

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)

на тему Испытательный стенд для шин внедорожных автомобилей

Студент

М.М. Алиев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент В.Н. Лата

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

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

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

канд. экон. наук, доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

Аннотация

Выпускная квалификационная работа на тему «Испытательный стенд для шин внедорожных автомобилей» включает в себя разработку испытательного стенда, который может найти свое применение, как в учебном процессе, так и в исследовательских и испытательных лабораториях, относящихся к шинной промышленности. Проведение испытаний на разработанном стенде, выполненном в соответствии с техническими условиями, также может являться методической основой лабораторных практических работ для студентов, проходящих обучение на специальности «Наземные транспортно-технологические средства».

Была изучена нормативно-техническая база проведения испытаний пневматических шин. Был произведен технический расчет стенда, предназначенного для проведения испытаний нескольких видов внедорожных автомобильных покрышек: летней, зимней и всесезонной. На стенде для испытания сцепных свойств колес внедорожных автомобилей при разных нагрузках, прикладываемых к шинам, и давлениях в них были определены соответствующие коэффициенты сцепления. Графики зависимостей показаны в приложении к пояснительной записке. Определена и рассмотрена зависимость коэффициента сцепления от площади пятна контакта, при различных давлениях в шине и прикладываемых к ней нагрузок.

Проведен анализ безопасности жизнедеятельности при проведении испытаний автомобильных шин.

В экономической части произведен расчет затрат на выполнение НИОКР и обоснована целесообразность данного проекта.

Abstract

The final qualification work on the topic "Test bench for off-road tires" includes the development of a test bench that can find its application, both in the educational process and in research and testing laboratories related to the tire industry. Carrying out tests on the developed stand, performed in accordance with the technical conditions, can also be a methodological basis for laboratory practical work for students enrolled in the specialty "Ground transport and technological means".

The regulatory and technical base for testing pneumatic tires was studied. The technical calculation of the stand was made, intended for testing several types of off-road car tires: summer, winter and all-season. On the stand for testing the adhesion properties of off-road vehicles wheels under different loads applied to the tires and pressures in them, the corresponding adhesion coefficients were determined. Dependency graphs are shown in the annex to the explanatory note. Determined and considered the dependence of the coefficient of adhesion on the area of the contact patch, at different pressures in the tire and the loads to it.

The analysis of life safety during testing of automobile tires was carried out.

In the economic part, the calculation of R&D costs was made and the feasibility of this project was substantiated.

Содержание

Введение	6
1 Теоретические положения исследований	9
1.1 Сцепные свойства автомобильных шин	9
1.1.1 Определение коэффициента сцепления в продольном направлении с помощью буксирования автомобиля	10
1.1.2 Определение коэффициента сцепления на испытательном стенде	11
1.2 Коэффициент сцепления	13
1.3 Площадь пятна контакта	18
1.4 Нагружение шины нормальной нагрузкой	19
1.5 Нагружение шины боковой силой	22
1.6 Боковое смещение и угол увода	25
1.7 Боковая сила	31
1.8 Характеристики шин, влияющие на управляемость автомобиля	38
1.9 Выбор и обоснование темы работы	39
2 Поиск патентных и технических аналогов разрабатываемой конструкции	41
2.1 Результаты поиска патентов разрабатываемой конструкции	41
2.2 Результаты поиска аналогов конструкции	45
3 Конструкторский раздел	52
3.1 Тяговый расчет транспортного средства – объекта исследования	52
3.2 Разработка конструкции стенда для испытания шин внедорожных автомобилей	53
3.2.1 Техническое задание на разработку стенда для испытания шин внедорожных автомобилей	53
3.2.2 Техническое предложение на разработку стенда для испытания шин внедорожных автомобилей	54
3.2.3 Эстетика стенда для испытания шин внедорожных автомобилей	62
3.2.4 Эргономика стенда для испытания шин внедорожных автомобилей ...	63

3.2.5 Расчет конструкции стенда для испытания шин внедорожных автомобилей	64
4 Безопасность и экологичность объекта дипломного проекта	71
4.1 Описание условий труда	71
4.2 Идентификация вредных производственных факторов	72
4.3 Общие требования по обеспечению безопасности на предприятии	73
4.4 Требования эргономики при работе за компьютером	75
4.5 Расчет вентиляции в помещении	81
5 Экономический раздел	84
5.1 Исходные данные для расчета	84
5.2 Расчет себестоимости изготовления стенда	84
Заключение	89
Список используемых источников	90
Приложение А Графики тягового расчета	95

Введение

«На современном этапе автомобилестроение является одной из важнейших отраслей в промышленности как развитых, так и развивающихся стран. Состояние рынка легковых автомобилей является одним из самых ярких индикаторов уровня экономического развития государства, инновационного потенциала экономики, а также состояние его потребительского сегмента. Автомобиль представляет собой высокотехнологичный и инновационный продукт, аккумулирующий новейшие достижения науки и техники и стимулирующий их развитие через целевые научно-технические исследования.» [1]

«Актуальность рассматриваемой темы заключается в том, что в настоящее время автомобилестроению принадлежит самая ведущая роль в развитии и машиностроения вообще, и транспортного машиностроения в частности. Автомобильная промышленность мира - это емкий и весьма значительный сектор мировой экономики и международного бизнеса, ведь это не только собственно автомобили, но и разнообразные товары по обслуживанию автомобиля, а также, в значительной мере, рынок производства и продажи автозапчастей. Рынок автомобилей имеет ряд смежных рынков и отраслей: от наиболее тесно прилегающих (рынка деталей и блоков автомобилей и нефтедобывающей промышленности) до менее очевидных (строительство дорог, производство аксессуаров для автомобилей и т.п.). Автомобиль обеспечивает высокую мобильность человека, эффективность труда, определяет современный образ жизни общества. Он является показателем уровня обеспеченности материальными средствами как отдельного человека (его владельца), так и общества или государства в целом (в данном случае речь идет об автообеспеченности населения страны).» [3]

Темой данной дипломной работы является «Испытательный стенд для шин внедорожных автомобилей». В данной работе была произведена разработка стенда для проведения комплексных испытаний автомобильных

шин для внедорожных транспортных средств, в соответствии с техническими условиями на проведение работ подобного вида.

Все исследования по определению коэффициента сцепления в поперечной плоскости и площади пятна контакта автомобильных шин проводились в лабораторных условиях, на стендах кафедры «Проектирование и эксплуатация автомобилей», и соответствуют требованиям методики проведения испытаний шин и колёс.

«Сила сцепления шины с опорной поверхностью оказывает большое влияние на движение, управляемость и устойчивость автомобиля, что непосредственно влияет на активную безопасность автомобиля. Всего четыре маленьких пятна контакта удерживают автомобиль на дороге, при этом величина и форма пятна контакта при движении не остаётся постоянной. Это обусловлено перераспределением массы автомобиля во время движения.

При движении окружающая обстановка на дороге постоянно изменяется, что требует большого внимания и готовности среагировать во избежание дорожно-транспортного происшествия. Автомобиль, обладающей хорошей управляемостью и устойчивостью, сохраняет направление, заданное водителем, а также быстро и легко, при необходимости, изменяет своё положение на дороге.» [8]

Чем совершеннее управляемость и устойчивость автомобиля, тем с большей скоростью он способен двигаться по дорогам. С увеличением средней скорости передвижения растёт производительность автомобиля. А хорошая управляемость и устойчивость, повышают безопасность передвижения, что очень важно в виду роста скоростей движения современных автомобилей с увеличением их количества на дорогах.

Коэффициент сцепления в поперечной плоскости влияет на угол увода, который имеет фундаментальное значение в поведении автомобиля при осуществлении поворотов, а шина с правильно подобранным давлением, обеспечивающим надлежащую площадь пятна контакта, обеспечивает как

низкое сопротивление качению и надёжное сцепление, так и безопасность передвижения.

Взаимодействие шины с твёрдой дорогой характеризуется трением контактирующих тел и складывается из деформационной и молекулярной составляющих. Первая обусловлена внедрением в тело протектора шероховатостей дороги, что препятствует скольжению шины по поверхности, вторая – межмолекулярным взаимодействием на границе соприкосновения шины с дорогой. Поэтому с увеличением площади пятна контакта растёт число микровыступов, охватываемых отпечатком шины, в виду этого с увеличением его площади возрастает коэффициент сцепления.

1 Теоретические положения исследований

1.1 Сцепные свойства автомобильных шин

Прежде чем перейти к разработке конструкции стенда, рассмотрим, как на практике определяется коэффициент сцепления шины с опорной поверхностью, какие существуют способы его определения.

Шины – важный компонент автомобиля, они обеспечивают важные эксплуатационные свойства: тормозная и тяговая динамика, устойчивость и управляемость, проходимость, плавность хода, надёжность и топливная экономичность.

В дорожных и стендовых испытаниях определяют параметры шин, влияющие на эксплуатационные свойства – сопротивление и сцепные свойства на разных видах поверхности, демпфирующие и упругие свойства, а также способность сопротивляться аквапланированию и другие, шины испытываются на прочность и долговечность. Дорожные испытания проходят на дорогах и спецсооружениях автополигонов, а также на дорогах общего пользования.

Коэффициент сцепления шин с опорной поверхностью определяют в двух направлениях: продольном и поперечном.

Способы определения коэффициента сцепления в продольном направлении:

- с помощью замера силы сцепления автомобильных шин с поверхностью при буксировке со всеми заблокированными колёсами;
- с использованием испытательного стенда.

Коэффициент сцепления автомобильной шины с опорной поверхностью в поперечном направлении определяется на стенде.

Рассмотрим различные методы определения эксплуатационных характеристик автомобильных шин.

1.1.1 Определение коэффициента сцепления в продольном направлении с помощью буксирования автомобиля

Для исследования необходимо выбрать ровный горизонтальный участок дороги с поверхностью, для которой необходимо определить коэффициент сцепления.

Перед исследованием автомобиль с шинами, которые будут испытываться, должен пройти обкатку, а также прогревочный пробег в день исследования. Температура окружающей среды, скорость ветра и состояние дороги должны соответствовать программе исследования.

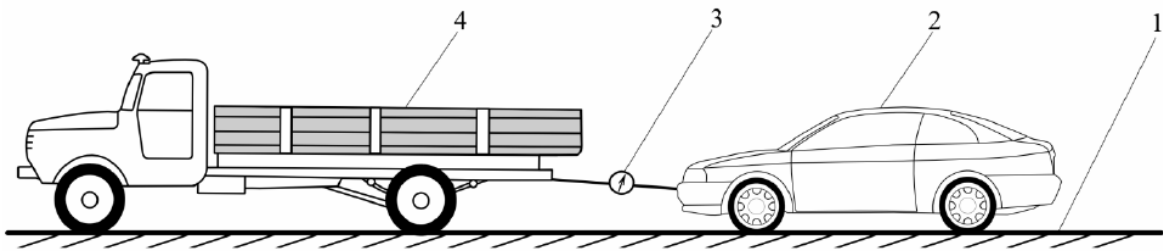
Предварительно определяется вес автомобиля, а также к автомобилю крепится динамометр для определения силы сцепления колёс автомобиля с опорной поверхностью R_{ϕ} . Далее автомобиль с заблокированными, с помощью тормозной системы, колёсами буксируется тягачом в соответствии с рисунком 1.

Снятие показаний динамометра проводится трижды при буксировании автомобиля в одну и другую противоположную сторону на выбранном участке дороги. Для определения коэффициента сцепления, рассчитывается среднее значение силы сцепления, а затем по формуле находится сам коэффициент сцепления колеса с дорогой.

$$\varphi = \frac{R_{\phi}}{G_a} \quad (1)$$

где R_{ϕ} – среднее значение силы сцепления шин с дорогой, Н;

G_a – вес автомобиля, Н.



1 – опорная поверхность; 2 – испытуемый автомобиль; 3 – динамометр; 4 – тягач

Рисунок 1 – Измерение силы сцепления автомобильных шин с дорогой

Н.С. Соломатин пишет: «При проведении испытаний на опорной поверхности с низкой несущей способностью песок, снег, пашня, размокший грунт и т. д. автомобиль-тягач нужно подбирать таким образом, чтобы шины испытуемого автомобиля не попадали в колею тягача. Каждый заезд выполняется на свежем участке опорной поверхности» [31].

1.1.2 Определение коэффициента сцепления на испытательном стенде

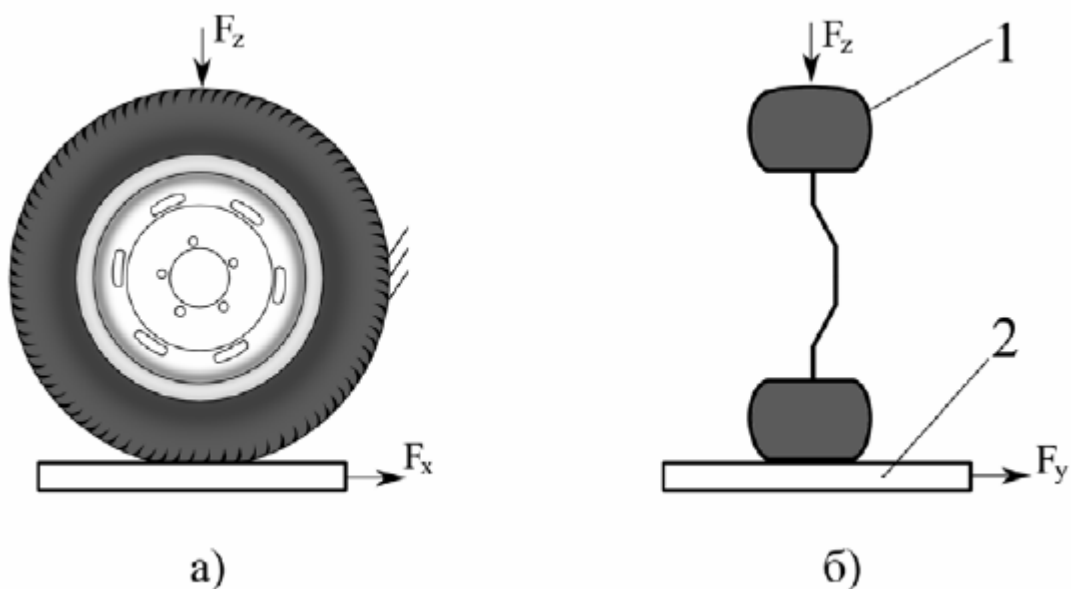
Коэффициент сцепления, определённый на стенде, справедлив только для того покрытия, которое составляет опорная поверхность.

На рисунке 2 представлена принципиальная схема стенда.

Автомобильная шина в сборе с колесом прижимается к опорной поверхности с силой F_z , которая определяется из развесовки автомобиля, если иное не задано программой исследования. Колесо блокируется во избежание прокручивания. Для определения коэффициента сцепления в продольном направлении к опорной плите прикладывается сила в соответствующем направлении и, в момент начала проскальзывания, замеряется максимальная сила F_x в соответствии с рисунком 2а.

Для измерения коэффициента сцепления в поперечной плоскости, к автомобильной шине в сборе с колесом прикладывается вертикальная нагрузка F_z , соответствующая развесовке автомобиля или программе исследования. К опорной плите стенда, в поперечной плоскости, прикладывается сила F_y и, в момент начала проскальзывания шины по

опорной поверхности, измеряется величина силы F_y в соответствии с рисунком 2б.



1 – исследуемая шина; 2 – опорная поверхность

Рисунок 2 – Принципиальная схема стенда для определения коэффициента сцепления автомобильной шины

Коэффициенты сцепления шины с опорной поверхностью при малой скорости скольжения определяются по формулам:

1) в продольном направлении:

$$\varphi_x = \frac{F_x}{F_z} \quad (2)$$

2) в поперечном направлении:

$$\varphi_y = \frac{F_y}{F_z} \quad (3)$$

Покрывтия опорной поверхности могут быть разными: грунт, асфальт, бетон и так далее.

1.2 Коэффициент сцепления

После того, как были рассмотрены основные способы определения коэффициента сцепления, рассмотрим вопрос – что же такое коэффициент сцепления и от чего он может зависеть.

Возможность автомобильных колёс, при нормальной нагрузке, передавать и воспринимать касательные силы при движении по дороге, является очень важным качеством, позволяющим автомобилю передвигаться. Надёжное сцепление колеса с дорогой повышает безопасность движения. Данное качество оценивают коэффициентом сцепления φ – отношением максимальной касательной реакции в пятне контакта T_{\max} к нормальной нагрузке G_k или реакции, действующей на колесо:

$$\varphi = \frac{T_{\max}}{G_k} \quad (4)$$

Различают два вида коэффициента сцепления при качении колеса в плоскости вращения: без буксования или скольжения; при буксовании или юзе, а также коэффициент сцепления в поперечной плоскости при боковом скольжении колеса.

Коэффициент сцепления при отсутствии буксования или скольжения можно считать коэффициентом сцепления покоя. Когда буксование и скольжение равны оптимальным значениям коэффициент сцепления становится равен коэффициенту трения покоя. Однако, в этом случае присутствует проскальзывание элементов протектора вблизи контурной линии пятна контакта.

Коэффициент сцепления покоя несколько больше, чем коэффициент сцепления при скольжении и юзе. У стандартных шин коэффициент сцепления при буксовании на 20...25% меньше, чем при покое.

Взаимодействие шины с твёрдой дорогой характеризуется трением контактирующих тел и складывается из деформационной и молекулярной составляющих. Первая обусловлена внедрением в тело протектора

шероховатостей дороги, что препятствует скольжению шины по поверхности, вторая – межмолекулярным взаимодействием на границе соприкосновения шины с дорогой.

По-другому эти составляющие можно назвать: гистерезис и адгезия. Адгезия появляется в результате межмолекулярного скрепления между резиной покрышки и поверхностью асфальта. Это больше относится к сухой поверхности асфальта, но адгезия значительно снижается в условиях мокрого асфальта. Следовательно, во время дождя снижается коэффициент сцепления с дорогой.

Чтобы объяснить, как гистерезис влияет на сцепление между шиной и дорогой, уточним, что такое гистерезис. По отношению к покрышкам, гистерезис – это свойство резины возвращаться в естественное состояние после деформации, но с задержкой. Например, если воздействовать на протектор шины с низким гистерезисом, резина быстро вернется в свое естественное состояние. Если проделать то же самое с шиной с высоким гистерезисом, и вмятина останется там на несколько секунд, возвращаясь гораздо медленнее.

Рассмотрим, каким образом гистерезис связан со сцеплением. Когда шина деформируется, она приобретает потенциальную энергию, которая высвобождается при возвращении в нейтральное состояние. При гистерезисе, энергия теряется, преобразовываясь в тепло, следовательно, когда напряжение снимается, возникает сила сопротивления между протектором и дорогой. Но точный механизм того, как возникает эта сила, не полностью понятен.

Рассмотрим рисунок 3, на котором показано некоторое скольжение между резиной и неровной поверхностью. Если шина восстанавливает своё первоначальное состояние медленно, проходя через неровности, как в рассмотренном выше случае с высоким гистерезисом, то она не может давить на нижнюю часть поверхности неровностей, так как она давит на поверхность в верхней части неровностей. Эта разница давления между

верхними и нижними краями неровностей приводит к силам трения даже когда поверхности смазаны. Механизм, о котором идет речь, показан на рисунке 1.3, первоначально взятом из книги Хэйни.



