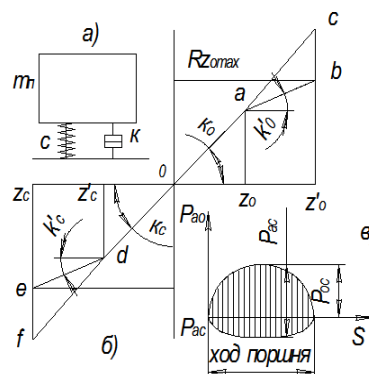
«В подвеске имеется два основных вида сопротивления движению поддрессорных и неподдрессорных масс – трения без смазочного материала и сопротивление, создаваемое амортизаторами. Трение без смазочного материала ухудшает плавность хода автомобиля; усилия меньше чем сила трения, передаются от колеса кузову жестко, без смягчения упругими элементами. Поэтому следует уменьшать трение без смазочного материала в подвеске и гашение колебаний осуществлять только с помощью амортизаторов» [3].

Уменьшение сопротивления при ходе сжатия связано со стремлением ограничить силу, передающуюся через амортизатор кузову при наезде колеса на препятствие.

Соотношение между коэффициентами сжатия и отбоя

$$K_c = 0,15 \div 0,25 \bar{K}_0 \quad (2.1)$$

Коэффициенты сопротивления в амортизаторе определяются по критическому коэффициенту затухания при колебании поддрессоренной массы на упругих элементах.



- а) колебательная система; б) характеристика амортизатора по скорости;  
в) – характеристики амортизатора по ходу

Рисунок 2.1 – Схема для расчета амортизатора и его характеристик:

Уравнение движения подрессоренной массы  $m_n$  при наличии вязкого трения.

$$m_n \ddot{z} + c\dot{z} + kz = 0 \text{ или } \dot{z} + \left(\frac{c}{m_n}\right)z + \left(\frac{k}{m_n}\right)\dot{z} = 0 \quad (2.2)$$

Обозначив

$$\left(\frac{c}{m_n}\right) = \omega_0^2 \text{ и } \left(\frac{k}{m_n}\right) = 2n \quad (2.3)$$

Получим следующее уравнение:

$$\ddot{z} + \omega_0^2 z + 2n\dot{z} = 0 \quad (2.4)$$

Частота свободных колебаний с вязким трением:

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - n^2} \quad (2.5)$$

Критическим затуханием  $K_{кр}$  называется затухание, при котором периодические колебания переходят в аperiodические, т.е.  $\omega = 0$ .

Тогда из формулы 2.3 имеем  $\omega_0^2 = n^2$ .

Подставив значения  $\omega_0$  и  $n$ , получим

$$\frac{c}{m_n}, \frac{k_{кр}}{2m_n} \quad (2.6)$$

Тогда

$$k_{кр} = 2\sqrt{cm_n} \quad (2.7)$$

При расчете автомобиля коэффициент сопротивления амортизатора:

$$k_{kp} = 0.5 \left( c_c + k_0 \right) \quad (2.8)$$

При этом относительный коэффициент аperiodичности

$$\psi_0 = \frac{k_p}{k_{kp}} \quad (2.9)$$

Доказано, что

$$\psi = 0,20 \div 0,30 \quad (2.10)$$

Расчет амортизатора включает построение характеристики амортизатора, определение его конструктивных размеров, параметров отверстий и клапанов.

Характеристика амортизатора выражает зависимость силы сопротивления от скорости поршня. Обычно это зависимость не линейно, но может быть представлена двумя прямыми. Характеристика собственно амортизатора отличается от характеристики демпфирования подвески.

Это отличие обусловлено типом направляющих устройств подвески и местоположением амортизатора (соотношение имеет наклон амортизатора). Если амортизатор установлен внутри пружины, то действительный коэффициент сопротивления амортизатора:

$$k_{од} = k_0 \left( \frac{\rho_1}{a^2} \right) \quad (2.11)$$

Основным конструктивным размером амортизатора является диаметр поршня  $d_p$ , который выбирается таким образом, чтобы наибольшее давление

жидкости, соответствующее максимальному усилию, передающемуся через амортизатор не выходило за рекомендуемые пределы (2,5-5,0 МПа), а температура нагрева амортизатора не превышало 1000 °С. При ходе сжатия когда поршень двигается вниз и шток водит в рабочий цилиндр, жидкость из-под поршня вытесняется в двух направлениях: в пространство под поршнем и в резервуар.

Объем жидкости, вытесненный поршнем, больше освобожденного пространства над поршнем на величину введенного объема штока.

Объем жидкости, составляющий разницу, перетекает через калиброванные отверстия клапана сжатия в компенсационную камеру. Давление жидкости практически одинаково над поршнем и под ним при малых скоростях. Разность площадей верхней и нижней поверхностей поршня равна площади штока  $A_{ш}$ .

Поэтому сила сопротивления сжатия:

$$R_{Z_{c\max}} = A_{ш} P_{c\max} \quad (2.12)$$

Жидкость, перетекающая при сжатии в компенсационную камеру, поднимает в ней общий уровень жидкости и повышает давление воздуха до 8-10 Па.

При ходе отбоя жидкость, вытесняемая из пространства под поршнем в пространство под ним, не может заполнить его целиком. Недостаток жидкости восполняется из компенсирующей камеры 3 через впускной клапан, имеющий малое сопротивление. При ходе отбоя давления жидкости в пространстве над поршнем действует на свободную площадь поршня, не занятую площадью штока.

Усилие сопротивления:

$$R_{Z_{c\max}} = (A_{ш} - A_{ш}) \rho_{0\max} \quad (2.13)$$



Диаметр штока в зависимости от диаметра поршня:

$$d_{ш} = 0,4 \div 0,5 \vec{d}_{п} \quad (2.14)$$

«С диаметрами штока и рабочего цилиндра тесно связаны размеры компенсационной камеры, которая должна вмещать определенный объем жидкости и воздуха для осуществления процесса рекуперации. При этом объем воздуха должен быть примерно в 3 раза больше объема штока при его полном ходе (чтобы не создавалось излишне высокое давление при работе и нагреве)» [2]

Конструктивная длина амортизатора:

$$\ell_a = 6 \div 5 \vec{d}_{п} \quad (2.15)$$

Существенную роль в надежной работе амортизатора играет уплотнение. Внутренняя полость уплотнения сообщается с компенсационной полостью, что позволяет разгрузить самоподвижный сальник от высоких давлений и обеспечить сброс в компенсационную полость рабочей жидкости, проникающей из цилиндра.

Место установки и крепления амортизатора определяется компоновкой подвески. Чтобы общая длина амортизатора не была слишком большой амортизатор обычно устанавливают примерно на половине длине рычага.

В подвеске с пружиной амортизатор расположен внутри пружины, что защищает его от случайных повреждений. Наклонное расположение и удаление от центра крена способствует наибольшей эффективности амортизаторов при гашении вертикальных, продольных и поперечных колебаний.

«Нормальными условиями осуществления рабочего процесса в амортизаторе считается отсутствие в жидкости, заполняющей рабочий цилиндр, воздушных включений. К основным причинам возникновения в

жидкости воздушных включений относят высокочастотные колебания, значительное сопротивление клапанов, взбалтывание жидкости и сопротивление ее с воздухом в компенсационной камере амортизатора» [2].

«Для предотвращения образования эмульсии в амортизаторах применяют однотрубные амортизаторы, которые находят все большее распространение. Особенностью таких амортизаторов является изоляция жидкости от сопротивления с воздухом про помощи резиновой оболочки компенсационной камеры. Однако осевое расположение компенсационной камеры несколько увеличивает длину амортизатора» [2].

На рисунке 2.1 б представлена несимметричная характеристика амортизатора двустороннего действия с разгрузочными клапанами. Включение этих клапанов происходит при скоростях поршня  $\dot{z}_0$  и  $\dot{z}_c$ , значение которых для современных автомобилей составляет около 30 см/с. Выбор коэффициентов сопротивления разгрузочных клапанов  $k'_0$  и  $k'_c$  производится из условия максимально допустимой вертикальной нагрузки  $R_{z_{0\max}}$  и  $R_{z_{c\max}}$  и максимальной скорости перемещения поршня лежащей в пределах 50-60 см/с.

Причем

$$R_{z_{0\max}} = \dot{z}_0 k'_0 \quad (2.16)$$

$$R_{z_{c\max}} = \dot{z}_c k'_c \quad (2.17)$$

«Когда относительная скорость колебаний при ходе отбоя  $\dot{z}_0$  и ходе сжатия  $\dot{z}_c$ , становится значительной, открываются загрузочные клапаны, имеющие меньшие коэффициенты сопротивления. Усилие нарастает соответственно по прямым  $a-b$  и  $d-e$ . Таким образом, регулировочные клапаны ограничивают нагрузки, передаваемые через амортизатор на кузов,

что необходимо при движении с резкими толчками и при движении зимой с непрогретой загустевшей смазкой жидкостью в амортизаторе» [2].

«Для измерения и оценки силы сопротивления амортизатора используют рабочую диаграмму рисунка 3.1 в, которая представляет собой зависимость силы сопротивления амортизатора от хода поршня при определенной частоте колебаний (обычно 1,5 Гц). Наибольшие значения сил сопротивления  $P_{ac}$  и  $P_{ac}$  на рабочей диаграмме имеют в середине хода поршня и соответствуют максимальной скорости его перемещения при данном режиме» [2].

Площадь проходных сечений  $f_c$  и  $f_0$  для рабочей жидкости

$$f_c = \frac{A_w^2}{k_c \mu_0} \sqrt{\frac{\gamma p_c}{2g}} \quad (2.18)$$

$$f_0 = \frac{A_{II} - A_{III}}{k_0 \mu_0} \sqrt{\frac{\lambda p_0}{2g}} \quad (2.19)$$

где  $\mu_0$  - коэффициент расхода, равный 0,60-0,75;

$\gamma$  - плотность жидкости;

$p_c$  и  $p_0$  - давления в полостях амортизатора;

$g$  - ускорение силы тяжести.

За основу расчета температуры рабочей жидкости берется уравнение теплового баланса.

$$\frac{N_t}{427} = k_t \times S_0 (t_0 - t_0) \quad (2.20)$$

где  $k_t$  - коэффициент теплоотдачи стенок в воздух;

$S_0$  - площадь поверхности стенок амортизатора;

$t, t_0$  - температура соответственно стенок амортизатора и окружающей среды;

$N_t$  - мощность, рассеиваемая амортизатором.

Для цилиндрической поверхности.

Найдем коэффициент теплоотдачи стенок в воздух:

$$k_t = \frac{3.4 v_n^{0.7}}{D^{0.3}} \quad (2.21)$$

где  $v_n$  - скорость потока воздуха.

$D$  - наружный диаметр амортизатора.

Принимаем, что скорость потока воздуха равна скорости автомобиля, а

$$k_t = \frac{3.4 \times 90^{0.7}}{40^{0.3}} = 26 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°С} \quad (2.22)$$

Мощность, рассеиваемая амортизатором, соответствует площади между ломанными прямыми  $Oab$  и  $Oad$  и с горизонтальной осью.

$$N_t = 0.5 \times P_0 + P_c \times v_p = 0.5 \times k_0 + k_{vc} \times v_p^2 \quad (2.23)$$

где  $k_0$  и  $k_c$  - коэффициенты сопротивления амортизатора при ходе отбоя и при ходе сжатия;

$P_0$  и  $P_c$  - сила при ходе отбоя и ходе сжатия.

Расчетная скорость поршня амортизатора

$$v_p = 20 \div 30 \text{ см/с} \quad (2.24)$$

Последняя цифра характеризует напряженный режим работы.

$$N_t = 0.5 \times (400 + 800) \times 25 = 40000 \quad (2.25)$$

Подставив найденные значения в формулу, найдем температуру стенок амортизатора.

$$t = \left( \frac{N_t}{427 k_t S_0} \right) + t_0 \quad (2.26)$$

$$t = \left( \frac{40000}{427 \times 26 \times 18840} \right) + 30 = 32^\circ C < 100^\circ C \quad (3.27)$$

Условие выполняется.

## 2.2 Расчет оси балки

Расчет на прочность балки оси 9693 из трубы 127 x 28 сталь 18 ХГТ при  $\sigma_t = 3600$  кк/см.

Основные параметры:

масса снаряженная - 6600 кг;

масса полная – 33000 кг;

распределение полной массы

на седельное устройство - 11000 кг;

на тележку - 22000 кг.

Примечание: для упрощения расчет ведется для полной массы.

Сила, действующая на опору балки оси

$$P_b = 0.25 G_k \times K_d \times K_{II} \quad (2.28)$$

где  $G_k$  – полная масса полуприцепа, приходящаяся на тележку,

$$G_k = 22000 \text{ кг};$$

$K_d$  – коэффициент динамичности, для грунтовых дорог  $K_d = 2,5$ ;

$$P_b = 0.25 \times 22000 \times 2,5 \times 1,8 = 24750 \text{кГ} \quad (2.29)$$

$K_n$  - коэффициент перераспределения нагрузки между опорами лыжи,

$$K_n = 1,8;$$

Боковая сила (возникает при заносе, повороте)  $P_a$

$$P_a = 0.25 G_k \times \varphi \quad (2.30)$$

где  $\varphi$  - коэффициент сцепления колеса с дорогой  $\varphi = 0,7$

$$P_a = 0.25 G_k \times 22000 \times 0,7 = 3850 \text{кГ} \quad (2.31)$$

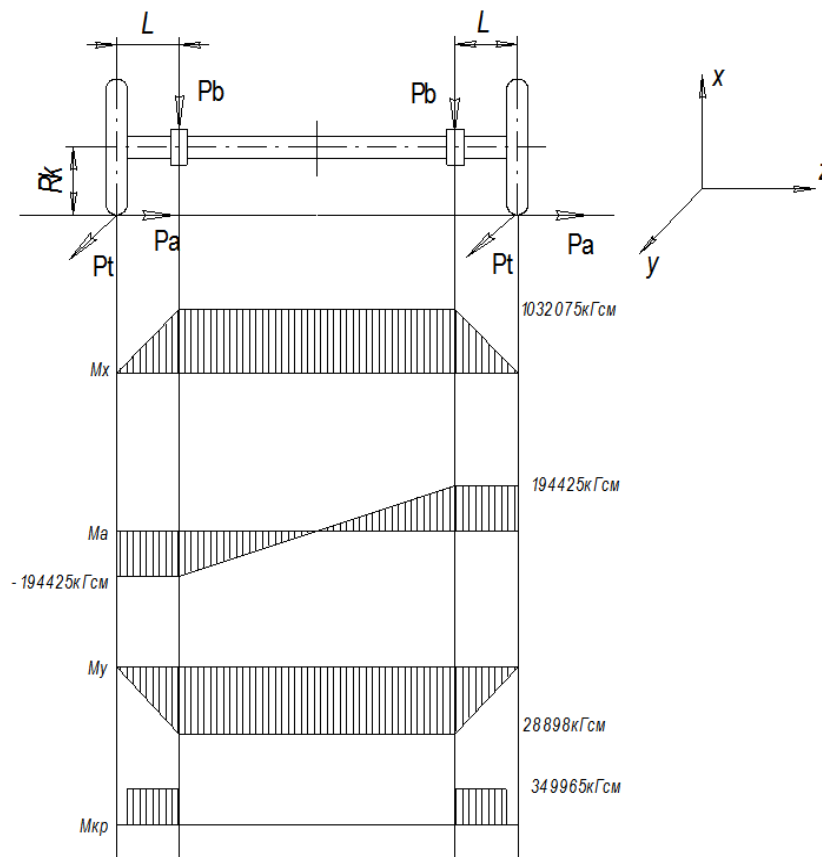


Рисунок 2.1 – Схема расчета тормозной силы

Тормозная сила находится по формуле

$$P_T = 0.25G_k \times K_{II} \times \varphi = 0,25 \times 22000 \times 1,8 \times 0,7 = 6930 \text{ кГ} \quad (2.32)$$

Расчетный момент

$$M_p = \sqrt{M_x + M_y + M_a + 0.75M_{кр}} \quad (2.33)$$

где  $M_x$  - изгибающий момент в вертикальной плоскости

$M_y$  - изгибающий момент в горизонтальной плоскости

$M_a$  - изгибающий момент при заносе, повороте

$M_{кр}$  - реактивный тормозной момент

$$M_x = P_b \times L \quad (2.34)$$

где  $L = 41.7 \text{ см}$  – расстояние от центра колес до центра опоры.

$$M_x = 224750 \times 41.7 = 1032075 \text{ кГ} \cdot \text{см} \quad (2.35)$$

$$M_y = P_t \times L = 6930 \times 41.7 = 288981 \text{ кГ} \cdot \text{см} \quad (2.36)$$

$$M_a = P_a \times R_k = 3850 \times 50.5 = 194425 \text{ кГ} \cdot \text{см} \quad (2.37)$$

где  $R_k = 50.5 \text{ см}$  – статический радиус колеса 11,00 R20

$$M_{кр} = P_t \times R_k = 6930 \times 50.5 = 349965 \text{ кГ} \quad (2.38)$$

$$M_p = 877263,75 + 245633,85 + 165261 + 0.75 \times 297470 = 961044 \text{ кГ} \cdot \text{см} \quad (2.39)$$

$$M_p = \sqrt{1032075 + 288981 + 194425 + 0,75 \times 349965} = 1333,4 \text{ кГ} \cdot \text{см} \quad (2.40)$$

Расчетный момент сопротивления балки оси

$$W_p = \frac{M_p}{\sigma_t} \quad (2.41)$$

где  $\sigma_t = 3600 \text{ кГ} \cdot \text{см}$  для стали 18 ХГТ партии № 1671, № 1712

$$W_p = \frac{1333,4}{3600} = 0,37 \text{ см} \quad (2.42)$$

Фактический момент сопротивления балки оси

Труба 127x28

$$W_\phi = \frac{3,14 \times D}{32} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right) \right] = \frac{3,14 \times 12,7}{32} \left[ 1 - \left( \frac{7,1}{12,7} \right) \right] = 0,549 \text{ см} \quad (2.43)$$

Коэффициент запаса прочности балки

$$K_{зан} = \frac{W_\phi}{W_p} = \frac{0,549}{0,37} = 1,48 \approx 1,5 \quad (2.44)$$

Вывод: балка оси имеет коэффициент запаса прочности  $K_{зан} = 1,5$  что достаточно для полной массы ППЦ-9693.



### 2.3 Расчет пневмоподвески

Схема расчета сил на кронштейне и на пневмобаллоне при движении прямо показана на рисунке 2.3.

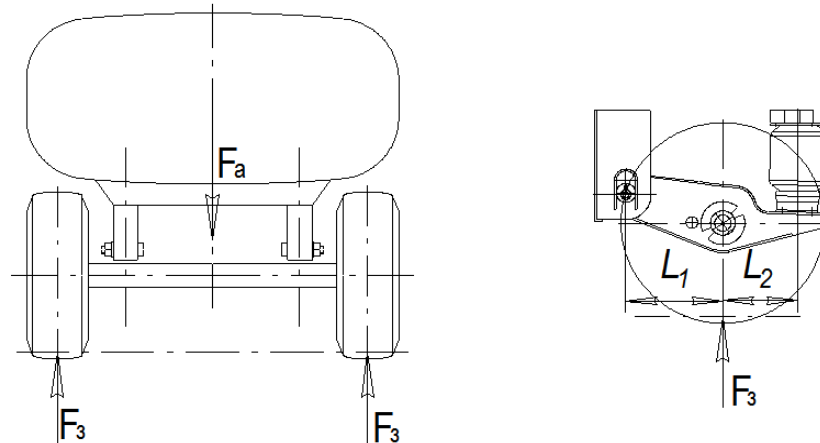


Рисунок 2.3 - Схема расчета сил на кронштейне и на пневмобаллоне

Полная масса цистерны  $m = 33000 \text{ кг}$  из них  $G_y = 11000 \text{ кг}$  на седельно цепное устройство и  $G_n = 22000 \text{ кг}$  на подвеску цистерны.

Учитывая то, что на все оси распределяется нагрузка не равномерно, принимаем на одну ось 50% и на остальные по 25%.

Нагрузка на одну ось.

$$G_o = 22000 \times 0.5 = 11000 \text{ кг} \quad (2.45)$$

Находим вес, давящий на ось:

$$F_A = G_o \times g \quad (2.46)$$

где  $F_A$  - вес, давящий на ось.

$G_o$  - нагрузка на одну ось.

$g = 9.81 \frac{M}{сек^2}$  - ускорение свободного падения

$$F_A = 11000 \times 9,81 = 129492 \text{ H} \quad (2.47)$$

Находим реакцию земли:

$$F_K = \frac{F_A}{2} = \frac{129492}{2} = 53955 \text{ H} \quad (2.48)$$

Находим силу на кронштейне подвески:

$$F_K = F_3 \times \frac{L_2}{L_1 + L_2} \quad (2.49)$$

где  $F_K$  – сила на кронштейне.