Рисунок 3 – Гистерезис при скольжении шины

С увеличением площади пятна контакта растёт число микровыступов, охватываемых отпечатком шины, в виду этого с увеличением его площади возрастает коэффициент сцепления.

Большое влияние на коэффициент сцепления оказывают: состояние опорной поверхности, состояние и конструкция шин, скорость движения, вертикальная нагрузка на колесо, давление воздуха в шине, температура контакта.

Максимальные значения коэффициента сцепления характерны для сухих дорог с твёрдым цементо- и асфальтобетонным покрытиями. Сцепные качества покрытия по мере его изнашивания ухудшаются. Наименьшие значения коэффициента сцепления соответствуют для обледенелых, заснеженных и мокрых покрытиях, исключение составляет мокрый песок, который уплотняется и передаёт большие касательные силы.

Конструктивными особенностями, влияющими на коэффициент сцепления, являются размеры колеса и рисунок протектора. К небольшому увеличению коэффициента сцепления на сухих твёрдых покрытиях приводит увеличение диаметра и ширины беговой дорожки в виду увеличения площади пятна контакта.

Большое влияние на коэффициент сцепления оказывает рисунок протектора. Минимальное сцепление на мокрых, заснеженных и обледенелых асфальтовых покрытиях имеют шины с гладким протектором. Мелкий расчленённый протектор в форме продольных рёбер и шашек обеспечивает наибольший коэффициент трения на дорогах с твёрдым сухим покрытием. На твёрдой мокрой дороге коэффициент сцепления тем выше, чем лучше способность шины удалять грязь и влагу из области пятна контакта шины. Этому способствует рисунок с продольными рёбрами, расчленённый надрезами под углом сорок пять градусов. На скользких покрытиях в 1,5...2 раза коэффициент сцепления повышает установка шипов противоскольжения, а также изготовление протектора из резины специального состава. Шины с высокими грунтозацепами необходимы на автомобилях, работающих на деформирующихся покрытиях, они характеризуются сильной расчленённостью протектора и рисунком в виде косой ёлки, также протектор должен обеспечивать самоочищение от влажного грунта и снега.

Скорость движения автомобиля значительно влияет на величину коэффициента сцепления. На дорогах с твёрдым сухим покрытием при росте скорости коэффициент сцепления уменьшается, так как при движении с

большой скоростью резина деформируется и не успевает принимать первоначальное положение, в результате чего протектор не полностью внедряется в микронеровности, что несколько снижает коэффициент сцепления.

На дорогах с асфальтовым покрытием существенное влияние на коэффициент сцепления оказывает температура шины. При росте температуры шины, коэффициент сцепления увеличивается, в виду того, что резина становится более мягкой и лучше охватывает неровности дороги.

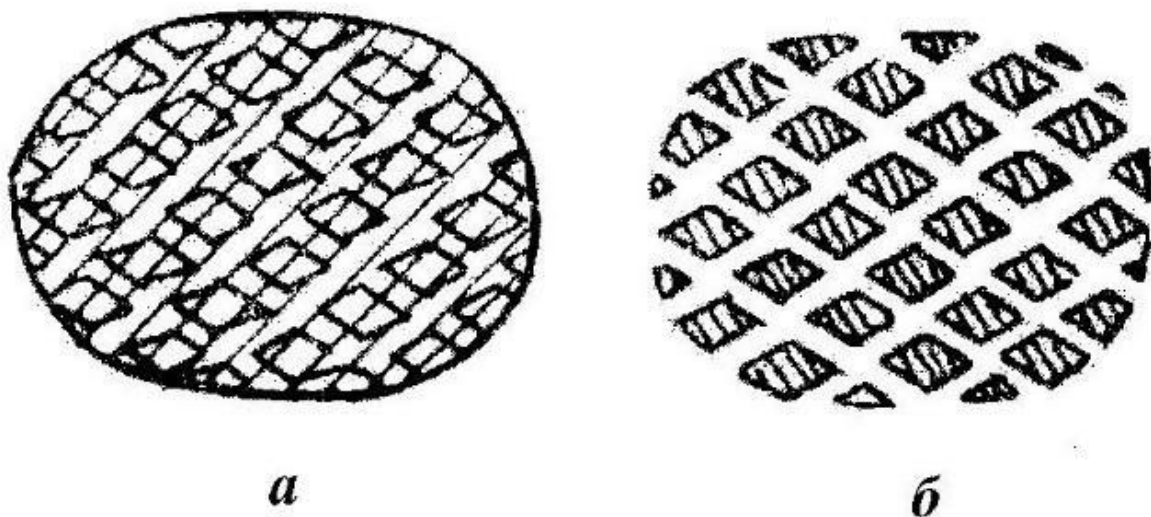
Также на шину влияют давление воздуха в ней и нормальная нагрузка на колесо. При увеличении давления воздуха в шине на сухом чистом опорном покрытии, коэффициент сцепления уменьшается, потому что площадь пятна контакта соответственно уменьшается. Однако, более интенсивное выдавливание грязи и влаги на мокрых покрытиях в области пятна контакта происходит при увеличении давления в шине, в результате чего происходит увеличение коэффициента сцепления.

«С увеличением нормальной нагрузки на колесо на твёрдых сухих покрытиях происходит снижение коэффициента сцепления, так как коэффициент трения резины уменьшается с ростом давления. На обледенелой и заснеженной дорогах относительное изменение коэффициента сцепления при увеличении нагрузки больше, чем на дорогах с асфальтобетонным покрытием. На мокрых и грязных дорогах возрастание нормальной нагрузки обеспечивает увеличение коэффициента сцепления» [23].

Из литературы мы можем отметить, насколько сильно различаются средние коэффициенты сцепления продольного направления для типичных дорожных условий при номинальной вертикальной нагрузке и давлении воздуха, малой скорости движения на режиме полного скольжения колеса. Меньшие показатели относятся к шинам высокого, а большие – к шинам низкого давления.

1.3 Площадь пятна контакта

Пятно контакта – это отпечаток колеса на опорной поверхности. Форма пятна контакта в неподвижном состоянии выглядит в форме прямоугольника или эллипсиса. Однако, при движении автомобиля пятно контакта изменяется – от прямоугольника до треугольника. Площадь пятна контакта при движении может быть даже больше площади пятна контакта при статической нагрузке. Вертикальная нагрузка зависит от переноса центра масс автомобиля, например, при разгоне и торможении, а также от прижимающего воздействия аэродинамики. Высокая вертикальная нагрузка и большая площадь пятна контакта обеспечивают наибольшее сцепление автомобиля с дорожным покрытием, из чего следует, что в свою очередь создаёт давление колеса на дорогу. Давление колеса на опорную поверхность равно отношению нормальной реакции R_z к площади пятна контакта A . Различают контурную площадь A_k и площадь контакта по выступам рисунка протектора $A_{пр}$ в соответствии с рисунком 4.



а- контурная; б – по выступам рисунка протектора

Рисунок 4 – Площадь пятна контакта с опорной поверхностью

Среднее давление колеса в пятне контакта равно:

$$p_k = R_z / A_k \quad (5)$$

Среднее давление колеса по выступам рисунка протектора равно:

$$p_{\text{пр}} = R_z / A_{\text{пр}} \quad (6)$$

Коэффициент насыщенности протектора рассчитывается по следующей формуле:

$$K_H = A_{\text{пр}} / A_k \quad (7)$$

«Средние давления p_k и $p_{\text{пр}}$ оказывают влияние на проходимость автомобиля, прежде всего при движении по деформируемым поверхностям. С уменьшением давления становится меньше глубина колеи и, соответственно, сопротивление движению» [23].

Во избежание быстрого и сильного износа дороги ограничивают верхний предел давления. По отечественным нормам $p_k \leq 0,6$ МПа и $p_{\text{пр}} \leq 0,85$ МПа. Данные значения, прежде всего, обеспечивают подбором давления воздуха p_v , так как существует соотношение:

$$p_k = k_k * p_v, \quad (8)$$

где k_k – коэффициент, учитывающий жёсткость покрышки, равный 1,1...1,2.

Из выше сказанного можно сделать вывод, что площадь пятна контакта влияет на давление шины на дорогу, изменение площади пятна контакта может приводить к увеличению или снижению давления, что в свою очередь будет влиять на изменение коэффициента сцепления и коэффициента трения. Также необходимо заметить, что с увеличением площади пятна контакта растёт число микровыступов, охватываемых отпечатком шины, в виду этого с увеличением его площади возрастает коэффициент сцепления.

1.4 Нагружение шины нормальной нагрузкой

Пятно контакта — это то, что соприкасается с дорогой и является точкой опоры автомобиля, которая воспринимает на себя все возникающие нагрузки. Шина, будучи накачана воздухом, способна воспринимать большие нагрузки в виду своей эластичности и упругости.

Значения вертикальных нагрузок на колёсах передней и задней осей зависят от расположения центра масс относительно осей, веса автомобиля, а также от воздействия аэродинамических подъёмных сил.

«Под действием приложенной к колесу нормальной нагрузки шина деформируется, площадь её контакта с опорной поверхностью увеличивается до тех пор, пока не наступит равновесие между нормальной реакцией дороги и нагрузкой. Это происходит почти при неизменном внутреннем давлении воздуха в шине. Объём воздуха, вытесненный при деформации шины, по сравнению с объёмом воздуха в камере очень мал, поэтому увеличение давления в шине вследствие нагрузки также мало и составляет 1...2% нормального. Но несмотря на незначительное повышение внутреннего давления воздуха в шине работа сжатия воздуха при деформации шины довольно значительна» [23].

Распределение веса автомобиля по осям можно рассчитать по формулам.

- для передней оси:

$$R_{zNF} = mg \cdot b / L, \quad (9)$$

- для задней оси:

$$R_{zNR} = mg \cdot a / L \quad (10)$$

где a – расстояние от центра масс до передней оси;

b – расстояние от центра масс до задней оси;

L – колёсная база автомобиля в метрах равная сумме a и b .

Итак, шина под действием вертикальной нагрузки F_z деформируется. У шины, в статическом состоянии, давление по площади пятна контакта распределяется неравномерно и примерно равно нормальной деформации шины. Эпюра распределения давления показана на рисунке 5. Распределение давлений в набегающей 1-2 и сбегающей 2-3 частях одинаково, поэтому равнодействующая давлений по контактной поверхности, равная реакции R_z , приложена в точке 2, середине контактной линии.

При движении колеса, каждый элемент шины испытывает цикл нагрузки и разгрузки за один оборот. В набегающей части происходит сжатие, а в сбегающей восстановление прежней формы элемента шины. В каждой точке пятна контакта действует нормальная реакция ΔR_z . Зависимость ΔR_z от нормальной деформации h_z показана на рисунке 6. Как мы можем видеть из рисунка, линия нагрузки 1-2 проходит выше линии разгрузки 2-3, что характеризуется гистерезисными потерями шины. Заштрихованная часть образует петлю гистерезиса, которая показывает потери энергии при деформации шины за один оборот. Эта энергия идёт на нагрев покрышки. При длительном движении температура шины может достигать 100...120 градусов.

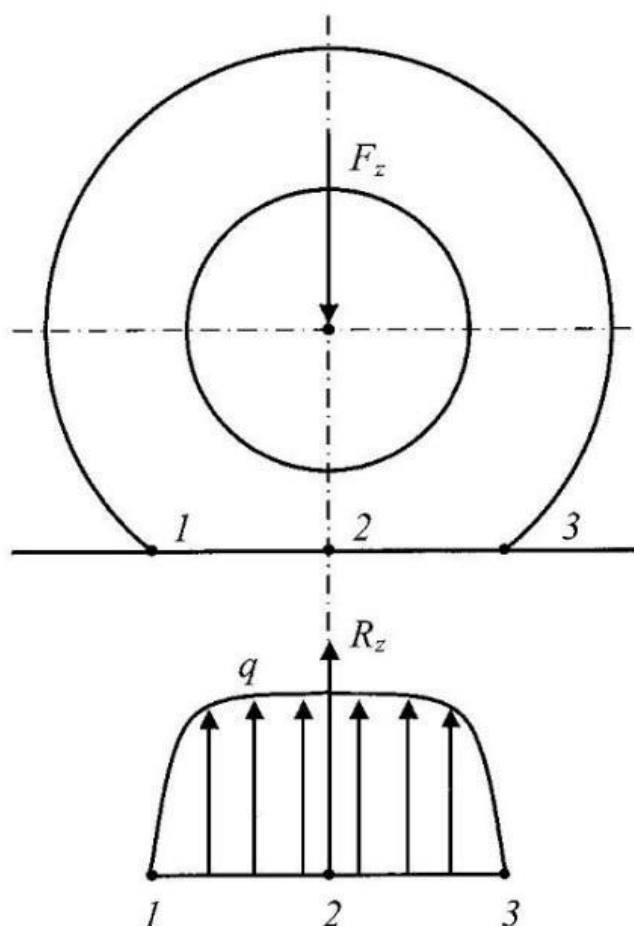
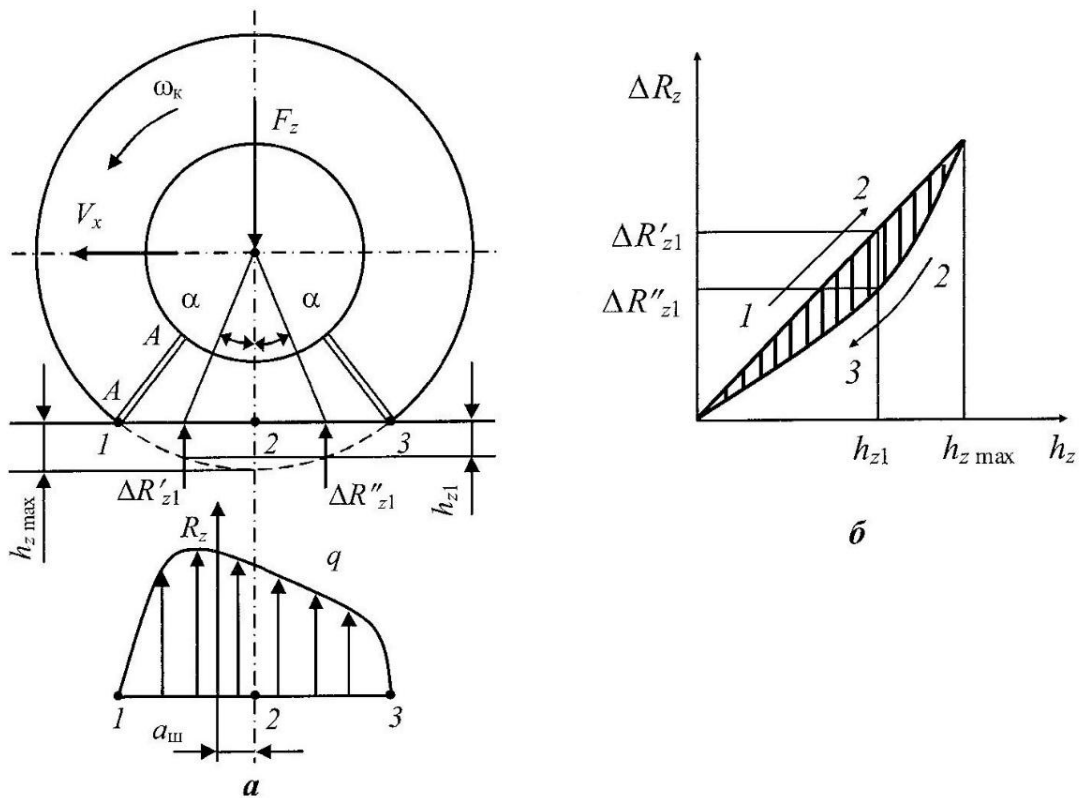


Рисунок 5 – Эпюра давлений в пятне контакта шины неподвижного колеса с опорной поверхностью



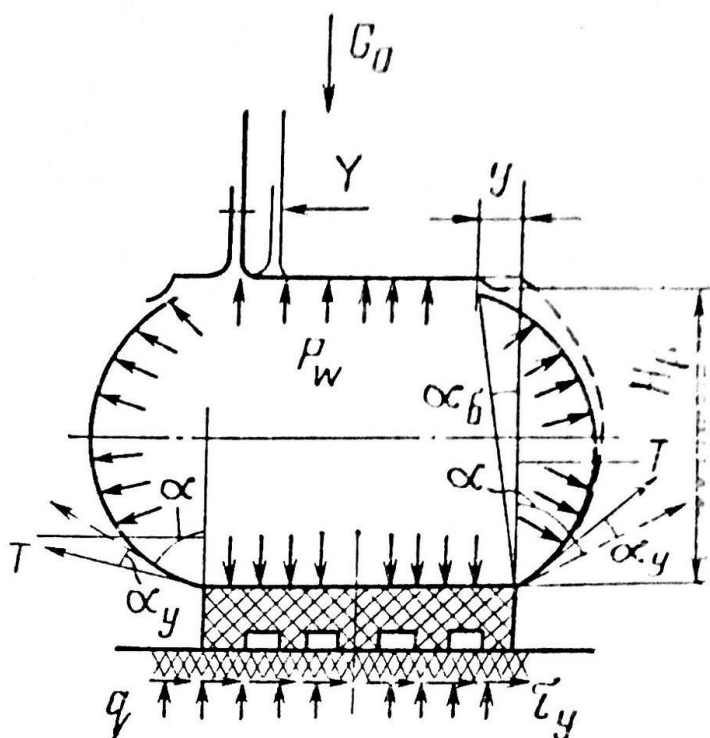
а – эпюра давлений в контакте; б – упругая характеристика шины

Рисунок 6 – Взаимодействие катящегося колеса с опорной поверхностью

1.5 Нагружение шины боковой силой

Когда автомобиль движется в реальных условиях на него почти постоянно действует боковая сила: сила ветра, составляющая силы тяжести при движении на косогоре, силы, появляющаяся из-за наезда на неровность, центробежная сила при повороте, инерционные силы, силы, возникающие в результате разности продольных реакций на колёса правого и левого бортов автомобиля, приводящие к появлению поворачивающего момента.

На работу шины, управляемость и устойчивость автомобиля большое влияние оказывает податливость шины в боковом направлении. Боковое деформирование шины представляет собой довольно сложный процесс, представленный на рисунке 7.



T – сила натяжения нити корда; α_β – угол смещения обода; y – боковое смещение обода

Рисунок 7 – Поперечное сечение шины при наличии нормальной и боковой силы

При воздействии боковой силы F_y поперечный профиль шины перекашивается и становится несимметричным относительно вертикальной плоскости, проходящей через центр пятна контакта и перпендикулярной оси колеса. Проекции натяжения в нитях левой и правой стенок шины на горизонтальную плоскость в результате такого перекоса становятся неравными друг другу. Поэтому, боковая сила уравновешивается разностью проекций натяжений T на горизонтальную ось, то есть.

$$F_y = T \cdot \sin(\alpha + \alpha_\gamma) - T \cdot \sin(\alpha - \alpha_\gamma) \quad (11)$$

учитывая, что

$$\alpha_\gamma = y/H \quad (12)$$

где H – высота профиля, а

$$T = p_w \cdot r \quad (13)$$

где p_w – давление воздуха в шине,

r – радиус колеса.