$F_3$  – реакция земли.

$L_1$  – переднее плечо (расстояние от оси кронштейна до оси колеса).

$L_2$  – заднее плечо (расстояние от оси пневмобаллона до оси колеса)

$L_1 = 500 \text{ мм}$ ,  $L_2 = 385 \text{ мм}$

$$F_K = \frac{385}{500 + 385} = 23472 \text{ H} \quad (2.50)$$

Находим силу на пневмобаллоне:

$$F_6 = F_3 \times \frac{L_1}{L_1 + L_2} \quad (2.51)$$

$$F_6 = 53955 \times \frac{500}{500 + 385} = 30483 \text{ H} \quad (2.52)$$

Схема расчета силы при торможении показана на рисунке 2.4.

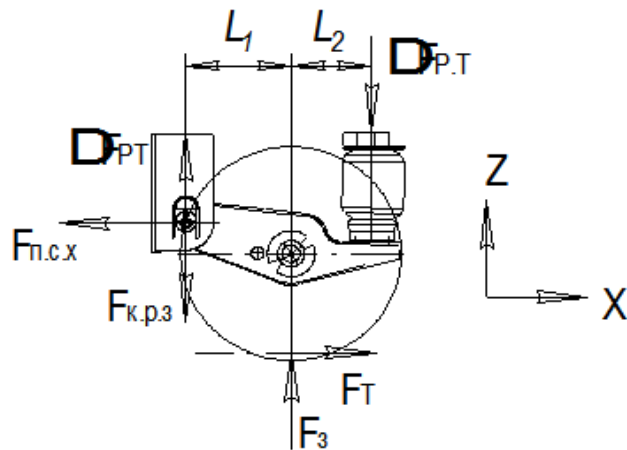


Рисунок 2.4 - Схема расчета силы при торможении

Нормальные силы загрузки оси:

$$F_{3.T} = \frac{F_A \pm \Delta F_A}{2}, \quad (2.53)$$

где  $F_{3.T}$  – реакция земли при торможении

принимаем  $\Delta F_A = 0$

$$F_{3.T} = \frac{107910}{2} = 53955H \quad (2.54)$$

Реакция земли на кронштейн:

$$F_{кр.з} = F_{3.T} \times \frac{L_1}{L_1 + L_2}, \quad (2.55)$$

$$F_{кр.з} = 53955 \times \frac{385}{500 + 385} = 23472H, \quad (2.56)$$

Реакция земли на пневмобаллон

$$F_{\text{б.п.з}} = F_{3.T} \times \frac{L_1}{L_1 + L_2}, \quad (3.57)$$

$$F_{\text{б.п.з}} = 53955 \times \frac{500}{500 + 385} = 30483H, \quad (3.58)$$

Рассчитаем силы торможения

$$F_T = \frac{z}{100} \times F_{3.T}, \quad (2.59)$$

где  $z$  – процент выполнения торможения  $\llcorner = 80\%$

$F_T$  – сила торможения

$$F_T = \frac{80}{100} \times \frac{53955}{64746} = 43164H \quad (2.60)$$

Сила тормозящего момента

$$\Delta F_{P.T} = \frac{F_T \times h_A}{L_1 + L_2}, \quad (2.61)$$

где  $h_A = 500 \text{ мм}$  высота отклонения по дорожной поверхности

$$\Delta F_{P.T} = \frac{43164 \times 500}{885} = 24386H \quad (2.62)$$

Полная сила на кронштейне по оси “X”

$$F_{\text{П.с.X}} = F_M \quad (2.63)$$

$$F_{П.с.X} = 43164 \text{ Н} \quad (2.64)$$

Полная сила на кронштейне по оси “Z”

$$F_{П.с.Z} = F_{кр.з} - \Delta F_{P.T} \quad (2.65)$$

$$F_{П.с.Z} = 23472 - 24386 = -914 \text{ Н} \quad (2.66)$$

Полная сила на воздушной подушке по оси “Z”

$$F_{б.с.Z} = F_{б.п.з.} + \Delta F_{P.T} = 30483 + 24386 = 54869 \text{ Н} \quad (2.67)$$

2.5. Схема расчета опрокидывания методом обхода показана на рисунке

Вычисление приближенное, не принимая неровность дороги.

Определим максимальную центробежную силу:

$$F_Q = \frac{F_A \times L_K}{h_S}, \quad (2.68)$$

где  $F_Q$  – центробежная сила.

$L_K = 2040 \text{ мм}$  – ширина колес.

$h_S = 2010 \text{ мм}$  – расстояние от дороги до центра цистерны.

$$F_Q = \frac{107910 \times 2040}{2010 \times 2} = 54760 \text{ Н}, \quad (2.69)$$

Рассчитаем силы на кронштейне.

$$F_{Ka} = \frac{F_A}{2} + \frac{F_Q \times h_e}{L_0}, \quad (2.70)$$

где  $F_{Ka}$  – поддерживающая сила внешнего кронштейна.

$h_e = 1357 \text{ мм}$  – высота от оси кронштейна до центра цистерны.

$L_0 = 1200 \text{ мм}$  – ширина пневмоподвески.

$$F_{Ka} = \frac{107910}{2} + \frac{54760 \times 1357}{1200} = 115879 \text{ Н}, \quad (2.71)$$

$$F_{K.в.к} = \frac{F_A}{2} - \frac{F_Q \times h_e}{L_0}, \quad (2.72)$$

где  $F_{K.в.к}$  – поддерживающая сила внутреннего кронштейна.

$$F_{K.в.к} = \frac{107910}{2} - \frac{54760 \times 1357}{1200} = -7989 \text{ Н} \quad (2.73)$$

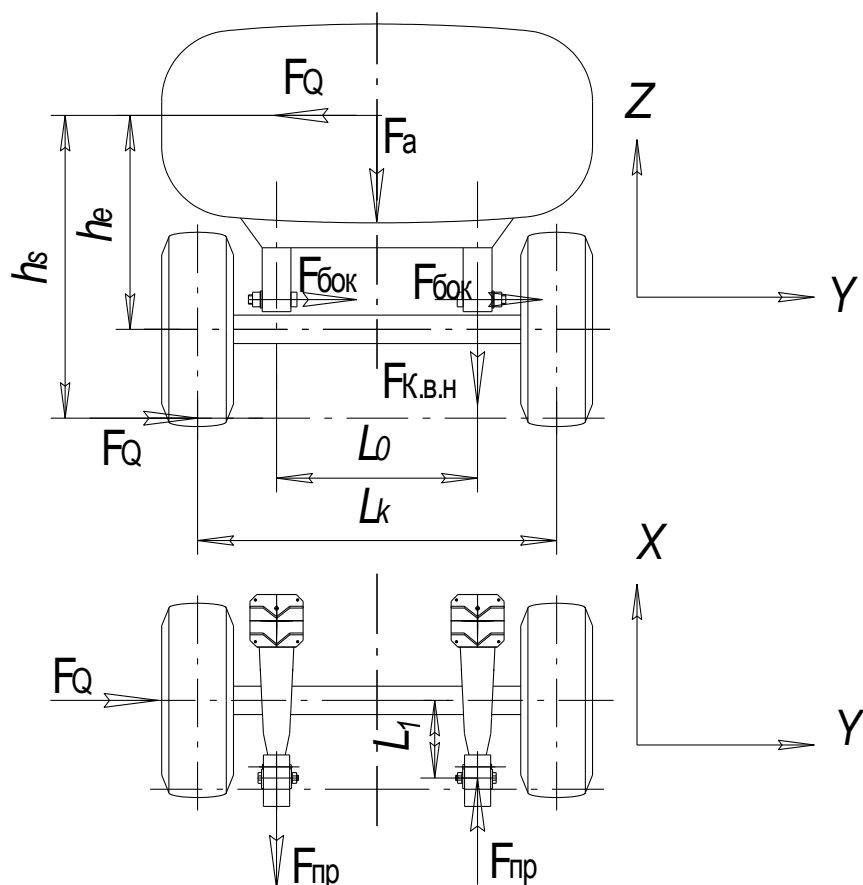


Рисунок 2.5 - Схема расчета опрокидывания методом обхода  
Находим боковую и продольную силу.

$$F_{бок} = \frac{F_Q}{2}, \quad (2.74)$$

где  $F_{бок}$  – боковая сила на кронштейне.

$$F_{бок} = \frac{54760}{2} = 27380H, \quad (2.75)$$

$$F_{пр} = \frac{F_Q \times L_1}{L_0}, \quad (2.76)$$

где  $F_{пр}$  – продольная сила на кронштейне.

$L_1 = 500 \text{ мм}$  – расстояние от оси балки до оси кронштейна.

$$F_{np} = \frac{54760 \times 500}{1200} = 228167H, \quad (2.77)$$

Схема расчета поворот на месте трехосной подвески показана на рисунке 2.6.

Происходит поворот по центральной оси.

Находим силы стороны на оси:

$$F_Q = F_A \times \mu_a \quad (2.78)$$

где  $\mu_a = 1.6$  – коэффициент скольжения при вращении.

$$F_Q = 107910 \times 1.6 = 172656 H \quad (2.79)$$

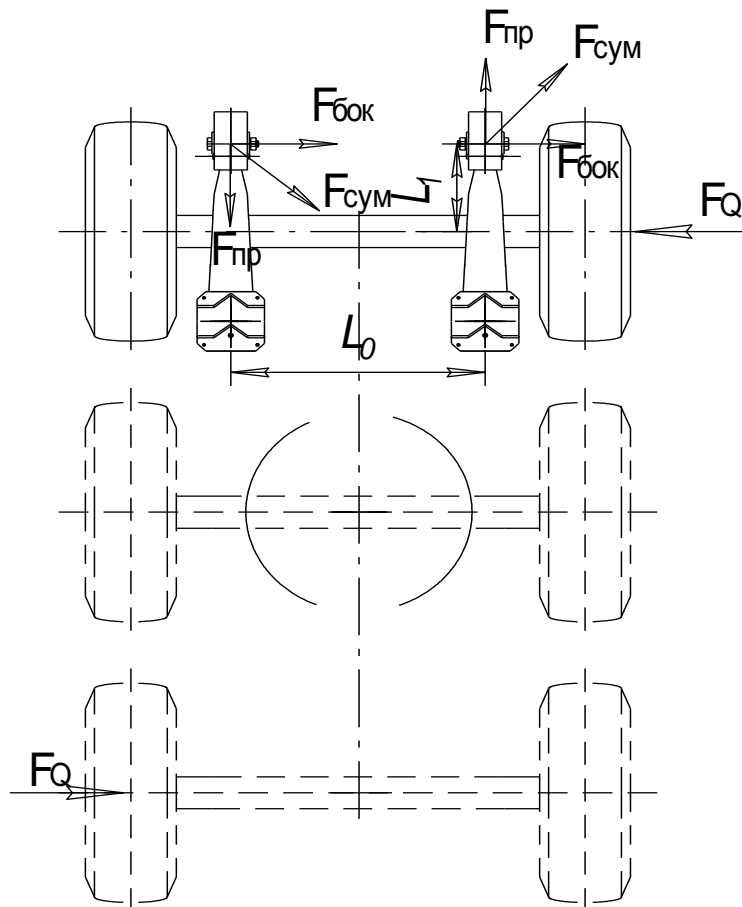


Рисунок 2.6 - Схема расчета поворот на месте трехосной подвески



Находим продольные силы на кронштейне:

$$F_{np} = \frac{F_1}{F_o} \quad (2.80)$$

где  $L_1 = 500 \text{ мм}$  – переднее плечо.