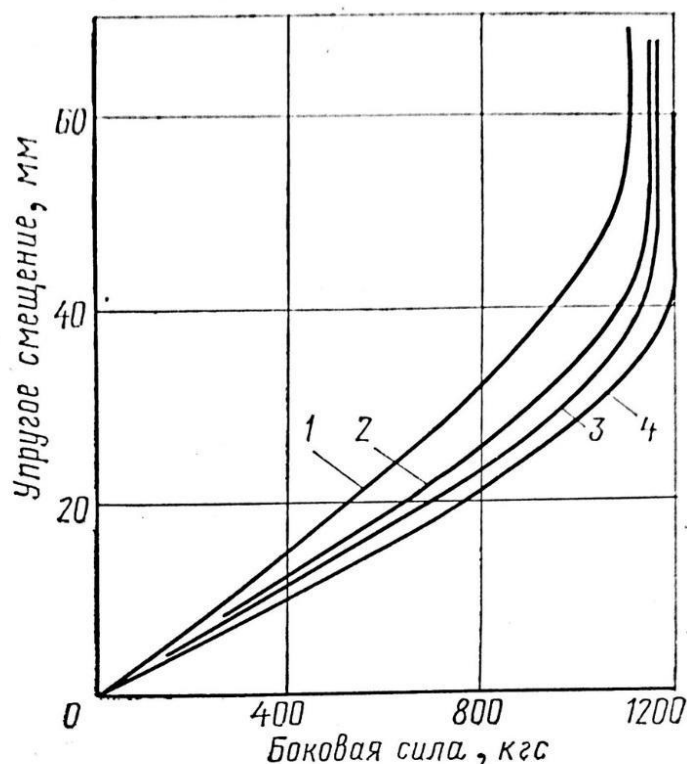
получим,

$$F_y = 2p_w * (y / H) * r * \cos\alpha \quad (14)$$

Опыты показали, что с ростом давления воздуха шины, боковая жёсткость может даже уменьшиться, то есть уменьшение длины контакта сказывается в большей степени, чем натяжение нитей каркаса.

Боковая жёсткость шины определяется зависимостью бокового смещения колеса от боковой силы, в соответствии с рисунком 8.

Боковая жёсткость шины представляет собой тангенс угла наклона кривой, то есть производную зависимости боковой нагрузки от бокового смещения. Эта зависимость линейна до момента проскальзывания. Таким образом боковая жёсткость колеса является постоянной величиной, практически независимая от бокового смещения.



1 - $p_w = 3,5$ кгс/см²; 2 - $p_w = 4,5$ кгс/см²;

3 - $p_w = 5,0$ кгс/см²; 4 - $p_w = 6,0$ кгс/см²;

Рисунок 8 – Зависимость бокового упругого смещения колеса от боковой силы при нагрузке 2300 кгс и различных значениях давления воздуха

1.6 Боковое смещение и угол увода

Когда водитель поворачивает рулевое колесо, автомобиль начинает поворачивать. Вскоре после этого инерция автомобиля генерирует центробежную силу или инерционную силу, которая выталкивает автомобиль из поворота. Эта сила (которая является косвенной силой, поскольку она возникает только из-за инерционных эффектов) также передается на шины, вызывая на них боковое отклонение. На рисунке 9 показано, как будет выглядеть покрышка после деформации. Слева показана шина в условиях прямолинейного движения при нулевом скольжении, а справа шина, деформированная после бокового отклонения, вызванного инерционными силами.

Боковое отклонение происходит по двум причинам: во-первых, шина эластична в повороте, то есть та часть шины, которая находится в контакте с дорогой (пятно контакта), не будет вращаться так же сильно, как остальная часть шины (под вращением понимается поворот колес, вокруг вертикальной оси). Поскольку шина эластична, точки в пятне контакта также будут иметь боковое отклонение.

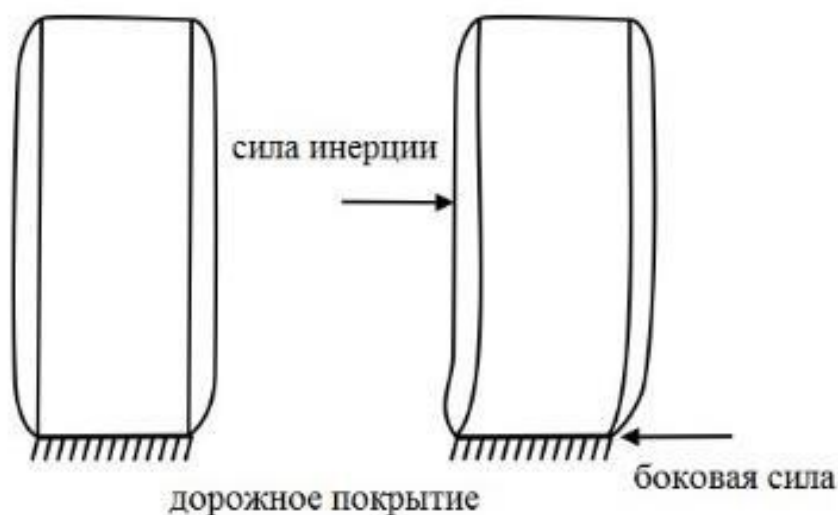


Рисунок 9 – Деформация шины при повороте

Как только покрышка скручивается, частицы, которые находятся в пятне контакта, постоянно будут пытаться вернуть свою первоначальную форму, они будут испытывать боковое отклонение проходя через передний край пятна контакта, центр и задний край пятна контакта. С другой стороны, частицы скреплены одна с другой, и из-за этого, деформация начинается прежде чем частица достигает передний край пятна контакта, и кончается после того как резина выходит из пятна контакта.

На рисунке 10 показана деформация, происходящая до, во время и после прикосновения частиц к дороге, взятого из книги Кларка.



Рисунок 10 – Боковая деформация в пятне контакта

Вторая причина, по которой происходит боковая деформация, состоит в том, что сцепление между шиной и дорогой препятствует боковому скольжению шины, при воздействии инерционной силы, выталкивающей шину наружу поворота. Это сочетание эффектов заставляет шину перемещаться в направлении, противоположном тому, куда она направлена. Например, если человек движется прямо, но с каждым шагом он перемещает ноги на несколько сантиметров в сторону, путь, который проделают ноги, будет под углом к направлению, в котором человек движется. То же самое происходит в пятне контакта шины.

Когда боковая сила действует на жёсткое в боковом отношении колесо то траектория движения колеса будет проходить в его продольной плоскости

до тех пор, пока боковая сила не превысит силу сцепления с дорогой. После происходит скольжение колеса, называемое боковым заносом.

Когда же боковая сила действует при качении эластичного колеса, происходит иной процесс. Деформация шины заставляет колесо катиться под углом к продольному вектору скорости и такое явление называют боковым уводом, а тот угол, под которым катится колесо, называют углом бокового увода, и это имеет фундаментальное значение для знания того, как ведёт себя автомобиль во время поворота. Важно отметить, что между шиной и дорогой не происходит скольжение.

Если боковая сила отсутствует при качении колеса, то точки, лежащие на средней линии колеса, будут ложиться на дорогу в плоскости вращения и боковой увод будет отсутствовать, как показано на рисунке 11.

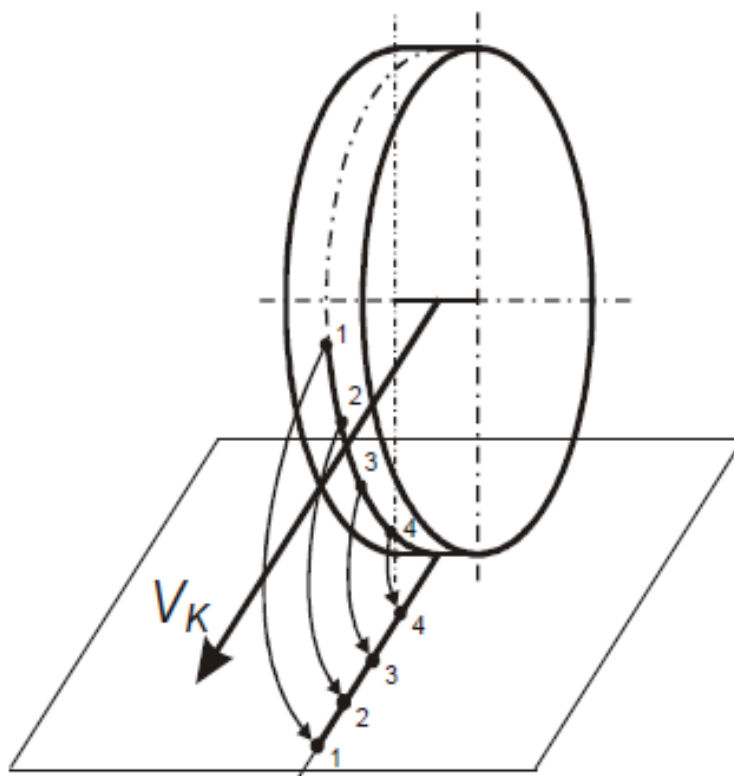


Рисунок 11 – Схема качения колеса при отсутствии боковой силы

Под действием боковой силы средняя линия деформируется, в следствии того что центр колеса отклоняется в сторону действия поперечной силы. Теперь при качении колеса, точки, лежащие на средней линии, будут ложиться на поверхность дороги под углом к плоскости вращения колеса, как показано на рисунке 1.12.

При малых углах увода, скольжение в пятне контакта практически отсутствует, поэтому пятно контакта, не меняя формы разворачивается на величину угла увода. Угол увода зависит от боковой жёсткости колеса и пути релаксации τ_r .

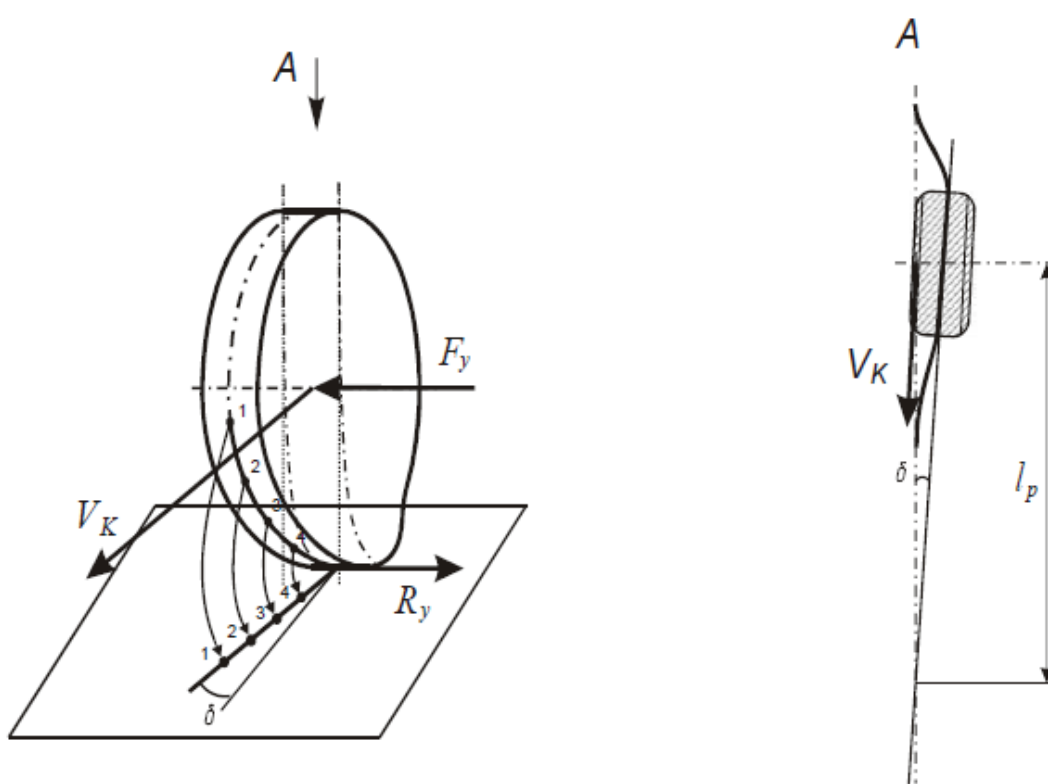


Рисунок 12 – Схема качения колеса под действием боковой силы

Поскольку деформация шины в передней части пятна контакта больше, чем в задней, равнодействующая боковой реакции колеса смещена назад, на величину плеча сноса, как показано на рисунке 13.

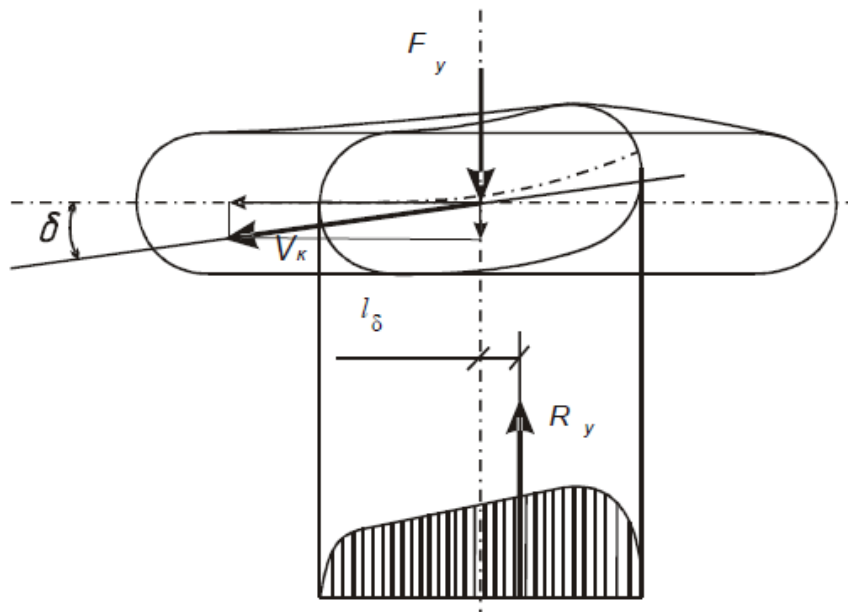


Рисунок 13 – Схема качения колеса с уводом (вид сверху)

Зависимость угла увода от боковой силы имеет нелинейный характер и представлена на рисунке 1.14. На участке 0-1 увод происходит за счёт упругой деформации шины. Деформация пятна контакта происходит больше в задней части, поэтому там начинается проскальзывание, а пятно контакта приобретает «вид чечевицы». Интенсивность роста угла увода при росте боковой силы снижается, что приводит к нарушению линейной зависимости, так как увеличивается линия контакта, участок 1-2. Плечо сноса боковой силы на этом участке уменьшается, в результате чего и уменьшается стабилизирующий момент шины.

На участке 2-3 происходит полное скольжение, боковая сила пропорциональна вертикальной и зависит от коэффициента сцепления в поперечной плоскости. В точке 2 боковая сила достигает максимально возможного по сцеплению значения.

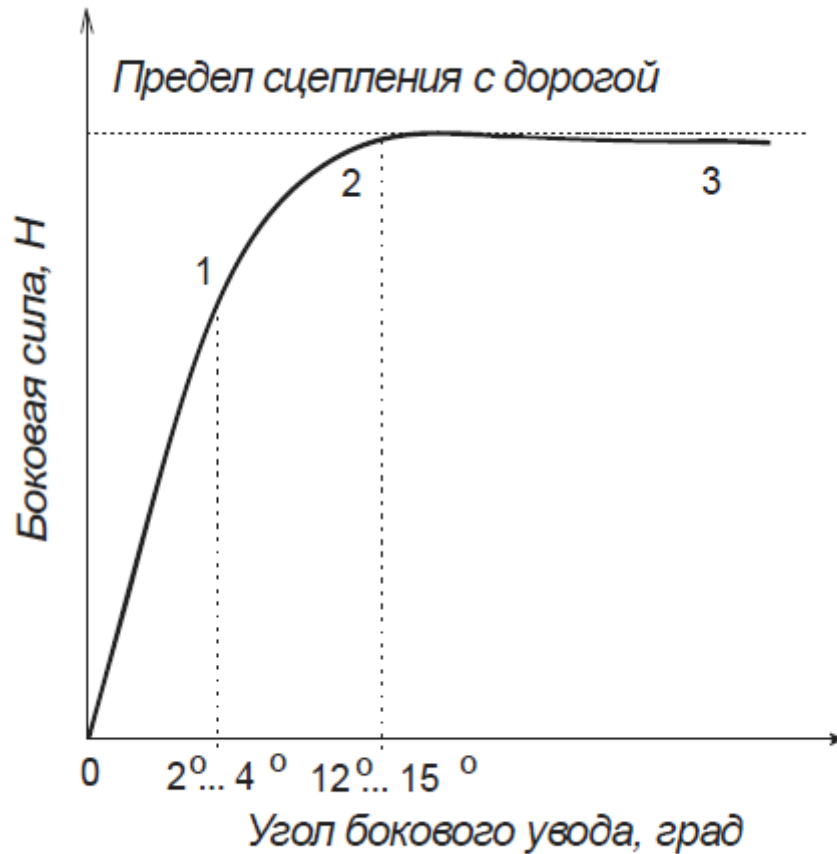


Рисунок 14 – Изменение угла увода от боковой силы

Боковая сила на участке 2-3 определяется, как:

$$F_y = \varphi_y * R_z \quad (15)$$

где φ_y – коэффициент сцепления в поперечной плоскости.

Боковое скольжение на твёрдом сухом покрытии начинается при углах увода равным 12...20 градусов.

При дальнейшем увеличении угла увода до девяносто градусов, боковая сила, приложенная к колесу, может слегка вырасти или уменьшится, что зависит от значения коэффициентов сцепления в продольном и поперечном направлениях, при скольжении близком к 100%.

Когда угол бокового увода становится очень большим, коэффициент сцепления с дорогой стремительно падает, однако в это же время, при значении этого угла большего чем ноль, достигается максимальное сцепление с дорогой.

Для оценки поведения шины используется коэффициент сопротивления боковому уводу. Он равен боковой силе вызывающий угол увода в один радиан. Который находится как первая производная боковой силы по углу увода. При малых углах увода коэффициент сопротивления боковому уводу можно представить, как:

$$K_{\zeta} = \frac{R_{y\zeta}}{\zeta} \quad (16)$$

На участке 0 – 1 зависимость боковой силы от угла увода имеет вид:

$$F_y = K_{\zeta} * \zeta \quad (17)$$

Значение зависит от давления воздуха в шине, конструкции и размеров шины, нагрузки на колесо продольной силой, состояния и типа опорной поверхности и других факторов.

С уменьшение коэффициента сцепления в поперечной плоскости уменьшается угол увода и коэффициент сопротивления боковому уводу.

1.7 Боковая сила

Боковая сила, возникающая в шине, порождает силу упругости. Эта сила, называемая боковой силой увода или боковой силой, перпендикулярна направлению движения и возникает в центре пятна контакта. Боковая сила и угол увода взаимосвязаны: боковую силу, можно представить, как результат угла увода, и угол увода, как результат боковой силы (если боковая сила увеличилась, центробежная сила тоже увеличивается, вызывая большее отклонение шины, и, следовательно, больший угол увода). Боковую силу увода можно представить, как способность шины сопротивляться боковому скольжению шины во время поворота.

Боковая сила будет увеличиваться с углом увода, и оба будут расти за счет уменьшения радиуса поворота или увеличения линейной скорости транспортного средства (оба эти условия представляют собой рост бокового ускорения). По мере того как угол увода увеличивается, начинает

происходить скольжение протектора покрышки. Если угол скольжения еще больше увеличится, в конечном итоге шина "сорвется" и скольжение произойдет во всем пятне контакта.

При повороте покрышка работает в трёх диапазонах, а именно, при отсутствии скольжения, при некотором скольжении и при полном скольжении, которые называются: упругий диапазон, переходной диапазон и диапазон трения. При скольжении между шиной и дорогой трение возникает из-за боковой реактивной силы (боковая реакция колёс). На рисунке 15, взятого из книги Миликина, показана связь между боковым усилием и углом увода на графике, где можно увидеть три рабочих диапазона. Наклон кривой на линейном (упругом) диапазоне называется поворотной жесткостью шины, и это является важным параметром для анализа поведения транспортного средства при осуществлении поворота.

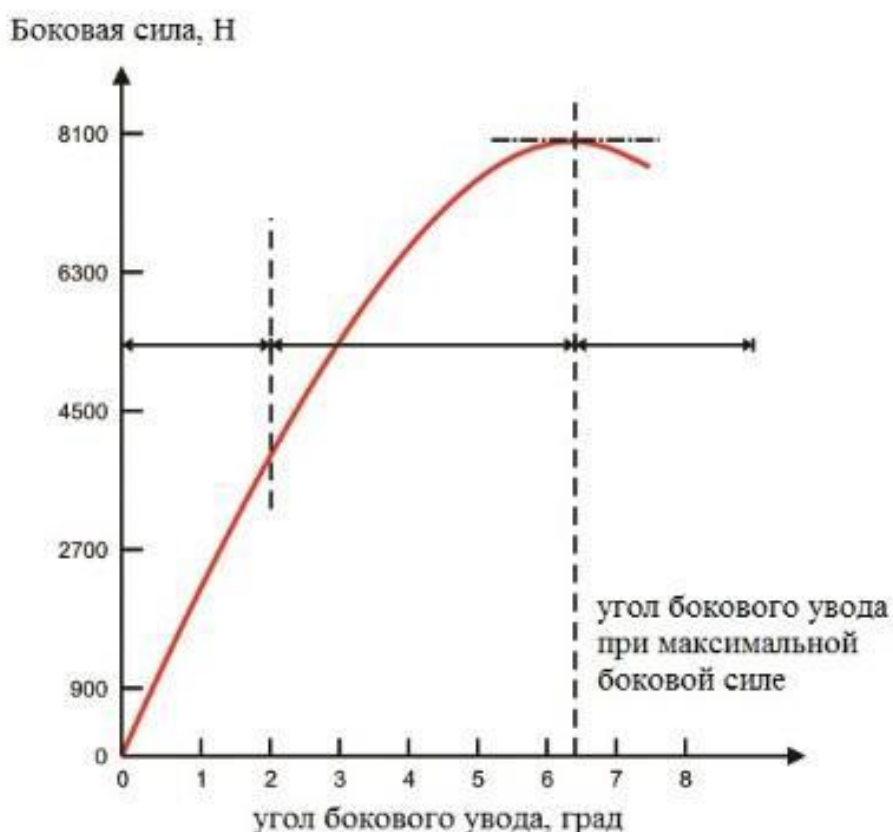


Рисунок 15 – Боковая сила и угол увода при нормальной нагрузке 8000 Н

Уравнение ниже показывает математическую зависимость между боковой силой F_y , углом увода α и поворотной жёсткостью C шины.

$$F_y = C * \alpha \quad (18)$$

Вершина кривой определяет, какую по величине боковую силу может принять на себя шина. Эта сила называется пределом сцепления. После достижения этого предела боковая сила уменьшится, это передастся водителю в виде лёгкого ощущения на рулевом колесе, указывающий на то, что предел сцепления был превышен. Форма кривой определяет. Как автомобиль будет вести себя в условиях высокого ускорения и превышения силы сцепления колеса с дорогой. Например, взгляните на рисунок 16 ниже, взятый из книги Милликина. Если кривая имеет острую вершину, это указывает на резкое изменение коэффициента сцепления шины с дорогой при переходе в занос, что может оказаться внезапно для водителя. Кривые с почти плоской верхней частью характеризуют более плавный переход, давая возможность водителю предвидеть момент, когда автомобиль может занести. К сожалению, шины с большей восприимчивостью к боковым нагрузкам (то есть гоночные шины) – это те, у которых более резкий переход от сцепления к заносу, и поэтому гонщик должен научиться чувствовать этот момент и контролировать управление автомобилем.

Интересный факт о покрышках, работающих при большом угле увода: они могут иметь значительное сопротивление к поступательному движению, которое растёт вместе с углом увода. Таким образом, если водителю нужно будет замедлиться, он может не применять тормоза, для этого водитель должен жестко бросить машину в поворот, создавая большой угол увода.

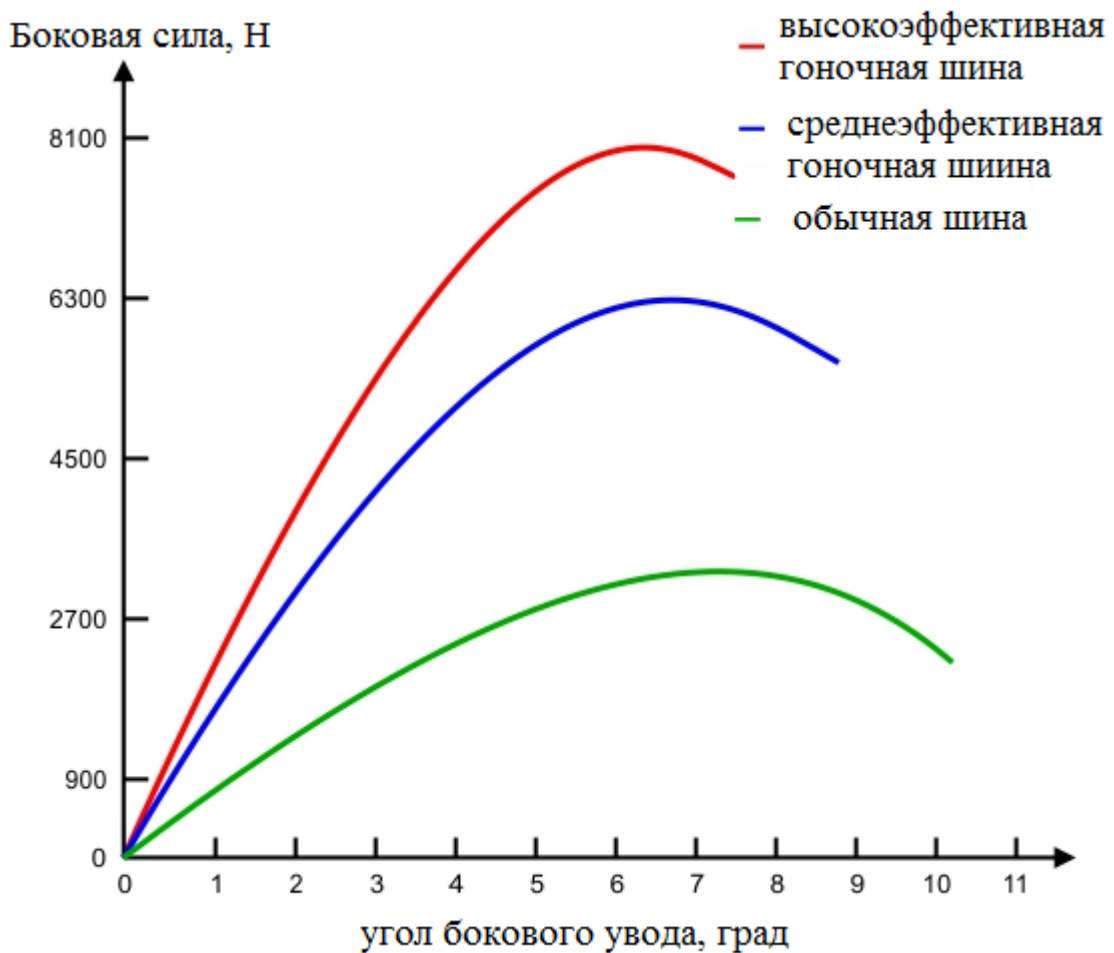


Рисунок 16 – Зависимость угла увода от боковой силы для трёх типов шин (кривые построены произвольно)

Чтобы немного прояснить ситуацию, определим коэффициент поперечной силы. Это аналогично коэффициенту трения. В целом это всего лишь способ нормализации боковой силы (обезразмеривания). Математическое определение выглядит следующим образом:

$$\varphi_{yF} = \frac{F_y}{F_z} \quad (19)$$

где – коэффициент боковой силы,

F_y – горизонтальная нагрузка,

F_z – вертикальная нагрузка.

Результаты проведения опыта для определения зависимости угла увода от боковой силы при нескольких вертикальных нагрузках показан на рисунке 17, взятого из книги Милликина.

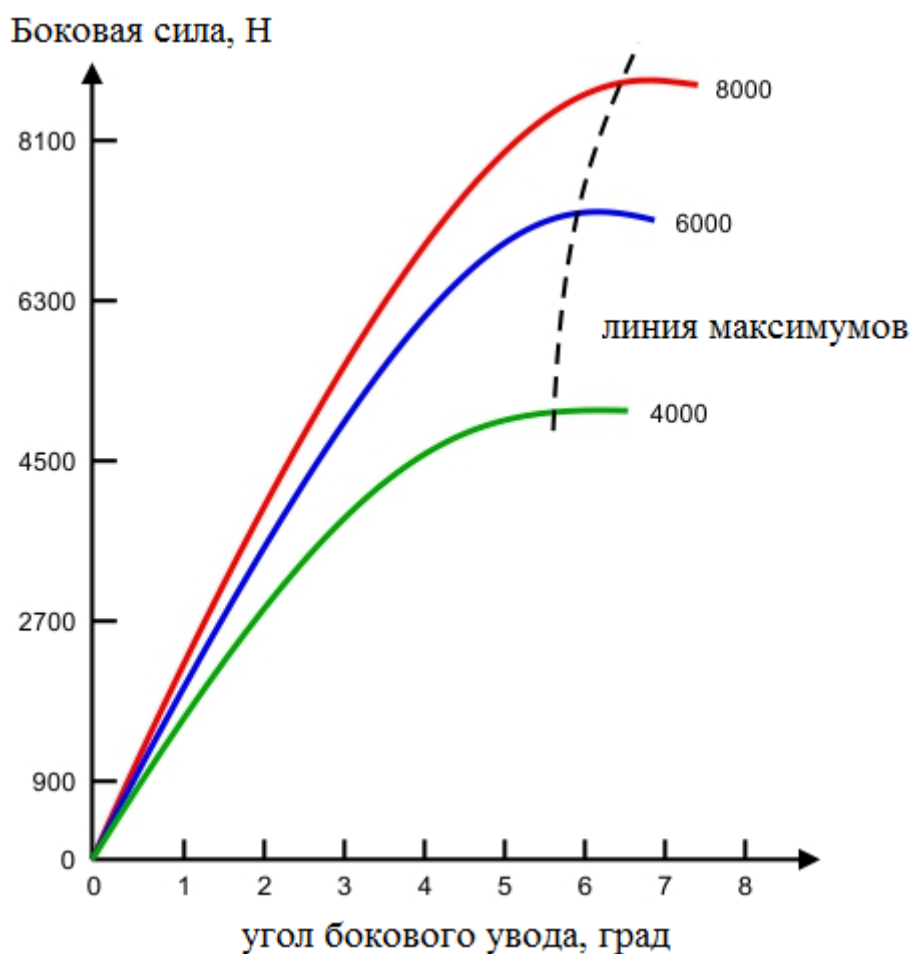


Рисунок 17 – Угол увода от боковой силы при нескольких нагрузках

Если вместо построения графика поперечной силы мы построим график коэффициента боковой силы, результаты будут такими, как показано на рисунке 18.

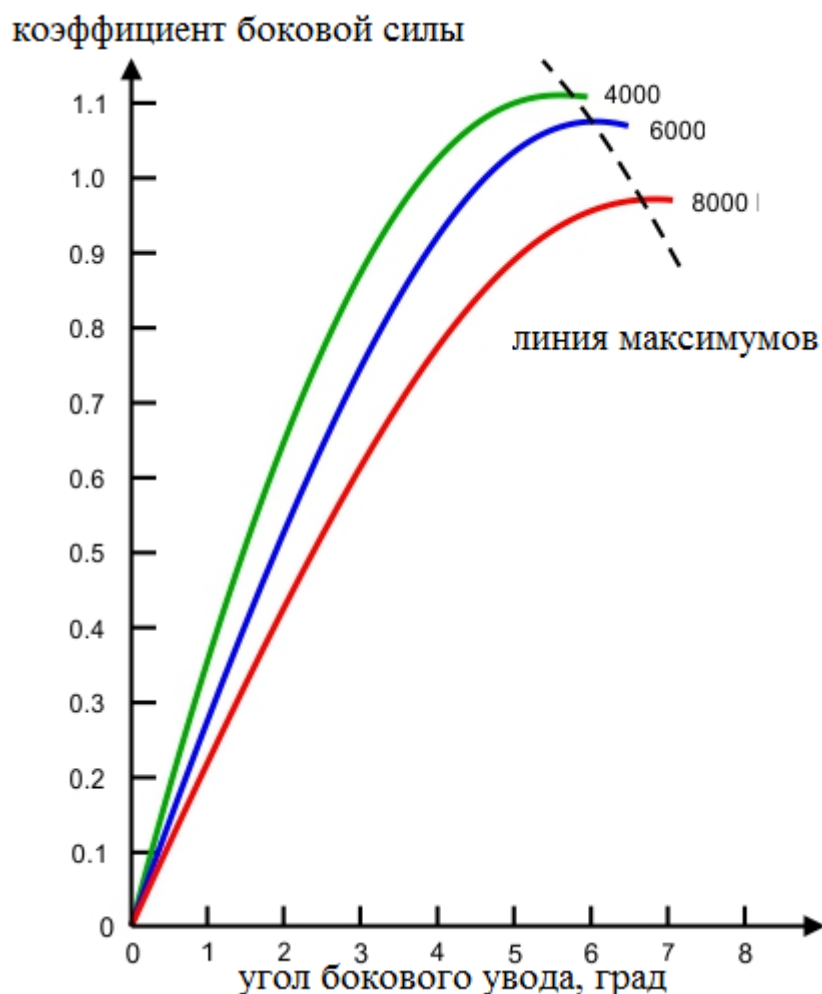


Рисунок 18 – Угол увода от коэффициента боковой силы при нескольких нагрузках

Этот график может предоставить много информации. Как мы видим, коэффициент поперечной силы уменьшается с ростом вертикальной нагрузки. С другой стороны, поворотная жёсткость шины растёт (линейный наклон на рисунке 1.17) при более высоких вертикальных нагрузках. Сравнивая рисунки 1.17 и 1.18, можно увидеть, что соотношение F_y/F_z уменьшается, но боковая сила продолжает увеличиваться по мере увеличения вертикальной нагрузки. Общий итог таков, что увеличение боковой силы происходит с меньшей скоростью при более высоких вертикальных нагрузках, что приводит к нелинейной связи между вертикальной нагрузкой и боковой силой, как показано на рисунке 19.

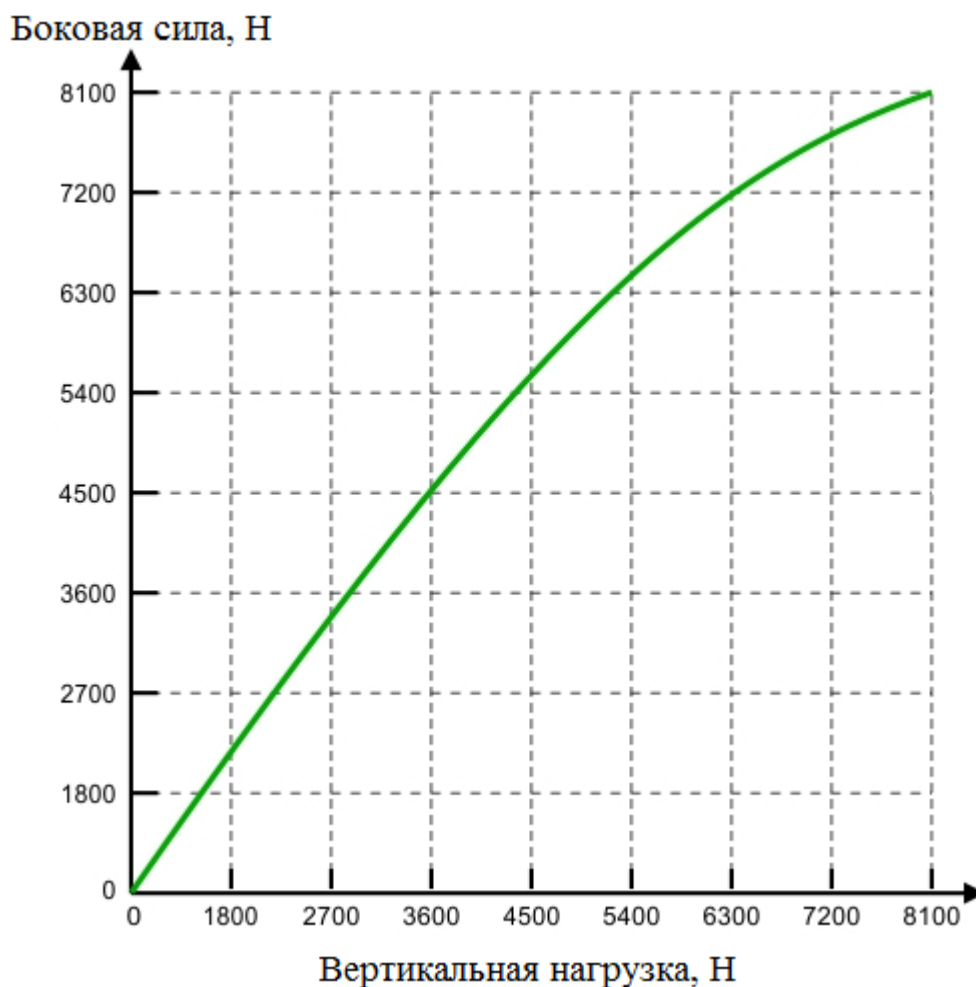


Рисунок 19 – Боковая сила от вертикальной нагрузки при одном угле увода

Анализируя рисунок 19, можно сделать выводы о поведении пары шин, действующих параллельно друг другу, как в передней или задней осях. При боковых ускорениях происходит передача нагрузки на ось от внутренней шины к внешней. Общая вертикальная нагрузка на ось останется прежней, однако общая боковая сила, создаваемая осью, будет меньше, чем если бы не произошло бокового переноса нагрузки.

Что бы лучше понять суть описываемого процесса, рассмотрим пример на рисунке 19.

Допустим, автомобиль, участвующий в трофи-рейдах имеет вес 367 кгс (около 3600 Н) на каждой из задних шин. Теоретически, боковую силу, которую мы можем получить на одной шине, исходя из графика нагрузки на

рисунке 1.19 - около 4500 Н, и, следовательно, боковая сила на ось будет 9000 Н. Если нагрузка составляет пятьдесят процентов боковой передачи нагрузки на задней оси, внешнее колесо будет иметь нагрузку $367 + (0,5 \times 367) = 550.5$ кгс (около 5400 Н), в то время как внутреннее колесо будет в конечном итоге только с 183.5 кгс (около 1800 Н) вертикальной нагрузки.

Если еще раз обратиться к схеме на рисунке 19, то можно увидеть, что общая боковая сила, которая может возникать на внешней шине в этих условиях, будет составлять около 6500 Н, в то время как внутренняя шина будет генерировать только 2200 Н. Тогда общая боковая сила будет составлять 8700 Н, и мы будем иметь потерю боковой силы. Кривая здесь является произвольной, равно как и значения, однако общее поведение шины в отношении вертикальной нагрузки верно.