$L_2 = 1200 \text{ мм}$  – ширина опор.

Находим боковые силы на кронштейне:

$$F_{бок} = \frac{F_o}{2} \quad (2.81)$$

$$F_{бок} = \frac{172656}{2} = 86328 \text{ Н} \quad (2.82)$$

## 2.4 Расчет сварочных швов

Схема вычисления напряжения в сварном шве кронштейна показана на рисунке 2.7.

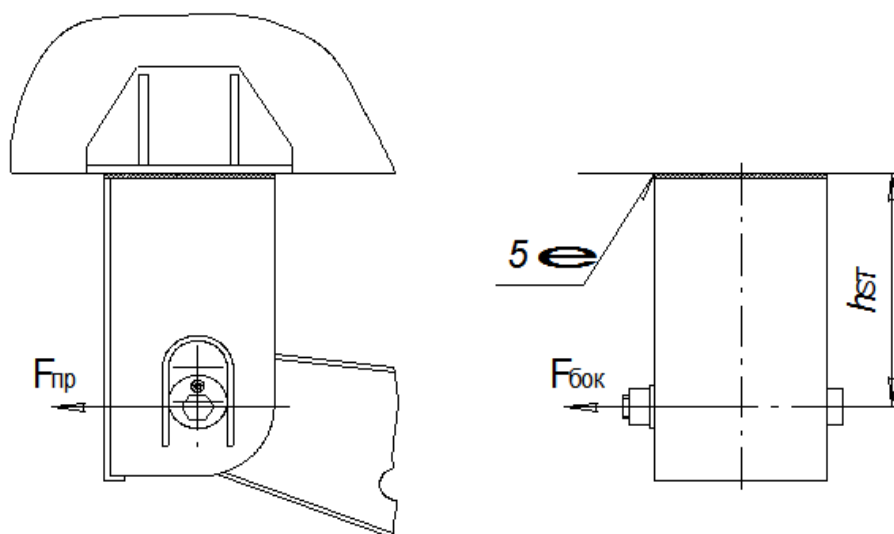


Рисунок 2.7 - Схема вычисления напряжения в сварном шве  
кронштейна

Вычислим изгибающие моменты на кронштейне:

$$M_{u.x.} = F_{np} h_{st} \quad (2.83)$$

$$M_{u.y.} = F_{бок.} h_{st} \quad (2.84)$$

где  $h_{st} = 442$  мм высота кронштейна

$F_{np}$ ,  $F_{бок.}$  – продольные и боковые силы на кронштейне.

$$M_{u.x.} = 71940 \times 442 = 31797480 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (2.85)$$

$$M_{u.y.} = 86328 \times 442 = 38156976 \text{ Н} \cdot \text{мм}. \quad (2.86)$$

Изгибающее напряжение.

$$\sigma_{u.x.} = \frac{M_{u.x.}}{W_x} \quad (2.87)$$

$$\sigma_{u.y.} = \frac{M_{u.y.}}{W_x} \quad (2.88)$$

где  $W_x, W_y$  – момент сопротивления.

Сечение сварки корытное и моменты сопротивления.

$$V_o = \frac{bh_1^2 + 2b_1h_1(h_1 + h)}{2(h_1 + 2b_1h)} \quad (2.89)$$

где  $b = 174$  мм – ширина кронштейна.

$b_1 = 5\text{мм.}$  – ширина сварки.

$$h_1 = b_1$$

$$h_1 = 5\text{мм}$$

$$h = 290\text{мм}$$

$$V_o = \frac{174 \times 5^2 + 2 \times 5 \times 290 \left( \frac{5 + 290}{2} \right)}{2 \left( 74 \times 5 + 2 \times 5 \times 290 \right)} = \frac{874350}{7540} = 116\text{мм} \quad (2.90)$$

Момент инерции

$$J_x = \frac{bh_1^3 + 2b_1h^3}{12} + bh_1 \left( V_o - \frac{h_1}{2} \right)^2 + 2b_1h \left( \frac{h}{2} + h_1 - V_o \right)^2 \quad (2.91)$$

$$J_x = \frac{174 \times 5^3 + 2 \times 5 \times 290^3}{12} + 174 \times 5 \left( 116 - \frac{5}{2} \right)^2 + 2 \times 5 \times 290 \left( \frac{290}{2} + 5 - 116 \right)^2 = \quad (2.92)$$

$$= 16594186.67\text{мм}^4$$

$$W_x = \frac{J_x}{h + h_1 - V_o} \quad (2.93)$$

$$W_x = \frac{16594186.67}{290 + 5 - 116} = 92705\text{мм}^3 \quad (2.94)$$

$$W_y = \frac{\left( \frac{h}{2} + h_1 \right) b^3 - h \left( \frac{h}{2} - 2b_1 \right)^3}{68} \quad (2.95)$$

$$W_y = \frac{\left( \frac{290}{2} + 5 \right) 174^3 - 290 \left( \frac{74}{2} - 2 \times 5 \right)^3}{6 \times 174} = \frac{1554067080 - 1279173760}{1044} = 263308\text{ мм}^3 \quad (2.96)$$

$$\sigma_{u.x} = \frac{31797480}{92705} = 343\text{Н/мм}^2 \quad (2.97)$$

$$\sigma_{u,y} = \frac{38156976}{263308} = 145 \text{ H/мм}^2 \quad (2.98)$$

Приближенно рассчитаем максимальное напряжение

$$\sigma_{u,\max} = \sigma_{u,x} + \sigma_{u,y} \quad (2.99)$$

$$\sigma_{u,\max} = 343 + 145 = 488 \text{ H/мм}^2 \quad (2.100)$$

Определим силы толчка

$$F_{T.ch.} = \sqrt{F_{np}^2 + F_{бок}^2} \quad (2.101)$$

$$F_{T.ch.} = \sqrt{719402^2 + 86328^2} = 112374 \text{ H} \quad (2.102)$$

Находим напряженность толчка

$$\tau = \frac{F_{T.ch.}}{A} \quad (2.103)$$

где  $A = 3770 \text{ мм}^2$  – площадь сварного шва.

$$\tau = \frac{112374}{3770} = 30 \text{ H/мм}^2 \quad (2.104)$$

Находим напряженность сравнения

$$\sigma_v = 0.5 \left( \sigma_{u,\max} + \sqrt{\sigma_{u,\max}^2 + 4\tau^2} \right) \quad (2.105)$$

$$\sigma_v = 0.5 \left( 88 + \sqrt{488^2 + 4 \times 30^2} \right) \approx 490 \frac{H}{\text{мм}^2} \quad (2.106)$$

Развитую напряженность можно уменьшить добавлением косынки между кронштейном и поперечной балкой рамы, тем самым, увеличивая коэффициент запаса прочности.

Расчет сварного шва опоры кронштейна поднимающей оси проводим по схеме на рисунке 2.8.

Рассчитаем сварной шов в нахлест, катет шва  $k=5\text{мм}$ , длина шва  $L_0=236\text{мм}$ .

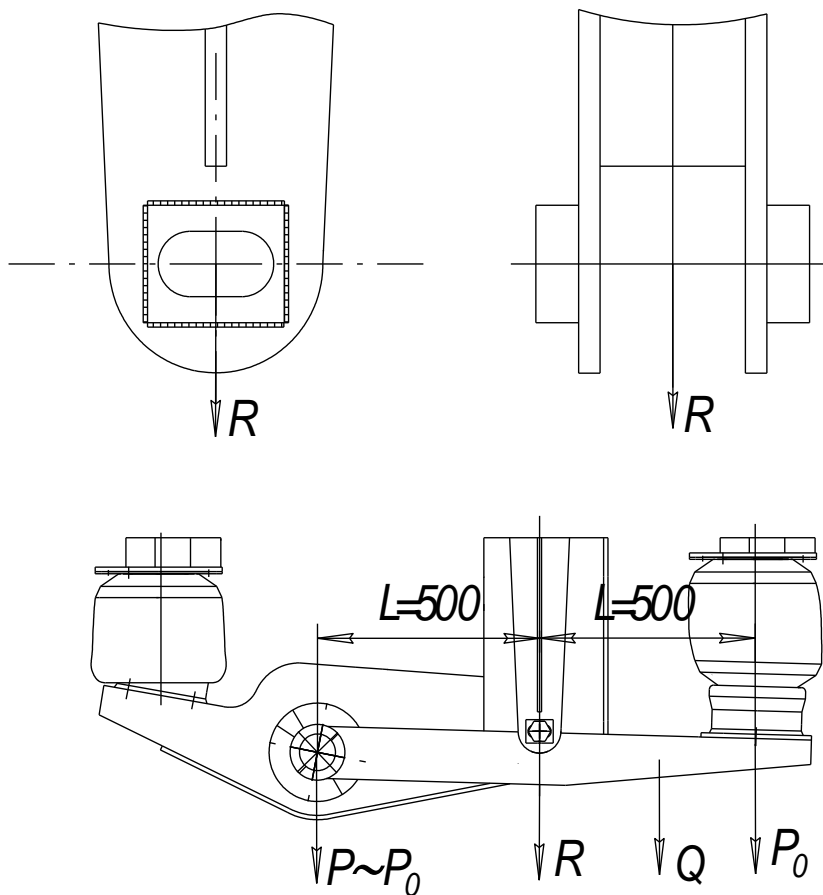


Рисунок 2.8 - Схема расчета сварного шва опоры кронштейна поднимающей оси

$$r = \frac{R}{0.7kL_0} \leq \mathbf{r}^- \quad (2.107)$$

где  $k$  – катет шва

$L_0$  – общая длина шва

$R$  – действующая нагрузка

$\tau_{\text{доп}} = 110 \text{ МПа}$  – допустимое напряжение сдвига.