Такое поведение оси при боковом переносе нагрузки имеет решающее значение для управления гоночным автомобилем и впоследствии будет использоваться в конструкции и настройке автомобиля для изменения его управляемости и маневренности.

1.8 Характеристики шин, влияющие на управляемость автомобиля

Характеристики шин сильно влияют на управляемость автомобиля. Особенно от них зависят углы увода. Для достижения хорошей управляемости, необходимо максимально реализовать способность шин воспринимать боковые и продольные силы, возникающие при движении автомобиля, а для этого необходимо должным образом настроить подвеску и системы управления.

Влияние конструкции шины. Радиальные шины хорошо сопротивляются уводу автомобиля и имеют больший коэффициент сопротивления уводу, чем диагональные шины, но более подвержены срыву при достижении максимального угла увода. Изношенные покрышки также имеют больший коэффициент сопротивления уводу, по сравнению с

покрышками с полным рисунком протектора. Пути релаксации радиальных шин имеют большие значения, чем у диагональных шин.

Влияние давления воздуха в шине. Коэффициент сопротивления уводу, с ростом давления воздуха в шинах, увеличивается. Таким образом, при уменьшении давления воздуха в задних покрышках и (или) увеличении давления в передних, реакция управления автомобилем изменится в сторону избыточной поворачиваемости, соответственно, при обратных показателях давления, то есть увеличение давления в задних покрышках и уменьшение в передних приводит к недостаточной поворачиваемости автомобиля.

«Упругая податливость шин в боковом направлении приводит к увеличению стабилизирующего момента в рулевом управлении при действии на передних управляемых колёсах тяговых сил. Возникающий вследствие этого дополнительный упругий поворот колёс меняет поворачиваемость в сторону недостаточной» [23].

1.9 Выбор и обоснование темы работы

На сегодняшний день, в условиях развития современных технологий и создания немалого количества различных тренажёров и имитаторов, моделирующих управляемое движение автомобиля, роль практических испытаний имеет большое значение. Ведь не одна математическая модель не способна воссоздать реальные условия эксплуатации автомобиля и учесть все факторы, влияющие на его движение, и происходящие процессы. Однако, нельзя не заметить, что математическое моделирование может в значительной мере снизить затраты исследования, а также помочь предугадать результаты опыта. Тем не менее, иногда проще и дешевле провести исследования на стендах в лабораторных условиях и определить искомые данные опытным путём. Что в свою очередь может быть применено для подготовки исходных данных для проведения виртуальных испытаний.

Выводы по разделу. Итак, как мы убедились, что площадь пятна контакта может оказывать влияние на коэффициент сцепления, что в свою очередь может оказать существенное влияние на движение, управляемость и устойчивость автомобиля. Поэтому целью данной работы является - выяснить как площадь пятна контакта с опорной поверхностью влияет на коэффициент сцепления в поперечной плоскости, а задачей - выявить зависимость коэффициента сцепления от площади пятна контакта и построить графики.

2 Поиск патентных и технических аналогов разрабатываемой конструкции

2.1 Результаты поиска патентных аналогов конструкции

В качестве прототипа разрабатываемой конструкции, среди патентов, находящихся в открытом доступе, был обнаружен стенд для испытания пневматических шин, в соответствии с описанием устройство к авторскому свидетельству № 1195210, Россия.

Изделие относится к транспортному машиностроению, а именно к стендам для исследования взаимодействия пневматических шин с пластически деформируемыми опорными поверхностями. Цель устройства – расширение функциональных возможностей исследования взаимодействия пневматических шин с пластически деформируемыми поверхностями.

На рисунке 20 схематически изображен стенд, общий вид; на рисунке 21 – то же, вид сбоку; на рисунке 22 – грунтовая ванна на рисунке 23 – схема взаимодействия шины с грунтовой ванной; на рисунке 24 — гидравлическая схема; на рисунке 25 — резинотканевая емкость.

«Стенд содержит силовую раму 1, на которой установлена верхняя рама 2 с направляющими роликами 3, на которых установлен поворотный круг 4. В поворотном круге 4 размещается объект испытания - шина на колесе 5, устанавливаемая на измерительной оси 6, соединяемая с поворотным кругом 4 при помощи силоизмерительных датчиков 7. Крутящий момент к шине 5 подводится при помощи привода 8 от высокомоментного гидромотора 9. Поворотный круг поворачивается в верхней раме 2 при помощи привода (на рисунке 2.1 и 2.2 не показан) и служит для установки углов увода колеса относительно направления перемещения грунтовой ванны 10. Грунтовая ванна 10 установлена на столе 11 и опирается на направляющие ролики 12. Для перемещения грунтовой ванны служит гидроцилиндр 13. Грунтовая ванна 10 поднимается и

прижимается к колесу при помощи гидроцилиндра 14. Направление перемещения подъема стола 11 обеспечивается направляющими 15 и роликами 16. На рисунке 2.3 изображена грунтовая ванна 10, состоящая из корпуса 17, на дне которой уложены резиноканевые емкости 18 (резиноканевые емкости 18 за счет давления со стороны грунта 19 уменьшают свой объем и обозначены 18, поверх которых насыпан грунт 19. На рисунке 4 показано взаимодействие шины 5 с грунтовой ванной 10, где грунт 19 обжат под шиной в зоне контакта 20.» [20]

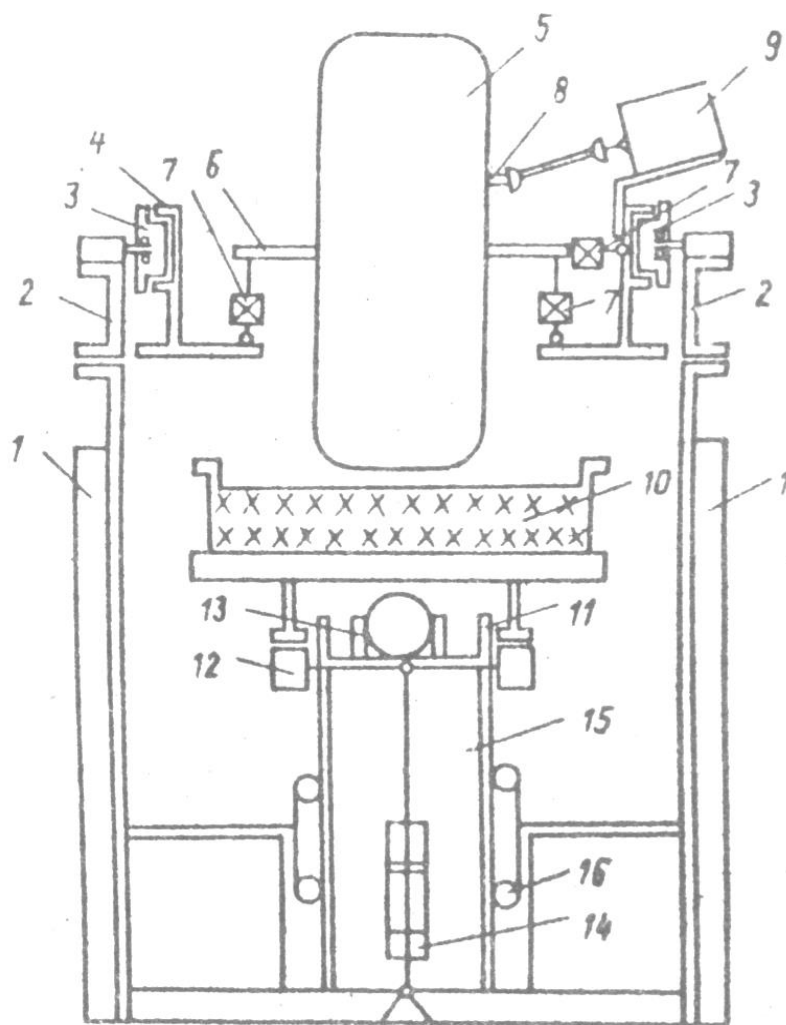


Рисунок 20 – Стенд для исследования пневматических шин, общий вид

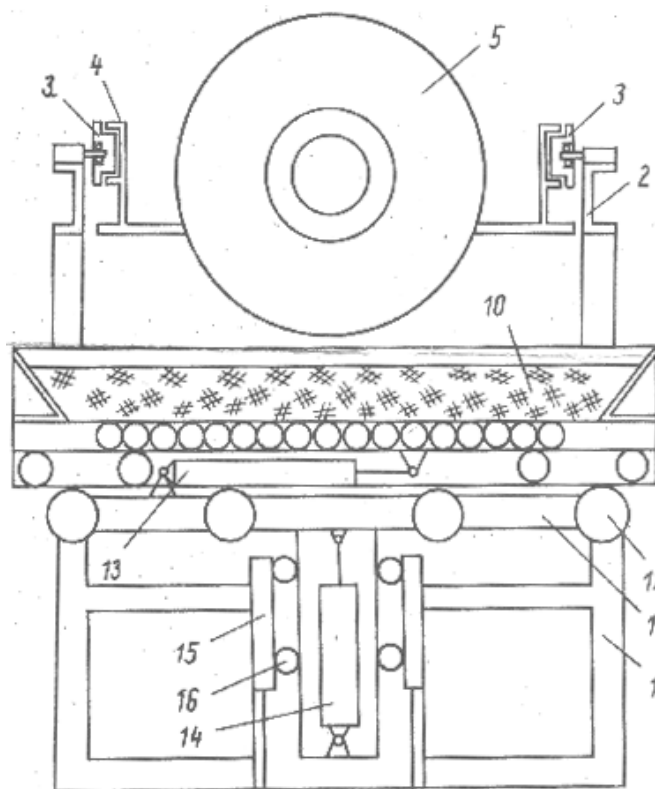


Рисунок 21 – Стенд для исследования пневматических шин, вид сбоку

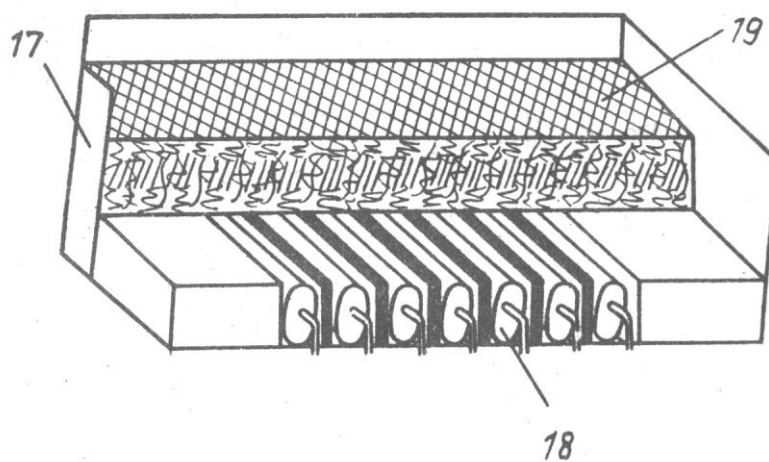


Рисунок 22 – Грунтовая ванна

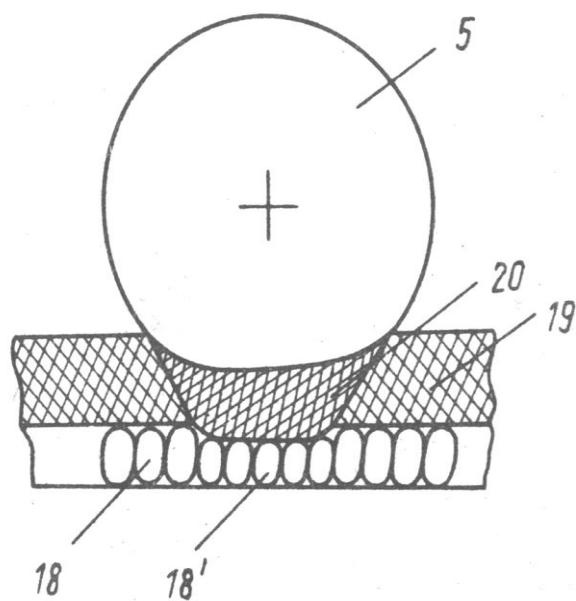


Рисунок 23 – Схема взаимодействия шины с грунтовой ванной

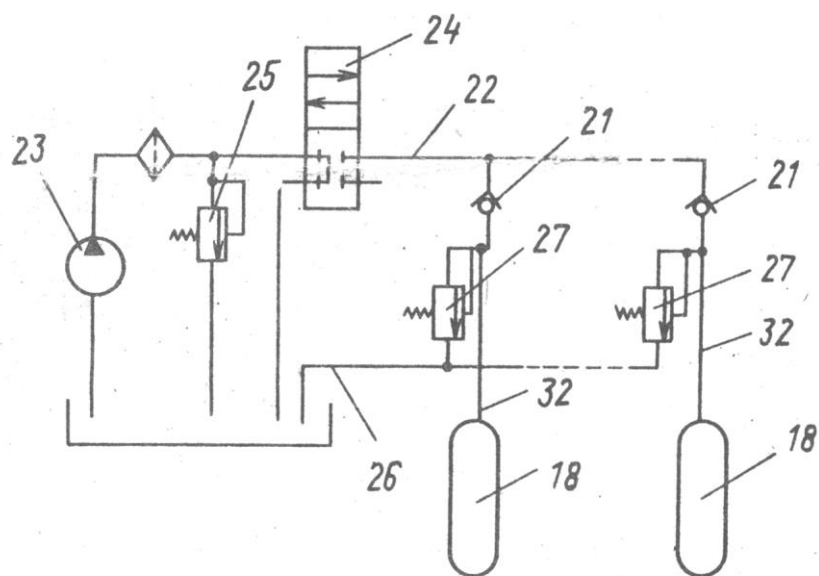


Рисунок 24 – Гидравлическая схема

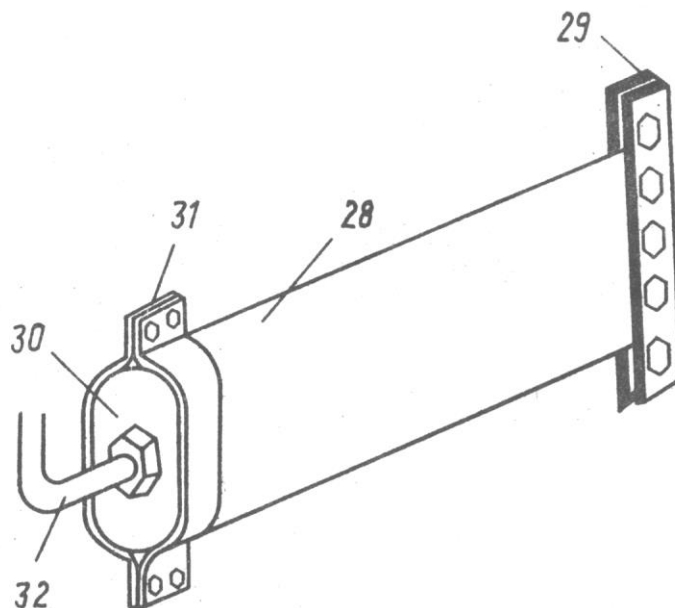


Рисунок 25 – Резинотканевая емкость

Предполагается применение предложенного стенда для испытания шин раллийных автомобилей и автомобилей, сконструированных для ралли-рейдов. Конструкция стенда в целом предполагает имитацию режимов движения автомобилей данных марок.

Стенд предполагает исследование всех возможных режимов работы пневматических шин:

1. Ведомого режима.
2. Ведущего режима.
3. Тормозного режима.

2.2 Результаты поиска промышленных прототипов конструкции

В процессе поиска аналогов разрабатываемой конструкции были обнаружены стенды, используемые в автомобильной промышленности для проведения исследований по автомобильным шинам.

Исследования проводятся лабораторным методом. «Как было определено ранее, работу шины во многом определяют ее упругие или жесткостные характеристики, в частности характеристики радиальной, тангенциальной, боковой и угловой жесткостей, представляющих собой отношение соответственно радиального, тангенциального, бокового усилий, а также момента в месте контакта шин с дорогой к вызываемым ими деформациям шины в соответствующих направлениях.» [15]

«Для определения радиальной жесткости обычно используют пресс, имеющий механизм нагружения и систему отсчета деформаций. В шинной промышленности для этой цели применяют стенд ОПШ-30, предназначенный для испытаний металлических образцов на разрыв. Стенд ОПШ-30 (рисунок 26) имеет неподвижную траверсу 3, на которой установлен гидроцилиндр 4.» [1]

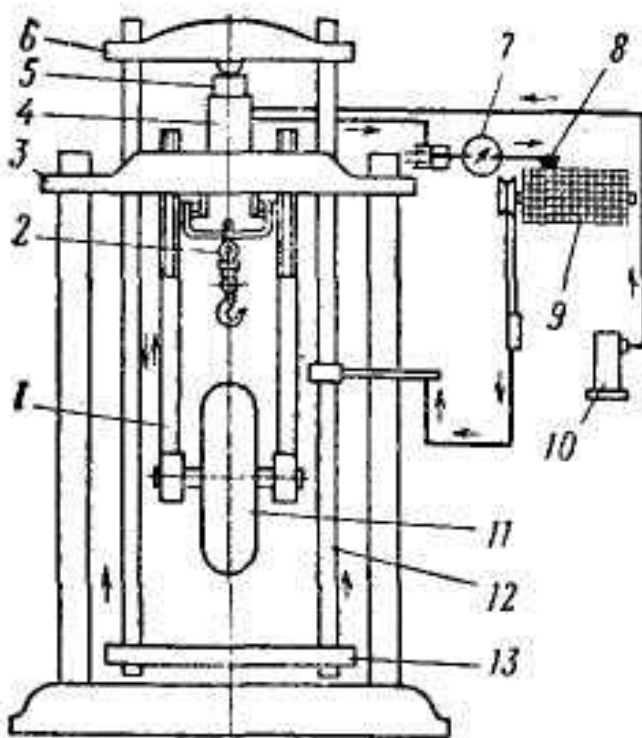


Рисунок 26 – Испытательный стенд ОПШ-30

«Плунжер стенда 5 через подвижную траверсу 6 и тяги 12 перемещает стол 13, воздействующий на шину 11, которая подвешена с помощью тег 1 к траверсе 3. На этой траверсе укреплен крюк 2 подъемной тали для установки

колеса. Давление в гидроцилиндре создается насосом 10 и измеряется силоизмерительным прибором 7, показания которого пропорциональны действующей нагрузке. Стенд оборудован записывающим устройством, барабан которого соединен тросиком с тягой 12 и поворачивается на угол, пропорциональный деформации шины, а перо 8 в зависимости от действующей нагрузки перемещается по образующей барабана 9 и автоматически вычерчивает кривые в координатах усилие - радиальная деформация шины. На стенде кроме характеристик радиальной жесткости определяют площади отпечатков и статические радиусы шин, а также прочность каркаса методом продавливания шины наконечником соответствующей формы с последующим подсчетом работы, затраченной на разрушение, которая характеризует прочность каркаса. Тангенциальную, или окружную, жесткость шины определяют на установках, принципиальная схема одной из которых дана на рисунке 27» [1]

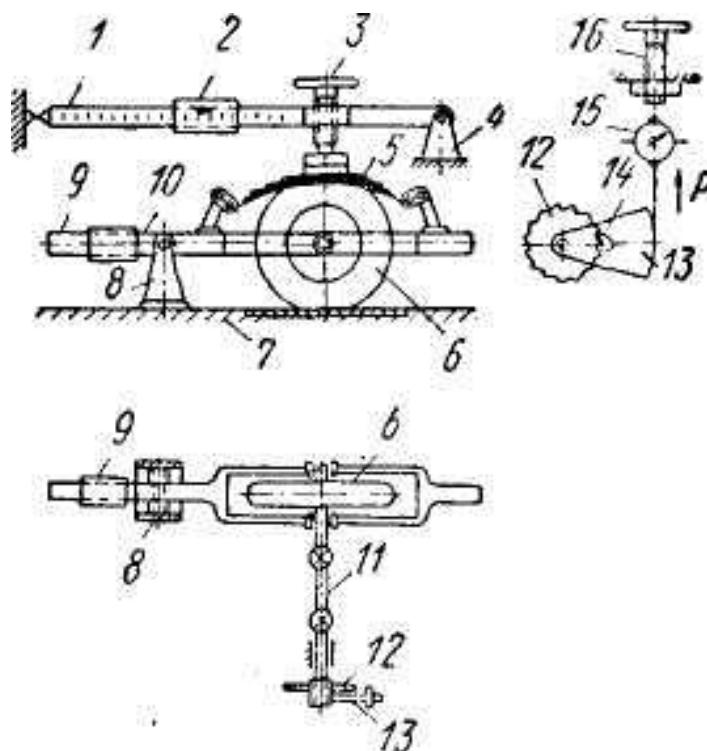


Рисунок 27 – Установка для определения тангенциальной жесткости шин

«По верхней штанге 1 установки перемещается груз 2. Это позволяет регулировать вертикальное усилие, прикладываемое к испытываемому колесу 6, путем изменения момента груза 2 относительно опоры 8. Винт 3 служит для поддержания рычага в горизонтальном положении и непосредственно передает усилие через рессору 5 на балку 10, закрепленную на оси стойки 8 и имеющую груз 9, служащий для вывешивания колеса относительно опорной плиты 7. Карданный вал 11 соединяет колесо с храповым устройством 12, собачка 14 которого через сектор 13 и трос связана с винтом 16. По осевому перемещению винта 16 с учетом передаточного отношения определяют угол закручивания, а по динамометру 15 усилие, которое создается на колесе. Отношение этого усилия к углу поворота колеса - тангенциальная, или окружная, жесткость шины.

Боковую жесткость шины определяют на установках, схема одной из которых изображена на рисунке 28.» [1]

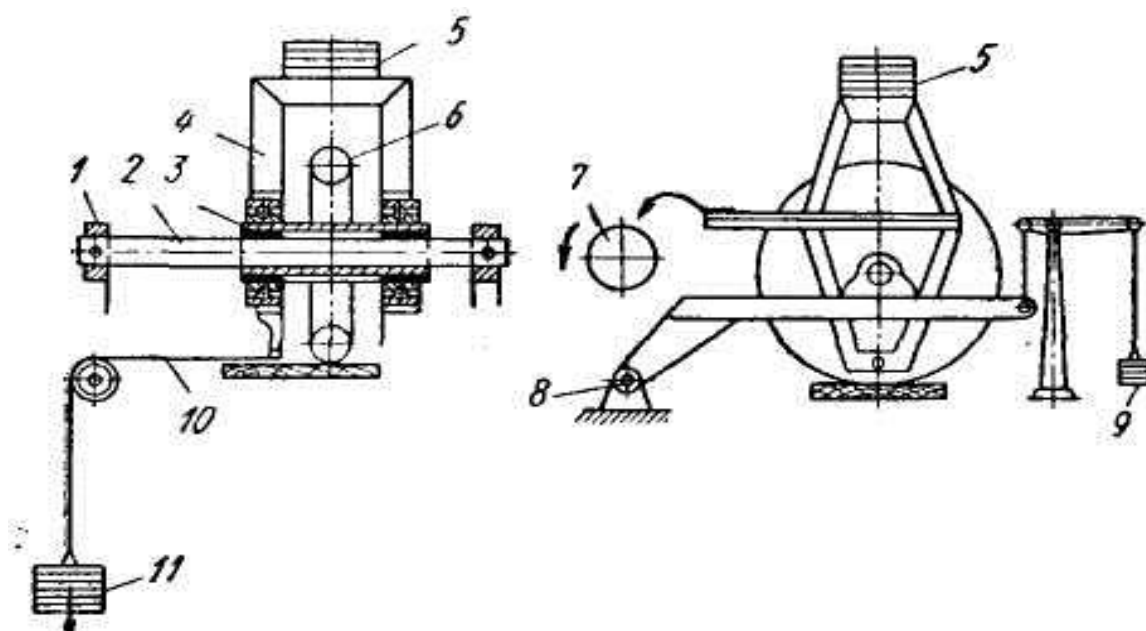


Рисунок 28 – Установка для определения боковой жесткости шин

«Испытуемое колесо 6 жестко связано с трубой 3, свободно посаженной на оси, вследствие чего труба может перемещаться вдоль оси и вращаться вокруг нее. Через подшипники труба связана с рамой 4, на которую

воздействуют груз 5, прижимая шину к основанию. Груз 11 через блок и трос 10 создает боковое усилие на колесе. Ось 2 жестко связана со станиной 1, последняя может качаться на шарнире 8, что необходимо для первоначального вывешивания колеса, которое осуществляется с помощью противовеса 9. Боковая деформация шины фиксируется самопишущим устройством 7. По величине отношения боковой силы к боковой деформации шины определяют ее боковую жесткость.» [1]

Для определения угловой жесткости шины опирают шину на поворотный диск, взаимодействующий с основанием через шарики. По отношению момента, поворачивающего диск, к углу его поворота подсчитывают угловую жесткость в месте контакта шины с основанием.

«Продольный коэффициент сцепления, представляющий собой отношение касательного усилия в месте контакта к нормальной нагрузке на колесе при его скольжении, определяется на установке, которая используется для снятия тангенциальной жесткости шины (см. рис. 2). Поперечный коэффициент сцепления, характеризуемый отношением боковой силы к нормальной нагрузке на колесе при боковом скольжении колеса, определяется на установке, изображенной на рис. 3. На этой же установке, если колесо опереть не на неподвижное основание, а на вращающийся барабан или диск с приводом от электродвигателя, можно снимать характеристики бокового увода шин. Однако не менее распространены стенды, на которых боковую силу изменяют поворотом оси вращения колеса по отношению к оси вращения бегового барабана.» [3]

«Сопротивление качению в лабораторных условиях определяется на стендах с беговым барабаном или вращающимся в горизонтальной плоскости диском. Принципиальная схема стенда с беговым барабаном приведена на рисунке 29.» [1]

«Колесо с испытуемой шиной 1 опирается на беговой барабан 2 и имеет привод от электродвигателя 3, а барабан соединен с генератором 4. Разность мощностей электродвигателя и генератора (за вычетом мощности,

обусловленной вентиляционными потерями при вращении шины) определит мощность, затрачиваемую на преодоление сопротивления качению колеса, а коэффициент сопротивления качению колеса f может быть вычислен по формуле:» [1]

$$f = \frac{N}{Q_u} \quad (20)$$

где: N - мощность, затрачиваемая на качение колеса по барабану;
 Q - нагрузка на колесо;
 u - окружная скорость.

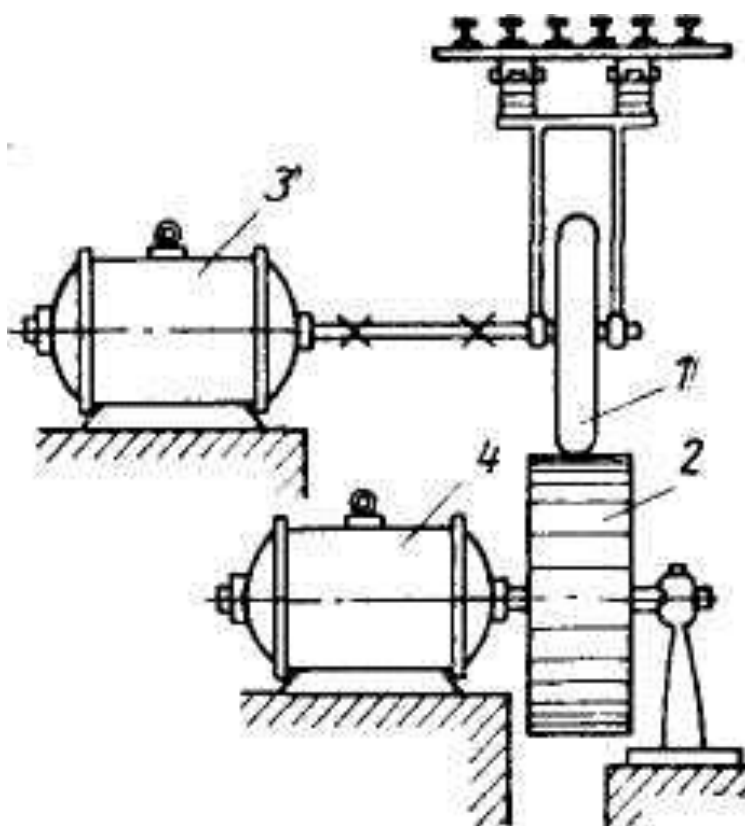


Рисунок 29 – Стенд для определения сопротивления качению шин

«Испытания шин на долговечность, включая усталостную прочность каркаса и износостойкость протектора, проводят на шинообкатных станках, схема одного из которых приведена на рисунке 30.» [1]

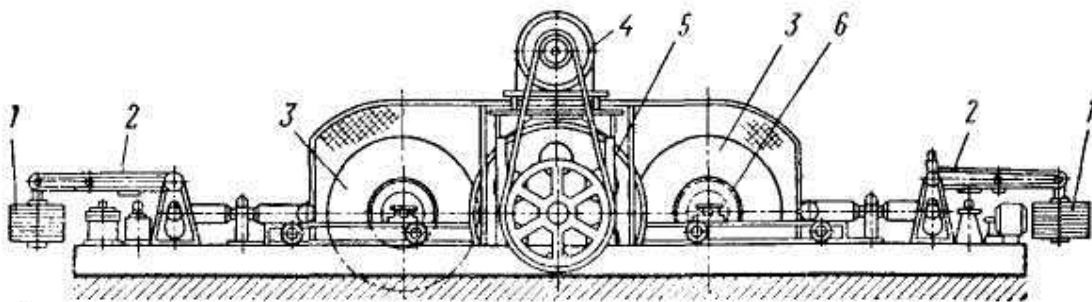


Рисунок 30 – Шинообкатный станок

«Беговой барабан 5 получает привод от электродвигателя 4 и приводит во вращение две испытуемые шины 3. Они установлены на каретках 6, которые, перемещаясь на роликах по направляющим станины, прижимают шины к беговому барабану под действием грузов 1 через угловые рычаги 2. Станок является универсальным, на нем можно проводить испытания шин диаметром до 1400 мм при нагрузке до 45 кН и скорости качения 25-150 км/ч. Для проверки прочности каркаса при воздействии динамических нагрузок на рабочей поверхности барабана укрепляют различных размеров препятствия.» [1]

Выводы по разделу. Исходя из проведенного анализа, и учитывая характер и особенности испытываемых шин, предназначенных для автомобилей для перемещения вне дорог общего пользования, принимаем решение о дальнейшем проектировании стенда на основании произведенного патентного поиска. Конструкция, описанная в патенте, является наиболее универсальной и может быть адаптирована для проведения комплексных испытаний автомобильных шин.

3 Конструкторский раздел

3.1 Тяговый расчет транспортного средства – объекта исследования

Тип автомобиля – полноприводный легковой автомобиль 2 класса

Колесная формула – 4x4

Количество человек – $n = 1$ (чел.)

Длина = 3720 мм.

Ширина (B_T) = 1680 мм.

Высота (H_T) = 1640 мм.

Масса в снаряженном состоянии – $m_0 = 1210$ кг.

Шины : 185/75 R 16

Коэффициент аэродинамического сопротивления - $C_x = 0.58$

Коэффициент сопротивления качению - $f_0 = 0.016$

Коэффициент преодолеваемого уклона - $\alpha_{\max} = 0.30$

Максимальная скорость - $V_{\max} = 145$ км/ч (40 м/с)

Максимальная частота вращения коленчатого вала – $\omega_{e \max} = 630$ с⁻¹
(6016 об/мин)

КПД трансмиссии – $\eta_{тр} = 0.92$

Число передач – 5

По исходным данным выполнен тяговый расчет, графики которого приведены в приложении А и на листе графической части дипломного проекта.

3.2 Разработка конструкции стенда для испытания шин внедорожных автомобилей

3.2.1 Техническое задание на разработку стенда для испытания шин внедорожных автомобилей

Требуется разработать стенд для проведения испытаний шин внедорожных автомобилей. Основанием для разработки будет являться описание изобретения к авторскому свидетельству № 1195210, Россия. Полное описание приведено в разделе 2.1 данной расчетно-пояснительной записки.

Стенд для исследования пневматических шин, содержащий, согласно описанию изобретения раму, установленные на ней стол с устройством для его вертикального подъема, поворотный круг с механизмами крепления и привода испытуемого колеса с шиной и привод вращения поворотного круга относительно вертикальной оси, снабжен грунтовой ванной, установленной на столе с возможностью горизонтального перемещения.

Техническая характеристика разрабатываемого стенда, в рамках технического задания составляется, исходя из характеристик, необходимых для проведения лабораторно-исследовательских работ.

Характеристики установки:

Габаритные размеры: 1500 x 1500 x 1700

Масса установки, не более: 750 кг

Диаметр диска: 12” – 20”

Максимальный диаметр колеса: 1200 мм

Назначение стенда – проведение испытаний шин колес автомобилей раллийных модификаций и автомобилей ВАЗ. В разрабатываемой конструкции следует предусмотреть возможность дальнейшего усовершенствования конструкции за счет расширения номенклатуры испытуемых колес и увеличения варьирования режимов нагружения.

3.2.2 Техническое предложение на разработку стенда для испытания шин внедорожных автомобилей

В соответствии с техническим заданием на разработку стенда для испытания шин внедорожных автомобилей требуется провести разработку вариантов компоновки стенда.

Рассмотрим возможные варианты компоновки изделия и проведем их анализ для выявления наиболее приемлемого варианта, рисунок 31, рисунок 32.

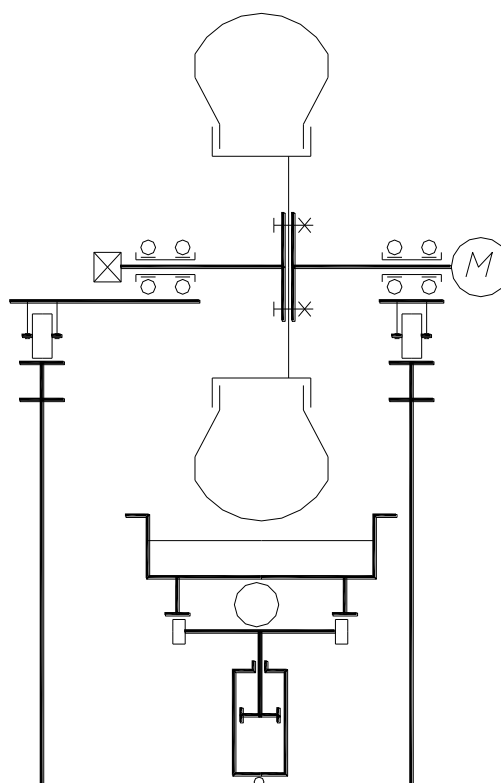


Рисунок 31 – Первый вариант компоновки

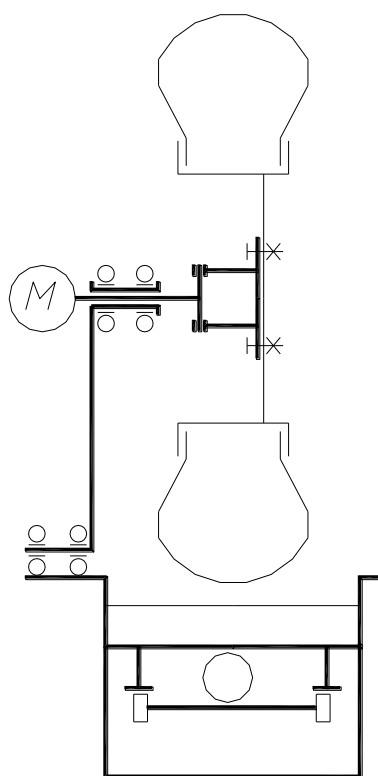


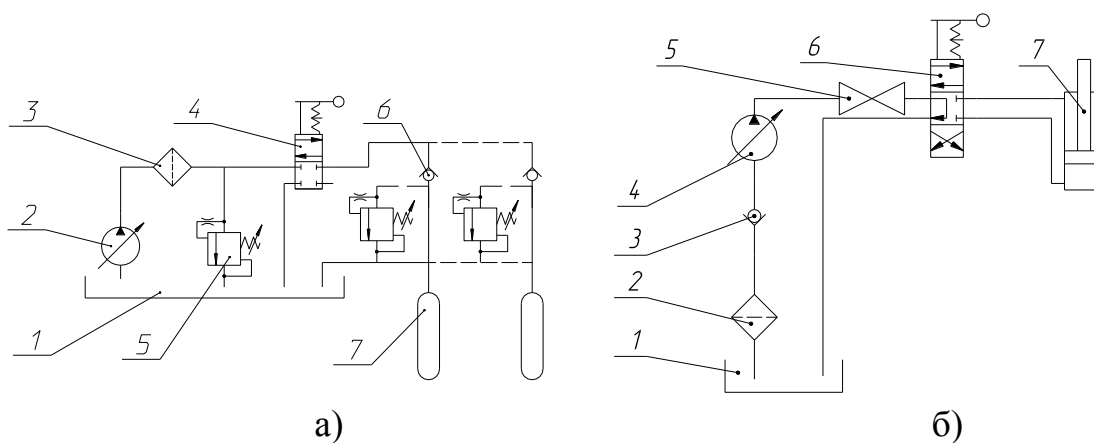
Рисунок 32 – Второй вариант компоновки

Первый вариант компоновки предполагает выполнение изделия по описанию изобретения, когда в качестве механизма задания угла поворота колеса с шиной используется поворотный круг, а само колесо закрепляется на паре полуосей. Недостатком подобной компоновки является неудобство закрепления колеса, так как в этом случае приходится производить смещение одной из полуосей в сторону, что потребует дополнительных затрат по организации шлицевого узла. Подъемная ванна требует сложного механизма подъема, с применением цилиндра или другого узла подъема, кроме того, достаточно неудобно производить тарировку системы нагружения для каждой из марок колес. Также стоит отметить большую металлоемкость конструкции, что является причиной более высокой стоимости изготовления и сборки.

Второй вариант компоновки предполагает изделие, выполненное с возможностью закрепления колеса с шиной консольно на оси. В этом случае значительно упрощается процесс монтажа-демонтажа испытуемого объекта. В качестве механизма задания угла поворота колеса для имитации режима торможения с уводом предполагается использовать винтовой механизм (не показан), а само колесо закрепить с возможностью поворота относительно вертикальной оси. Подобная мера позволит значительно снизить металлоемкость стенда, так как нет необходимости выполнения беговой дорожки под поворотное устройство. Колесо закрепляется на штанге с возможностью поворота, что во-первых позволит закреплять шины различного размера, а во-вторых позволит имитировать различные режимы нагружения используя гидроцилиндр меньшей мощности.