Вес, давящий на коромысло с правой стороны

$$P_0 = m_0 g \quad (2.108)$$

Общая масса

$$m_0 = m_{\text{ось}} + 2m_{\text{к}} + 2m_{\text{л}} \quad (2.109)$$

где  $m_{\text{ось}} = 450 \text{ кг}$ , масса оси балки со ступицами;

$m_{\text{к}} = 100 \text{ кг}$ , масса колеса;

$m_{\text{л}} = 55,7 \text{ кг}$ , масса лыжи.

$$m_0 = 450 + 2 \times 100 + 2 \times 55,7 = 761,4 \text{ кг} \quad (2.110)$$

$$P_0 = 761,4 \times 9,8 = 7461,72 \text{ Н} \quad (2.111)$$

Вес, давящий с левой стороны коромысло, так как плечи коромысла одинаковые то  $P_1 \approx P_0$ , отсюда получим:

$$R = P_0 + P_1 = 2P_0 + Q \quad (2.112)$$

$$Q = M_{\text{кор}} \times g = 3,54 \times 9,8 = 34,69 \text{ Н} \quad (2.113)$$

где  $m_{\text{к}} = 3,54 \text{ кг}$  – масса коромысла

$$R = 2 \times 7461,72 + 34,69 = 14958,13 \text{ Н} \quad (2.114)$$

$$\tau = \frac{14958.13}{0.7 \times 5 \times 236} = 18 \text{ МПа} < 10 \bar{\text{МПа}} \quad (2.115)$$

Условие выполняется.

## 2.5 Расчет высоты подъема колеса

Схема расчета высоты подъема заднего колеса от поверхности дороги показана на рисунке 2.9.

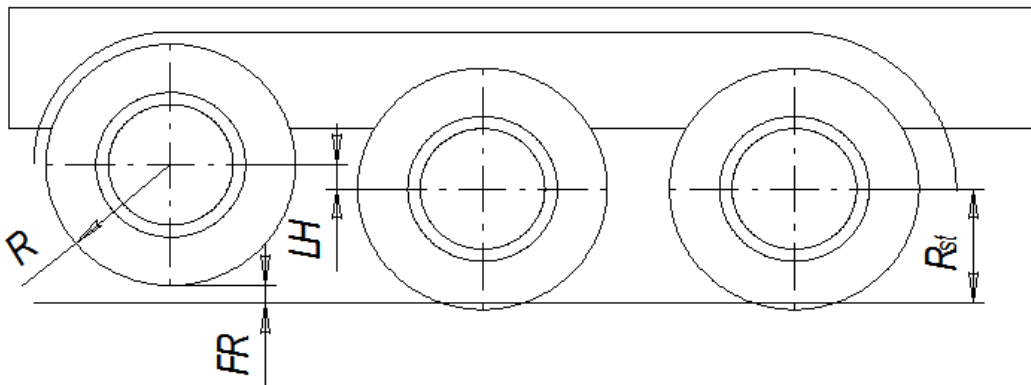


Рисунок 2.9 - Схема расчета высоты подъема заднего колеса от поверхности дороги

$$H = h - R_k - R_{cm} \quad (2.116)$$

где  $H$  – высота подъема колеса от поверхности земли;

$h$  – высота подъема оси относительно других осей.

$R_k$  – радиус колеса.

$R_{cm}$  – статический радиус колеса.

$$H = 80 - \left( \frac{25}{2} - 505 \right) \approx 60 \text{ мм} \quad (2.117)$$

### **3 Описание конструкции пневмоподвески**

#### **3.1 Описание узла пневмоподвески**

Ходовая часть полуприцепа-цистерны состоит из трех осей. Каждая ось оснащена пневмоподвеской, одна из осей (задняя) поднимающаяся. Пневмоподвеска состоит из пневмобаллона, лыжи, кронштейна, кронштейна упорного, оси.

Пневмобаллон закреплен основанием к лыже двумя болтами Ø16, вершиной к упорному кронштейну четырьмя болтами Ø12 последний в свою очередь приварен к продольной балки рамы.

В качестве пневмобаллонов принимаем уже показавшие себя в работе бочковые баллоны. Их характерной чертой выдающаяся пружинность и большие прогибы. Применение особо прочных материалов и прекрасная обработка гарантируют высокую долговечность.

Плунжерные стены, поперечина и зажимная плита получили оптимальную форму и отлично защищены от коррозии.

Резиновый буфер-амортизатор внутри ограничивает опускание шасси, гарантирует хорошие качества в случае аварии. Прогиб вверх ограничивается самим пневмобаллоном. Тормозные каналы, как правило, не употребляются.

Пневмобаллон как пружинящий элемент пневматической системы принимает нагрузку только в вертикальном направлении.



Вся система управляется, по меньшей мере, одним пневматическим клапаном, питание она получает от пневматического тормоза. Пневматический пружинный клапан, системой тяг и рычагов расположена горизонтально и таким образом поток воздуха к баллону не прерывается

Давление пневмобаллона, зависящие от изменения нагрузки, подключено к системе регуляции тормозной силы в зависимости от веса груза, осуществляющиеся автоматически. Таким образом, гарантируется тонко дозируемая регуляция не ступенчатого торможения.

Пневматическая амортизация базируется на сжимаемости воздуха. Заключенный в пневмобаллоне воздух – это пружинящий элемент. Различные нагрузки пневматической системой выравниваются нажимом различной силы на пневмобаллоны. Высота пневмобаллонов и соответственно расстояние между кузовом и шоссе остается приблизительно постоянным.

Лыжа крепится к кронштейну для гашения крутильных колебаний при помощи гасителя крутильных колебаний.

Гаситель крутильных колебаний состоит из основания, резинового гасителя, оси.

Кронштейн приварен к продольной балки. Для регулирования межосевого расстояния и параллельности осей кронштейн имеет паз, и ось гасителя закреплен при помощи эксцентриковой шайбы.

Для гашения вертикальных положении подвеска оснащена амортизатором. Для увеличения долговечности амортизатор расположен наклонно так как в наклонном положении поршень перемещается с меньшей скоростью и нагрев невелик.

Ось пневмоподвески приварен к лыжам и состоит из тормозной системы барабанного типа.

Тормозная система состоит из ступицы установленной на цапфу оси при помощи двух конических подшипников регулируемый регулировочными шайбами и фиксируемый чашками. Барабан тормоза закреплен к ступице при

помощи штифтовых болтов. Колодки установлены подвижно с одним концом на осях колодки, а другим концом через ролик упираются на разжимной кулак, колодки в нерабочем состоянии фиксируются при помощи четырех пружин.

Ось колодки запрессован на суппорте тормоза.

Суппорт тормоза закреплен при помощи болтов на фланец оси балки и выполняет несущую функцию тормозных колодок.

Кулак разжимной установлен при помощи втулки на суппорт тормоза и приводится в движение через регулировочный рычаг пневматической тормозной камеры.

Задняя поднимающаяся ось для поднятия оснащена коромыслом, кронштейном и пневмобаллоном.

С одной стороны коромысло приварено по центру к оси, а с другой стороны на него закреплен пневмобаллон при помощи болтов к упорному кронштейну, последний в свою очередь приварен к поперечине рамы.

Поднимающаяся ось приводится в движение при помощи перераспределения давления на пневмобаллонах.

Воздух в систему подвески берется из тормозной системы.

Для предотвращения самопроизвольного откатывания прицепления и отцепления, а также при отцепленном состоянии полуприцепа – цистерны первые две оси оснащены механическим стояночным тормозом. Приводимое в движение при помощи рукоятки винтовой пары и троса. Рукоятка с винтовой парой закреплены к раме перед ходовой частью. Для равномерного распределения нагрузки приводные рычаги при помощи троса и переднего рычага закреплены зависимыми друг от друга.

### **3.2 Система автоматического управления пневмоподвеской**

Управление пневмоподвеской.

Клапан положения кузова 464 006 100 0 показан на рисунке 3.1.

Назначение. Регулировка давления пневмобаллона в зависимости от расстояния между шасси и остью. Клапан положения кузова 464 006 100 0

имеет дополнительный 3/2 ходовой клапан, который закрывается при достижении рычагом определенного настроенного угла и при дальнейшем срабатывании рычага переходит в режим сброса воздуха. С помощью этого «ограничения высоты» предотвращается подъем автомобиля выше допустимого уровня, используя кран ручного управления.

Принцип действия.

При увеличении загрузки кузов автомобиля с закрепленным в нем клапаном положения кузова опускается вниз. Связь, имеющаяся между осью автомобиля и клапаном положения кузова, поворачивает рычаг (f), а с ним направляющую (d) и эксцентрик (e) вверх. Толкатель, расположенный на направляющей, открывает при этом выпускной клапан (b). Сжатый воздух, попадающий в механизм из накопительного ресивера через вывод 1 и обратный клапан (a), может пройти теперь через выходы 21 и 22 к пневмобаллонам. Чтобы ограничить до минимума расход воздуха, поперечное сечение для его прохода изменяется в соответствии с величиной отклонения рычага в двух положениях с помощью расточенного отверстия в толкателе, имеющего форму канавки.

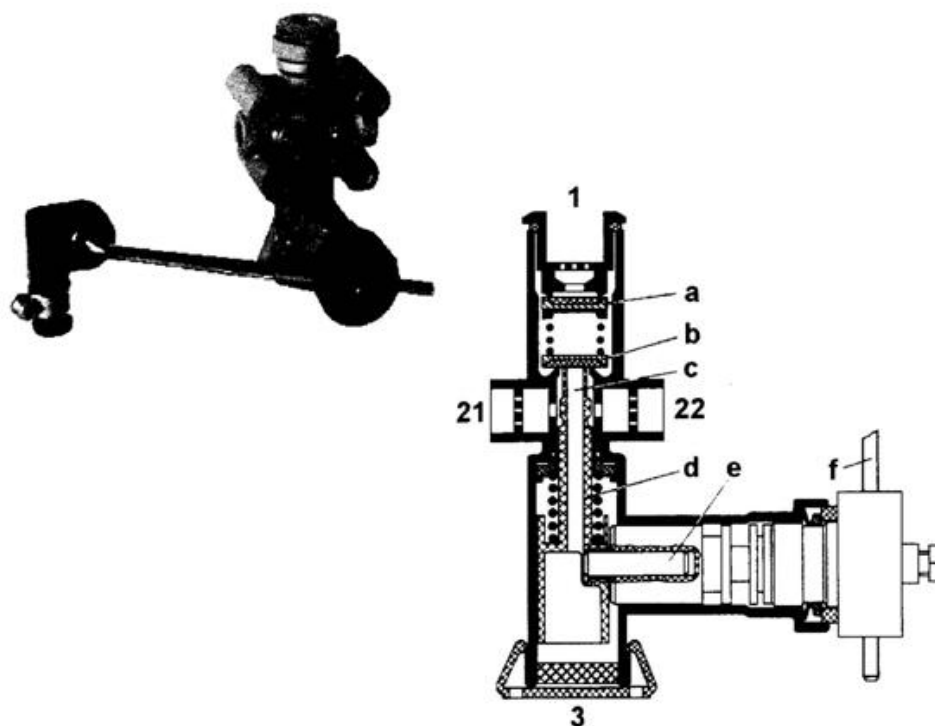


Рисунок 3.1 - Клапан положения кузова 464 006 100 0

Положение закрытия клапана достигается с помощью подъема кузова автомобиля при заполнении воздухом пневмобаллонов и закрытия впускного клапана (b), управляемого рычагом (f). В этом положении выходы 21 и 22 связаны друг с другом с помощью поперечного дросселя.

При загрузке автомобиля процесс протекает в обратной последовательности. Теперь кузов автомобиля приподнимается под воздействием слишком сильного давления в пневмобаллонах, поворачивая рычаг (f) с эксцентриком (e). Направляющая (d) перемещается вниз. Толкатель опускается с седла на впускной клапан (b) таким образом, что избыточный сжатый воздух из пневмобаллонов может выйти в атмосферу через отверстия для сброса воздуха (c) в толкателе через отверстие 3. В процессе опускания кузова автомобиля рычаг возвращается (f) обратно в нормальное горизонтальное положение.

При закрытии отверстия для сброса воздуха (с) и посадке толкателя на впускной клапан (b) клапан положения кузова снова находится в положении равновесия.

Кран ручного управления т463 032 показан на рисунке 3.2.

Назначение.

Управление подъемом и опусканием шасси автомобиля или прицепа, ходовых частей сменных грузовых платформ и полуприцепа с пневмоподвеской (подъемное приспособление).

Принцип действия.

В положении рукоятки «расторжено» по подъемное приспособление отключено. Кран ручного управления создает свободный проход для сжатого воздуха между клапанами положения кузова (вывода 21 и 23) и пневмобаллонами (выводы 22 и 24).

Кроме того, механизм обеспечивает четыре других фиксированных положения рукоятки, в которых можно осуществить необходимую для подъема и опускания подачу и сброс воздуха в пневмобаллонах.

Для подъема шасси рукоятка выводится из паза и переводится в положение «Heben» (Подъем), когда выводы 21 и 23 перекрываются, а пневмобаллоны (22 и 24) соединяются с накопительным ресивером через вывод 1.

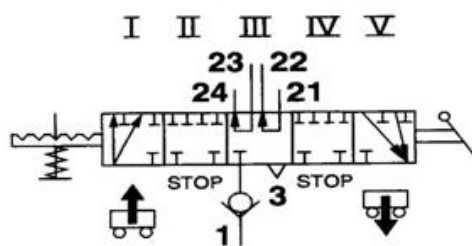


Рисунок 3.2 - Кран ручного управления т463 032

После достижения необходимой высоты рукоятку нужно перевести в заключительное положение «Stop» (Стоп). В этом положении выходы клапанов положения кузова 21 и 23 соединяются с отверстием для сброса воздуха 3, а выходы пневмобаллонов 22 и 23 перекрыты. Теперь можно выдвинуть опоры грузовой платформы автомобиля. Затем в положении рукоятки «Senken» (Опускание) необходимо отпустить шасси до нормального уровня на опоры контейнера или сменной платформы. Как и в положении «Heben» (Подъем) выходы 21 и 23 тоже перекрываются. Из пневмобаллонов (22 и 24) осуществляется сброс воздуха через отверстие 3.

Заканчивать этот процесс нужно переключением рукоятки в заключительное положение «Stop» (Стоп). Теперь осуществляется сброс воздуха из накопительного ресивера через выходы 21 и 23, а выходы 22 и 24 перекрыты. После выезда шасси нужно снова переключиться на регулировку уровней при помощи крана положения кузова, переводя рукоятку в положение «расторжено».

### **3.3 Система электронного управления пневмоподвеской**

ECAS – Система электронного управления пневмоподвеской для грузовых транспортных средств, которая выполняет многочисленные функции. За счет применения электронного управления система пневмоподвески может быть значительно улучшена:

Снижение расхода воздуха во время движения.

Различные уровни (например, высота рамп) могут поддерживаться постоянными за счет автоматического управления.

Установка пневмосистемы упрощается, уменьшается длина магистралей.

Такие дополнительные функции, как запоминание различных уровней, компенсация проседания шин, защита от чрезмерной загрузки транспортного средства, помощь при трогании и управление подъемной осью, легко поддаются реализации.

За счет больших сечений клапанов ускоряется процесс подачи и сброса воздуха.

Удобство и безопасность при применении пульта управления.

За счет программирования параметров электронного блока появляется дополнительная гибкость в выборе конфигурации системы.

Удобство в обслуживании и диагностике.

В отличие от механической системы управления пневмоподвеской, управление ECAS осуществляется электронным блоком, который в зависимости от показаний датчиков перемещения выдает управляющий сигнал на магнитный клапан.

Наряду с поддержанием постоянного транспортного положения электронный блок вместе с пультом управления позволяет выполнить функции, которые в обычной пневмоподвеске можно реализовать лишь с помощью дополнительных клапанов.

Пример системы, полуприцеп без подъемной оси показан на рисунке 3.4.

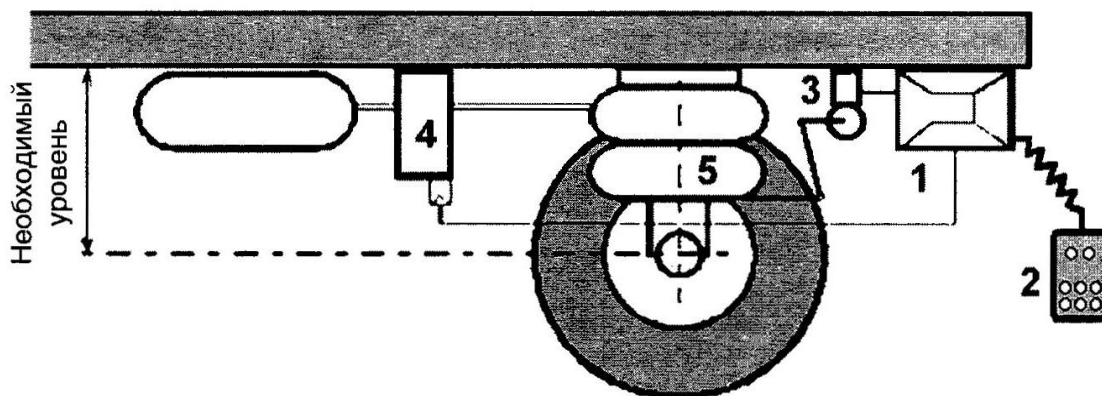


Рисунок 3.4 – Система электронного управления полуприцеп без подъемной оси

Система электронного управления полуприцеп без подъемной оси состоит из:

- электронного блока;
- пульта управления;
- датчика перемещения;
- магнитного клапана;
- пневмобаллона;

ECAS позволяет реализовать дополнительные функции. Системой ECAS могут оснащаться всевозможные прицепы на любых этапах их производства. ECAS работает только при включенном зажигании. На прицепах питание осуществляется от системы ABS. Помимо этого система ABS выдает для ECAS так называемый сигнал СЗ – информация о текущей скорости транспортного средства.

Для того чтобы имелась возможность управлять электронной пневмоподвеской на прицепе, не сцепленном с тягачом, необходим дополнительный аккумулятор.

Описание работы системы.

Датчик перемещения 3 постоянно замеряет положение по высоте транспортного средства и передает значения электронному блоку 1. Если



электронный блок определяет отклонение от необходимого уровня, то подается сигнал на магнитный клапан 4 для приведения транспортного средства в необходимое положение.

Посредством пульта управления 2 можно при движении не выше определенной скорости (при остановке) изменять положение транспортного средства по высоте (например, при загрузке у рампы).

Горящая сигнальная лампа будет информировать об отклонении от транспортного положения.

Схема подключения базовой системы показана на рисунке 3.5.

Мигание сигнальной лампы говорит об ошибке в системе, распознанной электронным блоком.

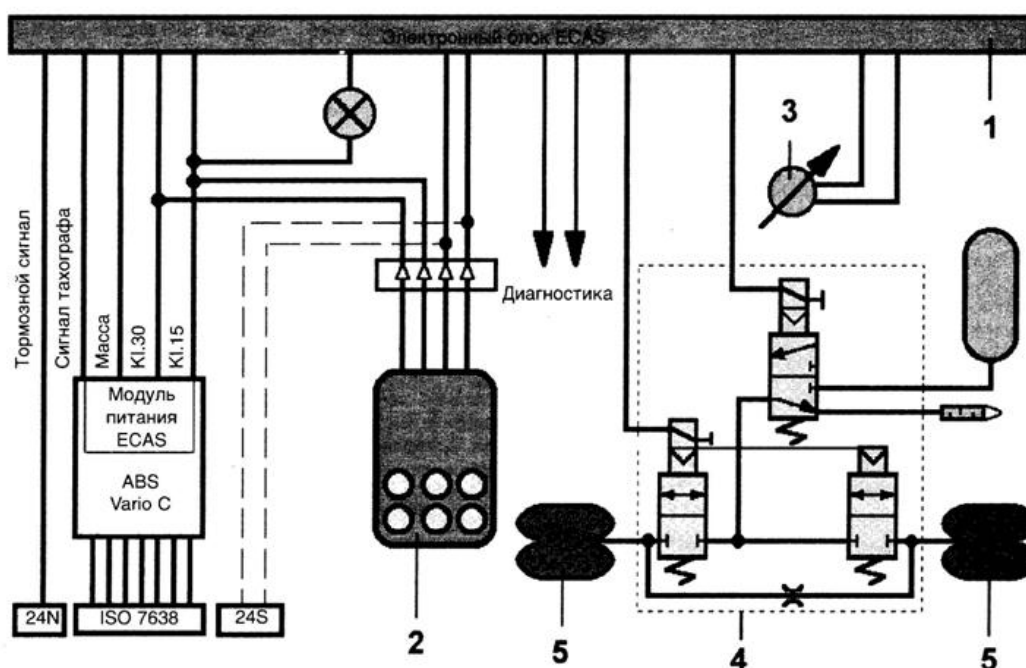


Рисунок 3.5 - Схема подключения базовой системы

Схема подключения базовой системы включает в себя:

- электронный блок;
- пульт управления;
- датчик перемещения;
- магнитный клапан;
- пневмобаллон;
- электронный блок ECAS 446 055...0;

- электронный блок управления.