Окончательно принимается второй вариант компоновки.

Рассмотрим гидравлическую схему установки, так как предполагается применение в конструкции гидроцилиндра, ввиду малых габаритов и развиваемых им больших усилий.



а) контур закачки резиноканевых емкостей: 1 – масляный бак; 2 – насос; 3 – фильтр; 4 – кран-переключатель; 5 – перепускной клапан; 6 – обратный клапан; 7 – резиноканевая емкость.

б) контур гидроцилиндров: 1 – масляный бак; 2 – фильтр; 3 – обратный клапан; 4 – насос; 5 – вентиль; 6 – кран переключатель; 7 – гидроцилиндр.

Рисунок 33 – Гидравлическая схема установки

На рисунке 33 изображена гидравлическая схема установки. Гидросистема состоит из нескольких независимо работающих контуров – контура заправки резиноканевых емкостей и контуров гидроцилиндров.

Контур заправки резиноканевых емкостей позволяет подключать любое их количество, ограничиваясь лишь подачей насоса. Выполнение предполагается по замкнутой схеме.

Подключение цилиндра предполагается также по замкнутой схеме, для компенсации гидрпотерь из-за протяженности рукавов предполагается применение бака, закрытого от внешней среды. Тип насоса в техническом предложении не обговаривается, но предположительно будет применяться шестеренный гидронасос.

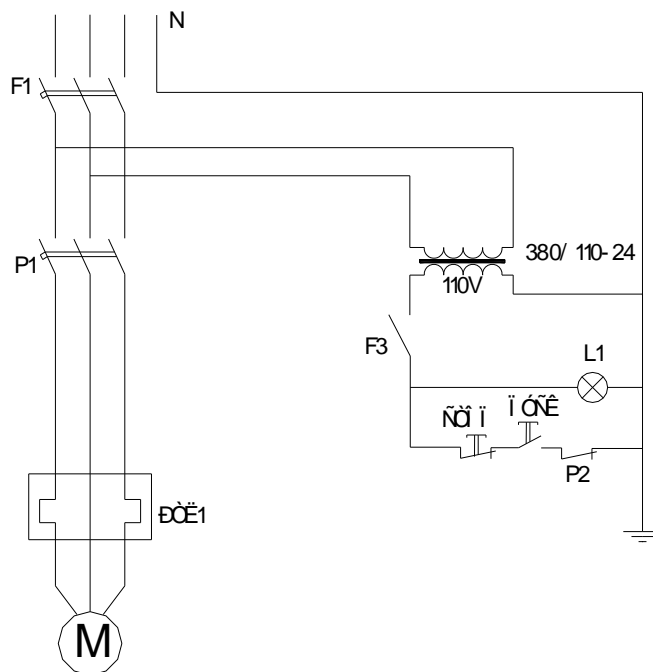


Рисунок 34 – Электрическая схема подключения двигателей установки

На рисунке 34 представлена схема подключения двигателей стенда. Так как предполагается использовать в конструкции электродвигатели с мощностью до 8 кВт, то схема представленная на рисунке выполнена сообразно с мощностью. Каких либо особенностей схема не имеет.

На рисунке 35 изображена кинематическая схема изделия с указанными на ней наиболее характерными для данного изделия разрезами. Рассмотрим каждый из них отдельно с проведением анализа, для выявления наилучшего для каждого вариантов компоновки.

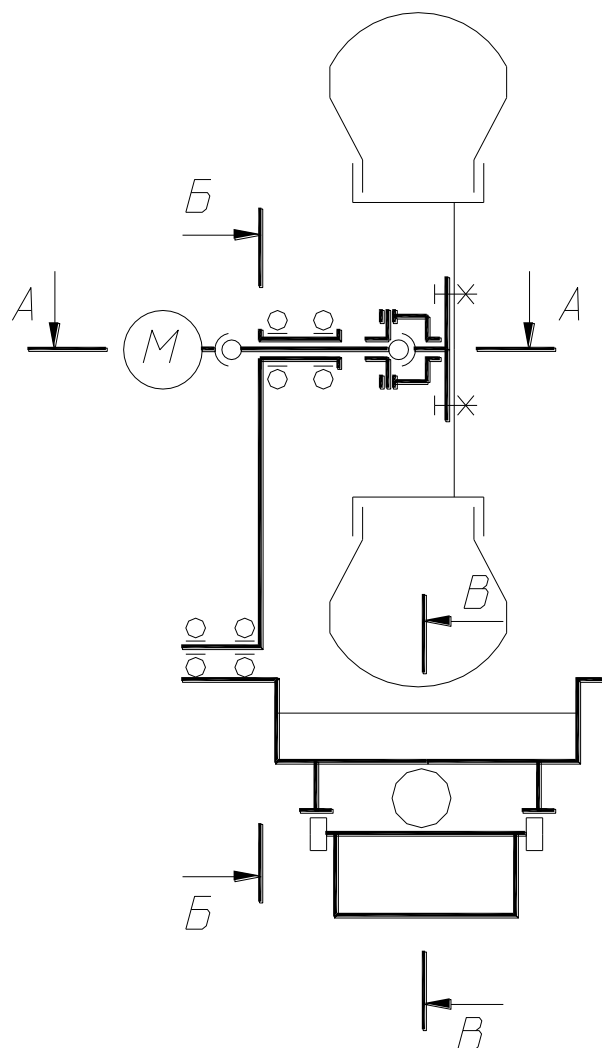
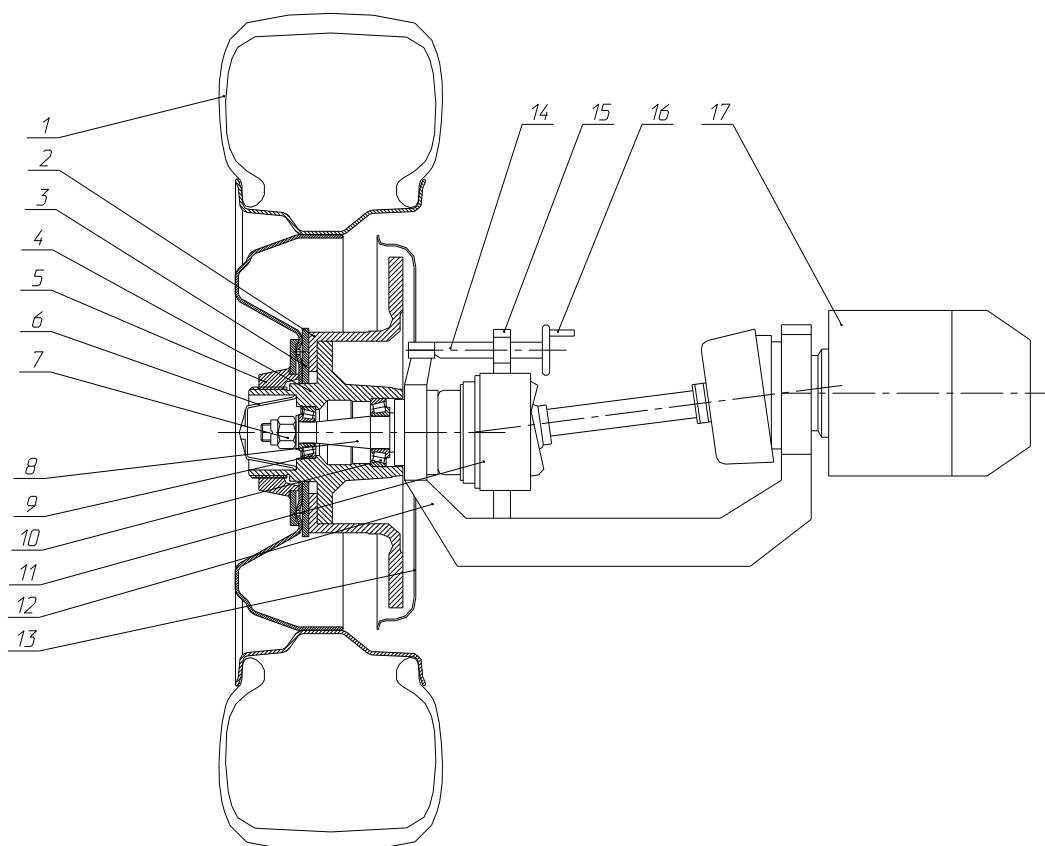


Рисунок 35 – Кинематическая схема станда.

Рассмотрим предложенные к проработке разрезы, с целью определения наиболее приемлемой компоновки. Разрез компоновки приводного узла представлен на рисунке 36.

Варианты компоновки приводного узла по разрезу А-А.

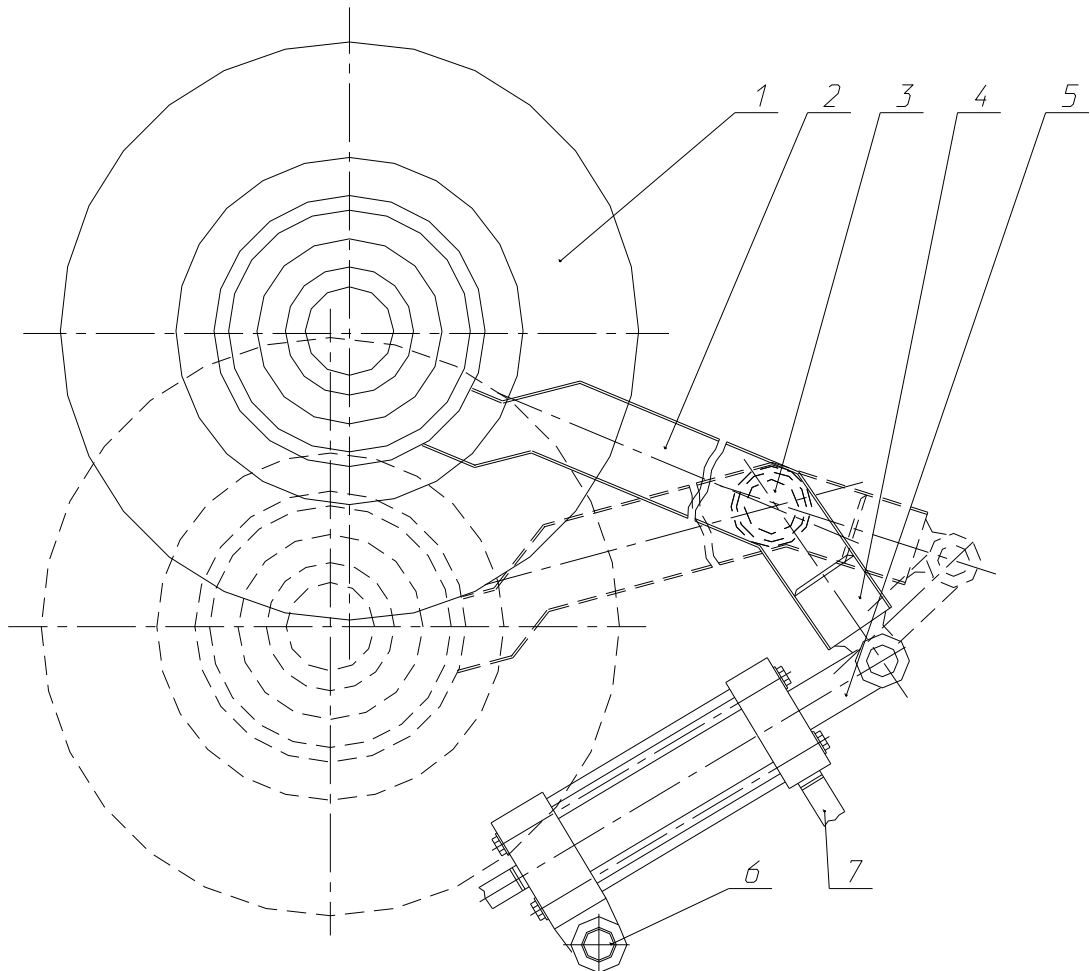


1 – колесо с шиной; 2 – тормозной диск; 3 – диск ступицы; 4 – ступица; 5 – зажим; 6 – крышка; 7 – гайка; 8 – ось ступицы; 9 – передний подшипник; 10 – задний подшипник; 11 – привод с ШРУС; 12 – опорная балка; 13 – защитный кожух; 14 – ось поворота колеса; 15 – кронштейн оси; 16 – маховик; 17 – высокомоментный двигатель.

Рисунок 36 – Компоновка по разрезу А-А

В качестве основного элемента крепления предполагается использование узла от переднеприводного автомобиля. В этом случае без изменений используются механизм привода со ШРУС 11, ось ступицы 8 и тормозной диск с суппортом 2, который предполагается использовать для имитации движения колеса с различной степенью заторможенности. Ступицу 4 предполагается изготавливать самостоятельно. Это связано с тем, что на стандартный механизм привода предполагается закрепление различных типов дисков с шиной 1. Предполагается в этом случае, что будет осуществляться крепёж путем навинчивания на ступичную часть зажима 5, непосредственно прижим будет также производиться путем использования различных

переходных шайб со штифтами, расположенными в местах нахождения крепежных болтов на диске. Таким образом, передача крутящего момента будет производиться от ШРУС 11 к ступице 4, а затем через прижим с шайбой 5 на колесо 1. В качестве привода предполагается использования либо высокомоментного гидромотора, либо мотор-редуктора. Выбор того или иного типа двигателя будет подтвержден расчетом крутящего момента при необходимой скорости перемещения. Предполагается также испытание колеса в режиме увода, для чего узел предполагается оснастить механизмом задания угла поворота. Механизм представляет из себя винтовую передачу 14, перемещающую через рычаг колесо. Весь узел монтируется на балке 12.

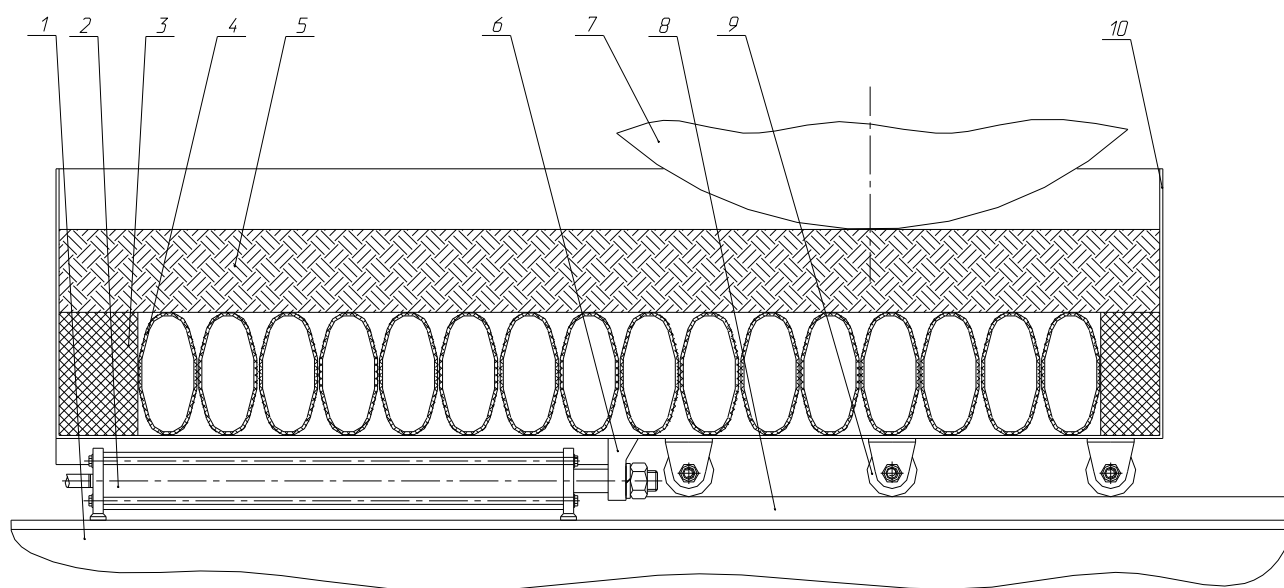


1 – колесо с шиной; 2 – опорная балка; 3 – шарнир; 4 – кронштейн; 5 – гидроцилиндр; 6 – шарнир цилиндра.

Рисунок 37 – Компоновка узла наклона по разрезу Б-Б

Предполагается закрепление колеса 1 на опорной балке 2 с возможностью наклона относительно шарнира 3. Данное решение позволит производить закрепление колес с шиной 1 различного размера и осуществлять нагружение, имитирующее нагрузку на колесо во время движения, при помощи одного гидроцилиндра 5. Предполагается выполнение опорной балки 2 изогнутой формы, что позволит уменьшить габариты узла в целом. Гидроцилиндр 5 соединяется с балкой посредством кронштейна 4, который предполагается вваривать в корпус балки 2. В качестве шарнирного подшипника, ввиду малого угла поворота и больших сил, воздействующих на узел в момент нагружения предполагается использовать втулки из бронзы или из сплавов на ее основе.

Вариант исполнения узла перемещения грунтовой ванны по разрезу В-В представлен на рисунке 38.



- 1 – станина стенда; 2 – гидроцилиндр; 3 – габаритная вставка; 4 – резинотканевая емкость;
 5 – грунтовый слой; 6 – кронштейн; 7 – колесо; 8 – направляющая; 9 – опорный ролик;
 10 – корпус ванны.

Рисунок 38 – Компоновка узла перемещения грунтовой ванны по разрезу В-В

Грунтовая ванна, представляет из себя стальную емкость 10, нижняя часть которой заполняется резиноканевыми емкостями 4, устройство и принцип действия которых описан выше. Для имитации качения колеса 7, предполагается перемещение всей ванны 10, при неподвижном колесе 7, для чего ванна оборудуется направляющими полозьями 8, расположенными в нижней части. Перемещение осуществляется по опорным роликам 9, причем ролики 9 располагаются через равные промежутки: меньшие в месте непосредственного контакта, большие в месте перемещения ванны 10 без нагрузки. В качестве механизма перемещения предполагается использовать гидроцилиндр 2, ввиду больших развиваемых усилий при относительно небольших габаритных размерах. Габаритные вставки 3 предназначены для ограничения хода колеса 7 по пространству с резиноканевыми емкостями 4, а также для предотвращения контакта емкостей 4 непосредственно со стенками ванны 10. Весь механизм перемещения ванны 10 размещается непосредственно на станине стенда 1.