Электронный блок управления является основной частью системы. В автомобиле он соединяется при помощи 35 или 25 контактного разъема с составляющими системы. Блок управления размещается в кабинете водителя.

Электронный блок ECAS для прицепов имеет коммуникационную плату с несколькими штекерами, к которой подключены составляющие элементы системы. Он размещен в специальном защитном корпусе и крепится на раме прицепа. С помощью данного электронного блока можно реализовать множество вариантов конфигурации системы. Для датчиков перемещения, датчиков давления и блоков магнитных клапанов предусмотрено место для подключения. Подключенные кабели выводятся из корпуса через боковые отверстия.

Принцип работы.

Электронный блок имеет в своем составе микропроцессор, который обрабатывает лишь цифровые сигналы. К процессору подключен блок памяти. Магнитные клапаны и сигнальная лампа подключены через конечный каскад.

Функциями электронного блока является:

- постоянный контроль за входящими сигналами;
- перевод сигналов в цифровой вид;
- сравнение полученных значений сигналов с заданными;
- в случае отклонения от заданного значения расчет необходимого сигнала управления;
- управление магнитными клапанами.

Дополнительные функции электронного блока:

- сохранение и обработка данных;
- обмен данными с пультом управления и диагностикой приборов;
- постоянный контроль за работой всех составляющих системы;
- контроль состояния загрузки (системы с датчиком давления) ;
- распознавание ошибок.

Для быстрого реагирования на отклонение от заданных значений микропроцессор постоянно обрабатывает программу. Одной обработки программы достаточно для выполнения всех вышеназванных функций. Данная программа записана в постоянную память. Она периодически обращается к данным, сохраненным в памяти. Эти данные влияют на расчет и, далее, на управляющий сигнал от электронного блока. С этими данными в программу передаются параметры калибровки, конфигурации системы и другие.

Магнитные клапаны.

Для системы ECAS были разработаны специальные блоки магнитных клапанов. Благодаря соединению нескольких магнитных клапанов в один компактный блок значительно снизились их размеры и затраты на их подключение.

Управляемые электронным блоком как исполнительным элементом магнитные клапаны преобразуют напряжение в процесс подачи или сброса воздуха, т.е. повышают, снижают или поддерживают объем воздуха в пневмобаллонах.

Чтобы обеспечить большую пропускную способность воздуха, используются клапаны с предварительным управлением. Сначала магниты включают клапаны с небольшим условным проходом, управляющий воздух от которых проходит на поверхности поршней соответствующих управляющих клапанов (диаметр 10 или 7 мм).

В зависимости от назначения применяются различные типы магнитных клапанов; для управления только одной осью достаточно только одного «седельного» клапана, для регулирования подъемной оси применяется более сложный в изготовлении клапан золотникового типа.

Оба типа магнитных клапанов выполняются по одной комплексной модели. В зависимости от назначения один и тот же корпус оснащается различными деталями клапанов и магнитами.

Магнитный клапан ECAS 472 900 05.0 (ось с двумя датчиками перемещения) показан на рисунке 3.7.

Данный магнитный клапан имеет три магнита. Один магнит 6.1 управляет центральным клапаном подачи и сброса воздуха (его называют также центральным 3/2 ходовой клапан), другие управляют соединением обеих пневмобаллонов (2/2 ходовые клапаны) с центральным клапаном подачи и сброса воздуха.

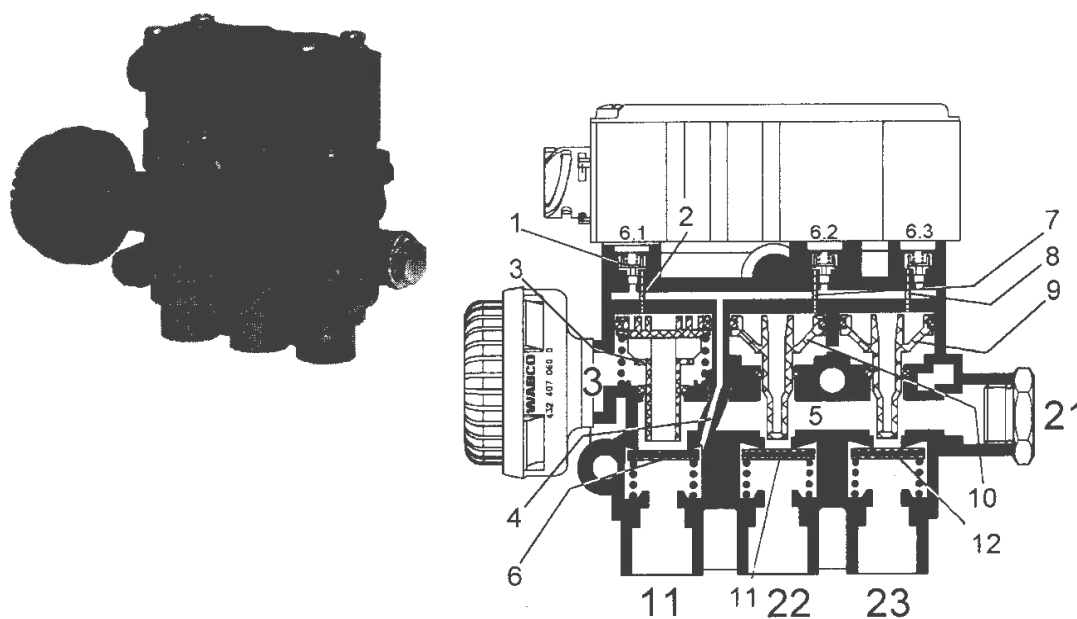


Рисунок 3.7 - Магнитный клапан ECAS 472 900 05.0

С помощью этого клапана можно осуществить так называемую двухточечную регулировку, при которой с помощью датчиков перемещения на обеих сторонах оси по отдельности регулируется высота бортов автомобиля, и таким образом, несмотря на неравномерное распределение нагрузки на кузов сохраняется осевая параллельность.

#### Конструкция клапана.

С помощью магнита 6.1 включается клапан предварительного управления 1, управляющий воздух, от которого через отверстие 2 воздействует на управляющий поршень 3 клапана подачи и сброса воздуха. Снабжение клапана предварительного управления осуществляется через вывод 11 «Питание» и соединительное отверстие 4.

На рисунке 3.7. показан клапан подачи и сброса воздуха в положении сброса, при котором воздух из камеры 5 может проходить через отверстие в управляющем поршне 3 к выводу 3.

При подаче тока на магнит 6.1 управляющий поршень 3 смещается вниз, закрывая сначала отверстие в управляющем поршне с помощью пластины клапана 6. В заключении пластина клапана отжимается со своего места (седла) (поэтому существует назначение седельный клапан) так, что воздух из накопительного ресивера может проходить в камеру 5.

Все другие клапаны соединяют пневмобаллоны с камерой 5. В зависимости от подачи тока на магниты 6.2 или 6.3 через отверстие 7 и 8 нагружаются управляющие поршни 9 и 10, открывая пластины клапанов 11 и 12 в направлении выводов 22 и 23. К выводу 21 можно подключить магнитный клапан для управления второй осью автомобиля.

Магнитный клапан ECAS 472 900 02. 0 (Ось с одним датчиком перемещения).

Этот клапан подобен вышеописанному клапану, однако собран из меньшего количества деталей. Благодаря подключению вывода 14 к выводу 21 вышеописанного клапана исключается использование клапана подачи и спуска воздуха. Также используется только один клапан предварительного управления 1. Через два соединительных отверстия 2 нагружаются управляющие поршни 3 обеих пневмобаллонов так, что любая подача или спуск воздуха в камере 5 осуществляются одновременно для обоих пневмобаллонов. Если на магнит не подается ток, то клапаны закрываются. Между пневмобаллонами осуществляется соединение только через поперечный дроссель 7, с помощью которого можно выровнять возможную разницу давлений между бортами. Через вывод 12 клапан соединяется с накопительным ресивером. Этот вывод нужен только для того, чтобы клапан предварительного управления мог сместить управляющий поршень.

Устройство дистанционного управления ECAS 446 056 0...0.

С помощью устройства дистанционного управления водитель получает возможность влиять на уровень высоты автомобиля в допустимых пределах. Предпосылки изменения высоты является остановка автомобиля или скорость ниже определенной запрограммированной величины.

Кнопка управления изменением уровня располагаются в удобном корпусе. Имеются различные виды устройств дистанционного управления в соответствии с исполнением системы.

На рисунке 3.8 представлено устройство дистанционного управления с наибольшими возможностями:

- подъем и опускание кузова;
- установка транспортного уровня;
- остановка;
- запоминание и регулирование двух наиболее предпочтительных уровней;
- подъем и опускание подъемной оси;
- разгрузка и загрузка ведомой оси;
- включение и выключение автоматического подъема оси.

Внешний датчик перемещения похож на стандартный клапан положения кузова WABCO, так что его можно устанавливать в том же самом месте на раме автомобиля (отверстия крепления расположены одинаково). В корпусе датчика находится катушка, в которой вверх и вниз перемещается сердечник. Сердечник через шатун связан с эксцентриком, который располагается на валу рычага. Рычаг соединен с осью автомобиля. Если теперь изменить расстояние между кузовом и осью, то рычаг поворачивается, задвигая или выдвигая сердечник. Таким образом, изменяется индуктивность, преобразовывая ее в значения перемещения.

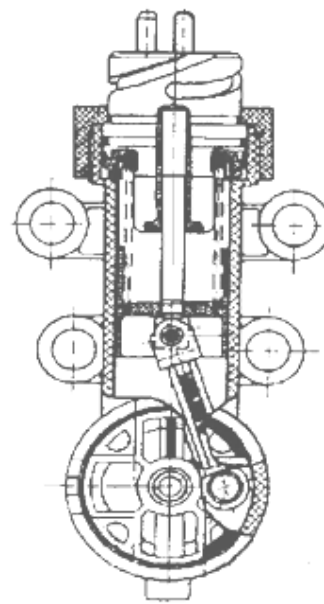


Рисунок 3.8 - Датчик перемещения ECAS 441 050 0

Датчик давления 441 040 00.

Датчик давления выдает значения напряжения, которые пропорциональны имеющемуся давлению. Диапазон измерения располагается между 0 и 10 бар, нельзя превышать давление 16 бар.

С помощью штекерного разъема сигнал напряжения подается на электронный блок. Кроме того, на датчик через третий провод от электронного блока нужно подать питающее напряжение. В подсоединение к пневмобаллону нужно дополнительно ввести шланг, чтобы обеспечить подачу воздуха на датчик.

Датчик давления ни в коем случае нельзя подключать к магистрали управления магнитным клапаном положения кузова, так как это может привести к ошибочным измерениям в процессе подачи и сброса воздуха.

Если нельзя использовать пневмобаллон с двумя резьбовыми подключениями, как это предлагают известные изготовители пневмобаллонов, нужно использовать специальную соединительную деталь.

Эта соединительная деталь может состоять из одного Т-образного резьбового трубного соединения, в вывод, к датчику давления которого

впаивается трубочка, проникающая вовнутрь камеры пневмобаллона и определяющая там «спокойное» давление пневмобаллона.

Если такая соединительная деталь отсутствует, то ее функцию могут вполне приемлемо выполнять обычные Т-образные детали:

датчик установлен на одной оси (например, прицеп с подъемной осью): датчик давления подключается к пневмобаллону с помощью одной Т-образной детали с большим сечением. Соединение между Т-образной деталью и магнитным клапаном осуществляется при проходном диаметре 6 мм.

Датчик установлен на две оси (например, 3-осевой прицеп с одной подъемной осью): каждый пневмобаллон имеет по одной Т-образной детали. На одной монтируется датчик давления, другая имеет соединение с магнитным клапаном. Т-образные детали соединяются друг с другом. Поперечное сечение трубопровода должно иметь в этом случае проходной диаметр 9 мм.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современная перевозка грузов регламентируется множеством требований. Уже не является достаточным только перевезти товары от пункта А до пункта Б. В расширенном европейском хозяйстве с различными дорожными условиями надежность транспорта, соблюдение сроков доставки, гибкость и обоснование соотношения между ценой и объемом поставок, сохранностью дорог, груза, и увеличения безопасности особенно при перевозке опасных, высоко расположенным центром тяжести грузов стали вопросом выживания предприятий. Так как именно ходовую часть шасси регламентируют особо жесткие требования. Мы исследовали возможность применения вместо рессорно-балансирной подвески пневматическую подвеску на автомобильных автоцистернах.

Экономичность и качество в системе транспортных перевозок имеют такие аспекты как: необходимость бережного отношения к шоссе, грузу и грузовой машине, а также щадить дорогие кузова. Всем этим транспортным компонентам в системе грузовых перевозок обеспечена высокая степень безопасности, особенно при перевозках опасных грузов или быстро портящихся грузов.

В отличие от рессорно-балансирной подвески в пневматической подвеске за счет изменения давления в пневмобаллонах в зависимости от загрузки сохраняется постоянное расстояние между дорожным покрытием и грузовой платформой транспортного средства. При этом сохраняется постоянная высота посадки или загрузки, а также настройки фар. Степень комфорта от работы пневмоподвески не зависит от степени загрузки. Перевозка грузов осуществляется без повреждений. При использовании пневмоподвески так называемые подпрыгивания порожнего или частично загруженного прицепа отсутствуют. Улучшаются управляемость и степень передачи тормозного усилия дорожному полотну, так как все колеса

находятся в сцеплении с дорогой. Пневмоподвеска является оптимальным решением для перевозки нефтепродуктов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Павлюк, А.С. Подвески легковых автомобилей / А.С Павлюк. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1996.
- 2 Ротенберг, Р.В. Теория подвески автомобиля / Р.В Ротенберг. Изд-во: Машгиз Год выпуска: 1951, 217 с.
- 3 Ролле, В.Е. Теория движения наземных транспортных средств. Расчет плавности хода колесных машин / В. Е. Ролле, А. Г. Семенов. - СПб: Изд-во Политехн. ун-та, 2018.
- 4 Zhou, Q. Research and Simulation on New Active Suspension Control System / Q. Zhou // Theses and Dissertations Lehigh University. – Bethlehem, 2013. – 93 p.
- 5 Mechanics, S. User's Guide. Version 2 / S. Mechanics // The MathWorks, Inc., November 2002. 522 p.
- 6 URL: grabcad.com <https://grabcad.com/library/mercedes-benz-brabus-g-class-1> [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).
- 7 Дьяконов, В.П. VisSim+Mathcad+MATLAB Визуальное математическое моделирование / В.П. Дьяконов. СОЛОН-Пресс. Москва 2004г.
- 8 Гультяев, А. Визуальное моделирование в среде MATLAB / А. Гультяев. –СПб.: Изд-во Питер, 2000г.
- 9 Худорожков, С.И. Исследование транспортных систем при случайных возмущениях с помощью среды MATLAB-Simulink учеб. пособие / С.И. Худорожков. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2015. – 57 с.
- 10 Коломенцев, А.В., Кордонский В.М., Прохоров И.В. Магнитореологические демпфирующие устройства / А.В. Коломенцев, В.М. Кордонский, И.В Прохоров. -М. : Магнитная гидродинамика, 1988, № 2
- 11 Жданов, А.А. Метод автономного адаптивного управления / А.А Жданов. Известия Академии Наук. Теория и системы управления, 1999, № 5, с. 127-134

12 Филимонов, С. А. Основы расчета адаптивной подвески автомобиля / С.А Филимонов // Магистерская диссертация: - СПб, 2014. – 64 стр.

13 Управляемый магнито-реологический амортизатор : пат. 2068513 Б.И. 1996, №30. / Кирсанов, Б.В., Теряев Е.Д., Парамонов В.Н., Цветков Ю.В., Данилов В.Д.

14 Лурье, М.И., Токарев А.А. Скоростные качества и топливная экономичность автомобиля / М.И Лурье, А.А Токарев. -М.: Машиностроение, 1967. 167 с.

15 Литвинов, А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А.С Литвинов, Я.Е. Фаробин. Учебник для вузов по специальности Автомобили и автомобильное хозяйство. -М.: Машиностроение, 1989. -240 с.

16 Токарев, А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля / А.А Токарев. - М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.

17 Колков, С.И Моделирование и визуализация движений механических систем в MATLAB / С.И Колков. -Омск 2007. - 88 стр.

18 Лазарев, Ю. Ф. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю.Ф. Лазарев. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2005. – 512 с.

19 Корытов, М. С., Глушец В. А., Зырянова С. А. Моделирование рабочих движений автокрана при помощи SimMechanics и Virtual Reality Toolbox / М.С. Корытов, В.А Глушец, С.А. Зырянова // Exponenta Pro. Математика в приложениях. – 2004. – № 3 – 4 (7 – 8). – С.94-102.

20 Рудаков, П.И., Сафонов В.И. Обработка сигналов и изображений. MATLAB / П.И. Рудаков, В.И. Сафонов. -М.: Диалог-МИФИ, 2000.

21 Kuzmicki, L. Econobic de carburant quel choix / L. Kuzmicki // Ing., autom. -1978.-№2.

22 Литвинов, А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств / А.С. Литвинов, Я.Е. Фаробин. -М.: Машиностроение, 1989. -240 с.

23 Безбородова, Г.Б., Маяк Н.М., Чалый А.А. Экономия топлива при вождении автомобиля / Г.Б. Безбородова, Н.М. Маяк, А.А. Чалый. -Киев: Техшка, 1986. - 112 с.

24 Говорущенко, Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. -М.: Транспорт, 1990. 135 с.

25 Говорущенко, Н.Я. Влияние ровности покрытий автомобильных дорог на расход горючего / Н.Я Говорущенко. –М.: 1954.-24 с.

26 Токарев, А.А. Топливная экономичность и тягово-скоростные качества автомобиля / А.А Токарев. -М.: Машиностроение, 1982. - 224 с.:

27 Доклад: EnergyHarvesting с конференции AdvancedEnergy2011 в Нью-Йорке, докладчик: профессор LeiZuo .

28 URL: [http://systemsauto.ru/brake/regenerative\\_braking.html](http://systemsauto.ru/brake/regenerative_braking.html)  
[Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

29 URL: <http://www.popmech.ru/vehicles/11124-vykhlopnaaya-energiya-ne-vyletit-v-trubu/#full> (Emil Venere) [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

30 URL: <http://www.popsci.com/scitech/article/2009-05/power-made-shocksBy> (Lawrence Ulrich) [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

31 URL: [http://turbonsk.ru/index.pl?module=article\\_det;p1=460](http://turbonsk.ru/index.pl?module=article_det;p1=460) (2006; Н.Владимов) [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

32 URL: <http://www.autostat.ru/news/view/18017/> (Светлана Целикова) [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

33 Доклад: Energy Harvesting from Rail Track for Transportation Safety and Monitoring (University Transportation Research Center - Region 2; Февраль 2014)

34 URL: <http://www.met-str.ru/nerzhavejuwuj-list> «Нержавеющий лист» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

35 URL: [http://www.telecamera.ru/catalog/Kontrol\\_dostupa](http://www.telecamera.ru/catalog/Kontrol_dostupa) [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019). «Зубчатая рейка»

36 URL: <http://www.parkflyer.ru/product/8997/> «Стальная ведущая шестерня» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

37 URL: <http://stdpod.spb.ru/?p=10&cat=5> «Прайс лист» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

38 URL: <http://spb.pulscen.ru/price/1217-mufty> «Муфты купить в СПб» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

39 URL: <http://stroy-metall.ru/izdeliya-iz-nerzhavejki-na-zakaz> «Изделия из металла на заказ» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

40 URL: <http://ru.aliexpress.com/w/wholesale-mini-ac-generator.html> «Каталог генераторов» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

41 URL: [http://www.moscklad.ru/\\_RCATPAGE/u42](http://www.moscklad.ru/_RCATPAGE/u42) «Машины контактной сварки» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

42 Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (утверждены Министерством экономики РФ, Министерством финансов РФ, Государственным комитетом РФ по строительной, архитектурной и жилищной политике 21.06.1999 N ВК 477).

43 URL: <http://www.nauchforum.ru/en/node/234> «Теоретические и практические подходы к определению ставки дисконтирования» [Электронный ресурс] (дата обращения: 20.05.2019).

44 URL: <http://bhom.ru/inflation/rus/> (дата обращения: 26.05.2019)