3.2.3 Эстетика стенда для испытания шин внедорожных автомобилей

«Проработка внешнего эстетичного вида разрабатываемого изделия производится для повышения маркетинговой привлекательности продукции, а также с целью создания оптимальной гармонии изделия с условиями эксплуатации.» [12]

«Рама стенда выполняется из пространственно сваренных швеллеров, что визуально создает ощущение надежности и устойчивости всей конструкции в целом. Опорную балку следует выполнять по габаритам в пропорциях, соотносимых с размерами рамы (приблизительный диапазон соотношений 0,8-1,2 длин корпуса), так как с точки зрения эстетики подобная деталь создаст впечатление громоздкости конструкции и малой жесткости ее крепления, а при меньших размерах впечатление необходимости приложения значительных усилий. Подобные вещи вызывают у персонала, обслуживающего стенд, некоторый моральный

дискомфорт, что в целом ведет к дополнительному отвлечению внимания. Изделие в полной мере отражает свое функциональное предназначение, т.е. испытания колес транспортного средства и имеет все характерные признаки для своего класса. Стенд имеет четко выраженный рабочий орган (опорную балку с механизмом крепления и привода, а также грунтовую ванну), который подчеркивают тип выполняемых при помощи данного изделия видов работ.» [20]

«Немаловажное значение при проработке эстетических требований стоит уделить окраске изделия, которая должна быть достаточно заметной, чтобы привлекать внимание, как и всякий мобильный объект, особенно в производственных условиях, но в то же время не выступать дополнительным раздражающим фактором для рабочего. Рекомендуется окрасить грунтовую ванну и опорную балку эмалью в оранжевый цвет, дополнительно рекомендуется нанести черные полосы, что позволит изделию не теряться на пространстве. Наружные неподвижные плоскости стенда можно также окрасить эмалью, либо порошковой краской в светло-зеленый, либо синий цвет. Внутренние поверхности дверец электрошкафов необходимо окрасить в красный цвет. Рукоятки выполнить из черной резины, что визуально сгладит их очертания и создаст визуальное ощущение завершенности конструкции. На выступающие детали нанести черные полосы, что подчеркнет габариты конструкции и послужит дополнительным фактором привлечения внимания к мобильному объекту.» [17]

3.2.4 Эргономика стенда для испытания шин внедорожных автомобилей

«Немаловажное значение при проектировании какого либо изделия имеют его эргономические показатели, то есть его степень приспособленности к усредненным человеческим параметрам. Именно эти параметры и являются определяющими при дальнейшем внедрении изделия в производство.» [20]

«Установка предназначена для испытаний колес транспортных средств. Согласно требованиям эргономики, высота подъема рабочим колеса массой до 12 кг не должна превышать 0,8 м. Усилие рабочего при монтаже-демонтаже должно составлять не более 150 Н при воздействии на рычаг прижима. При движении ванны конструкция установки должна обеспечивать рабочему оптимальные углы обзора, для обеспечения безопасности движения. Горизонтальные углы обзора (без учета поворота головы рабочего) должны составлять 60°, вертикальные-10° вверх и 30° вниз.» [20]

Пульт управления должен находиться на высоте 850-900 мм от уровня пола, что продиктовано требованиями эргономики, предъявляемым к органам управления испытательных устройств и стендов.

3.2.5 Расчет конструкции стенда для испытания шин внедорожных автомобилей

Расчет производится, исходя из того, что максимальная нагрузка на колесо составит нагрузку, эквивалентную максимальной нагрузке на колесо автомобиля данной марки. Имитацию нагружения предполагается выполнять с использованием гидроцилиндра, воздействующего на узел закрепления через рычаг. Рассмотрим схему узла, для определения габаритных размеров цилиндра и развиваемых им усилий, за габариты узла примем размеры рычага, определенные в результате предварительной компоновки конструкции.

Наибольшая величина нагрузки будет соответствовать автомобилю с полной нагрузкой, так как предполагается проводить испытания колес автомобилей этой марки. Максимальная нагрузка на колесо, исходя их полной массы автомобиля 2800 кг составит 700 кг, для расчетов, с учетом возможных условий имитации с перегрузкой а также неравномерности развесовки по осям, принимаем 750 кг.

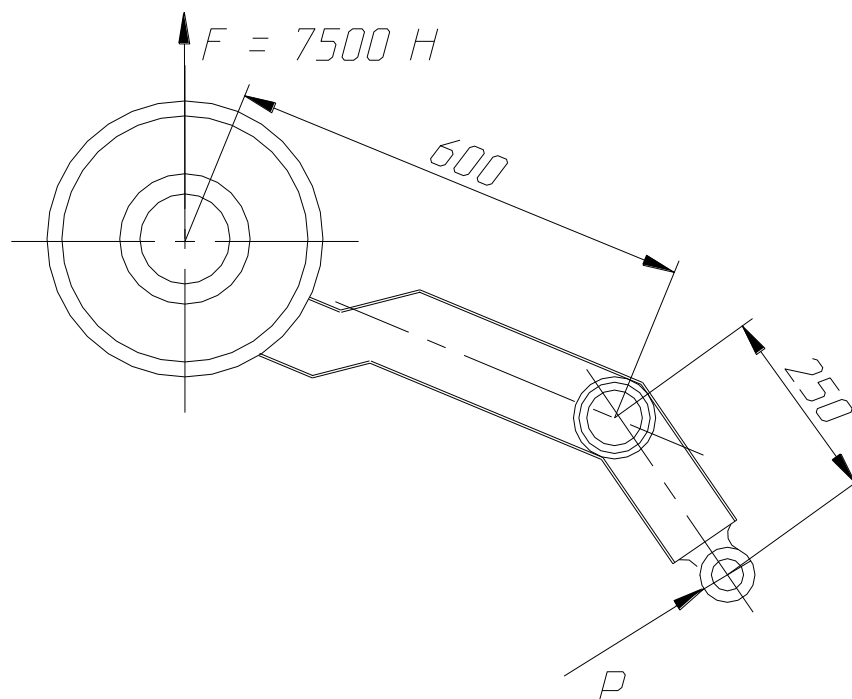


Рисунок 39 – Схема узла имитации колесной нагрузки

Произведем расчет усилия на штоке гидроцилиндра и его габаритные размеры. Сила от воздействия приложенной силы P определяется из соотношения:

$$W = \frac{P * 0.25}{0.6} \quad (21)$$

Зная что сила $W = 7500 \text{ Н}$, определим силу P

$$P = \frac{W * 0.6}{0.25} \quad (22)$$

$$P = \frac{7500 * 0.6}{0.25} = 18000 \text{ Н}$$

Произведем расчет основных параметров гидроцилиндра, исходя из максимального усилия на штоке 18000 Н (1800 кгс).

Площадь поршня определяется из выражения:

$$F = P / p, \text{ где } p - \text{давление нагнетания, кгс/см}^2,$$

$$p = 15 \text{ МПа} = 150 \text{ кгс/см}^2$$

$$F = 1800 / 150 = 12 \text{ см}^2$$

Диаметр цилиндра определяется из условия.

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi}}, \quad (33)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 12}{3,14}} = 3,91 \text{ см}$$

Принимаем диаметр гидроцилиндра $D = 40$ мм.

Толщина стенки определяется из условия

$$S \geq p * D / (2 * [\sigma_p]) \quad (24)$$

$$S \geq 15 * 0,04 / (2 * [51]) = 0,006 \text{ м}$$

Из соображений обеспечения запаса прочности в 1,2 раза принимаем толщину стенки гидроцилиндра, равную $S = 6 * 1,2 = 7,2$ мм. Окончательно принимаем для данного элемента толщину стенки 7 мм.

Подача насоса определяется из условия перемещения колеса с шиной на величину, достаточную для проведения монтажно-демонтажных работ, принимается из предварительной компоновки 0,17 м за 0,5 мин, при этом ход поршня составляет 170 мм. Таким образом, подача насоса должна составлять:

$$G = V / t, \text{ где}$$

V – объем заполняемой полости, м^3

t – время заполнения полости, мин

$$G = \frac{\pi * D^2 * L}{4 * t} \quad (25)$$

$$G = \frac{3,14 * 0,04^2 * 0,17}{4 * 0,5} = 0,0004$$

Величина подачи для данного гидроцилиндра составляет 0,4 л/мин, этому условию соответствует шестеренный насос на основании полученной минутной подачи и рабочего давления. Этим условиям соответствует шестеренный насос НШ4Е: рабочий объем – 4 см^3 , подача – 0,46 л/мин, давление нагнетания 15 МПа, частота вращения – 1500 об/мин, мощность насоса – 2,93 кВт, объемный КПД – 0,85.

Минимальный внутренний диаметр трубопровода для жидкости определяется по формуле:

$$d = \sqrt{\frac{21,22 * Q}{v}}, \text{ мм}$$
$$d = \sqrt{\frac{21,22 * 0,46}{6}} = 1,63 \text{ мм}$$

По сортаменту выбираем рукава с внутренним диаметром 5 мм.

Толщина плоского доньшка гидроцилиндра:

$$b = 0,405 \sqrt{P_{MAX} / [\sigma_P]}. \quad (26)$$

где $P_{max} = 15$ МПа – максимальное давление масла в приводе

$$b = 0,405 \sqrt{15 / 80} = 17,5 \text{ мм}$$

Принимаем толщину плоского доньшка гидроцилиндра 18 мм

Произведем расчет устройства перемещения грунтовой ванны. В качестве механизма перемещения предполагается применение гидроцилиндра, так как привод от электродвигателя через винтовой механизм, из-за необходимости возвратного хода потребовало бы применение реверсивного электродвигателя, что значительно усложнило и удорожило бы конструкцию.

Произведем расчет усилия перемещения грунтовой ванны. Суммарное усилие складывается из сопротивления качения колеса по грунту и сопротивления качения при перемещении ванны по направляющим рельсам. Произведем расчет величины сопротивления качения колеса по грунту.

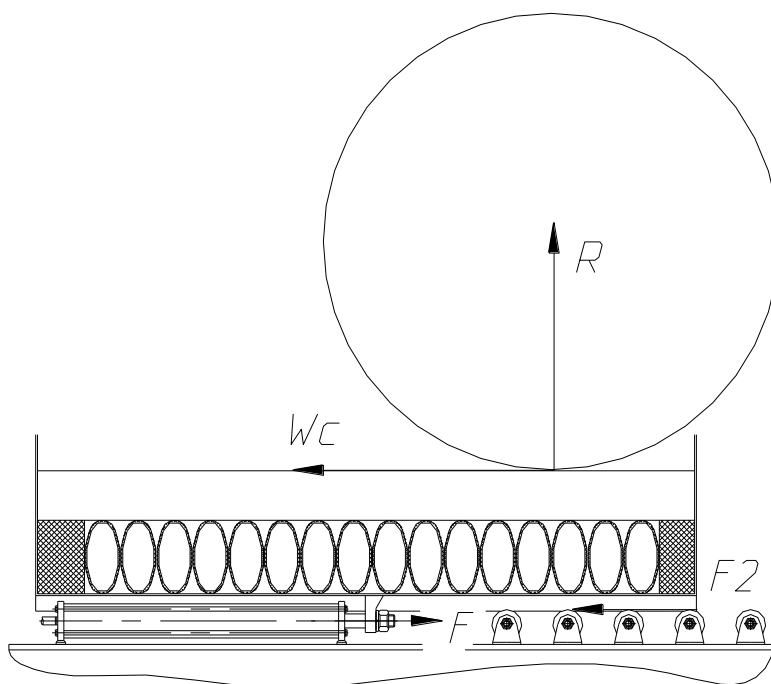


Рисунок 40 – Силы, приложенные для перемещения грунтовой ванны.

Расчет производится по формуле:

$$Wc = fk * R * \cos \beta + R * \sin \beta, \quad (27)$$

где $fk = 0,25$ – коэффициент сопротивления качения

β - допускаемое отклонение от горизонтали уровня грунта в ванне,

$$\beta = 1,5^\circ$$

R – максимальная нагрузка на колесо, $R = 7500$ Н

$$Wc = 0,25 * 7500 * 0,9997 + 7500 * 0,0262 = 2070,94 \text{ Н}$$

$$P = Wc$$

Произведем расчет основных параметров гидроцилиндра, исходя из максимального усилия на штоке 2071 Н (207,1 кгс).

Площадь поршня определяется из выражения:

$$F = P / p, \quad (28)$$

где p – давление нагнетания, кгс/см²,

$$p = 10 \text{ МПа} = 100 \text{ кгс/см}^2$$

$$F = 207,1 / 100 = 2,1 \text{ см}^2$$

Диаметр цилиндра определяется из условия.

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi}} \quad (29)$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 2.1}{3,14}} = 1,64 \text{ см}$$

Ввиду малого диаметра цилиндра при необходимости обеспечения значительного перемещения, а также исходя из условия конструирования цилиндров $l \leq 10 * d$, где d – диаметр цилиндра, окончательно диаметр цилиндра принимаем конструктивно. При этом влияние сил сопротивления качения ванны по роликам не учитывается ввиду создания значительного запаса мощности при увеличении диаметра цилиндра.

Из рисунка видно, что для создания крутящего момента на оси при вертикальной нагрузке на колесо R нужно приложить крутящий момент $M_{кр}$, способный создать силу, равную по величине $W_c + F_2$.

Сила F_2 определяется как сила сопротивления качения по роликам, при этом воспринимается нагрузка как от колеса, так и от веса ванны. Предполагается, что масса ванны с резиноканевыми емкостями, заполненными жидкостью и грунтом составит приблизительно 200 кг. В этом случае, нагрузка, приходящаяся на ролики составит $7500 + 2000 = 9500$ Н. Согласно предварительной компоновке, ванна в месте контакта колеса опирается на 6 роликов, следовательно, каждый ролик воспринимает нагрузку: $9500 / 6 = 1583,33$ Н. Коэффициент сопротивления качения (резина по металлу) $\varphi = 0,013$. Сила сопротивления на каждом ролике:

$$F_2^1 = 1583,33 * 0,013 = 20,58 \text{ Н}$$

Следовательно, сила $F_2 = F_2^1 * n$, где n – число опорных роликов, $n = 6$.

$$F_2 = 20,58 * 6 = 123,5 \text{ Н.}$$

Суммарная сила сопротивления:

$$W_c + F_2 = 2071 + 123,5 = 2194,5 \text{ Н.}$$

Принимая диаметр испытуемого колеса от $d = 0,6$ м, получаем значение крутящего момента:

$$M_{кр} = (W_c + F_2) * d \quad (30)$$

$$M_{кр} = 2194,5 * 0,6 = 1316,7 \text{ Н*м}$$

Предполагается применение в конструкции высокомоментного гидромотора. Полученным значениям крутящего момента соответствует аксиально-поршневой двигатель АП – 16 – 2, крутящий момент 1600 Н*м, $n = 12-80$ об/мин.

Произведем расчет величины реакции в роликовых опорах ванны.

Нагрузка от колеса автомобиля и веса ванны распределяется равномерно между шестью опорами, расположенных в местах опирания колеса на плоскость грунтовой ванны. Расчет приходящейся на каждую из опор нагрузки см. выше.

$$R = 1583,33 \text{ Н.}$$

Реакция на каждом из концов оси ролика будет определена как:

$$R_1 = 1583,33 * 0,5 = 791,67 \text{ Н}$$

Тогда изгибной момент приняв общую длину оси из предварительной компоновки $l = 80$ мм:

$$M_{и} = R_1 * 0,08$$

$$M_{и} = 791,67 * 0,08 = 63,33 \text{ Н*м}$$

Требуется определить минимальный требуемый диаметр оси опорного ролика, исходя из известного приложенного изгибающего момента. Определяется по следующей формуле:

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 * M_u}{[\sigma]}}, \text{ м} \quad (31)$$

$$[\sigma] = 140 \text{ МПа}$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{10 * 63,33}{140 * 10^6}} = 0,0165 \text{ м}$$

Принимаем минимальный диаметр для оси ролика 16,5 мм.

Подшипники для осей подбираются исходя из рассчитанных диаметров валов, ввиду малой динамической нагрузки и высокой статической несущей способности подшипников.

4 Безопасность и экологичность объекта дипломного проекта

4.1 Описание условий труда

Задание для выполнения раздела: разработать мероприятия по обеспечению промышленной, экологической безопасности и безопасности при выполнении проектных и испытательных работ.

«Стремление человека защитить себя от негативных последствий своей же разумной деятельности привело к осознанию необходимости создания системы специальных мероприятий, объединенных понятием «безопасность жизнедеятельности».

Безопасность жизнедеятельности - это область знаний о состоянии окружающей среды и о безопасном взаимодействии человека со средой его обитания, при котором вероятность повреждения организма человека в процессе его жизни и деятельности в определенных условиях является минимальной.

Охрана труда - это система законодательных актов, социально-экономических, организационных, технических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.» [3]

Процесс осуществления разработки стенда был разбит на несколько этапов. Поскольку целью дипломного проекта является разработка устройства стенда, в данном разделе мы рассмотрим обеспечение безопасных условий труда для конструктора, не затрагивая условия труда при непосредственной сборке, испытании, доводке и монтаже самого стенда, поскольку эти работы выходят за компетенции текущего проекта. Спецификация оборудования и оснастки, используемого при проведении конструкторской работы по разработке проекта стенда приводится в таблице 1.

Таблица 1 Спецификация оборудования и оснастки при выполнении конструкторской работы

Этап	Оборудование, оснащение, ресурсы	Операция
1	Компьютер, сетевой маршрутизатор обеспечения выхода в сеть Интернет, принтер	Поиск аналогов конструкции
2	Компьютер, принтер	Проведение расчетов мощностных и прочностных параметров конструкции
3	Компьютер, специализированная программа САМ-CAD, принтер	Разработка чертежей конструкции по полученным параметрам
4	Компьютер, сетевой маршрутизатор обеспечения выхода в сеть Интернет, принтер	Расчет ТЭО
5	Компьютер, принтер	Отчет
6	Компьютер, сетевой маршрутизатор обеспечения выхода в сеть Интернет, принтер	Передача пакета конструкторской документации для изготовления прототипа

4.2 Идентификация вредных производственных факторов

Вредные физические производственные факторы (на основании информационных данных в соответствии с ГОСТ 12.0.003-74), которые могут возникнуть при выполнении этапов проектирования, представлены в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Вредные производственные факторы

Операция	Фактор
1	2
Поиск аналогов конструкции	умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, повышенный уровень электромагнитных излучений

Продолжение таблицы 2

1	2
Проведение расчетов мощностных и прочностных параметров конструкции	умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, повышенный уровень электромагнитных излучений
Разработка чертежей конструкции по полученным параметрам	умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, повышенный уровень электромагнитных излучений
Расчет ТЭО	умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, повышенный уровень электромагнитных излучений
Отчет	умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, повышенный уровень электромагнитных излучений
Передача пакета конструкторской документации для изготовления прототипа	умственное перенапряжение, перенапряжение анализаторов, повышенный уровень электромагнитных излучений
Непредвиденные работы	

На основании проведенного анализа вредных производственных факторов возникающих в процессе осуществления НИОКР были разработаны мероприятия по обеспечению промышленной, экологической безопасности и безопасности в экстремальных ситуациях при выполнении НИОКР.

Сформулированы санитарно-эпидемиологические и эргономические требования при работе на ПЭВМ на основании правила и нормативов СанПин 2.2.2/2.4.1340-18. от 01.06.2018 г.

Произведена экологическая экспертиза объекта дипломного проектирования

4.3 Общие требования по обеспечению безопасности на предприятии

Общие требования безопасности:

Каждый вновь поступающий на предприятие рабочий и инженер должен пройти вводный инструктаж по правилам техники безопасности, противопожарной безопасности, и пройти санитарный и медицинский осмотр.

После прохождения вводного инструктажа инженер - конструктор должен получить первичный инструктаж по организации работ и технике безопасности согласно настоящей инструкции у начальника отдела (цеха).

Для инженеров - конструкторов один раз в три года проводится переаттестация по общим правилам техники безопасности и выдачей соответствующего удостоверений.

К испытаниям повышенной опасности на дорогах, сооружениях автополигона, специальных участках и сооружениях автотрека ВАЗа относятся:

«Категория А: испытания, связанные с движением на высокой скорости по криволинейным трассам согласно методикам испытаний (например, управляемость и устойчивость, испытание дисков и ступиц колес и т.п.); испытания тормозов.

Категория Б: форсирование испытания в условиях автомобильных соревнований.

Категория В: испытания, проводимые на скоростях свыше 120 км/ч; определение динамических и экономических показателей; испытание на высоких скоростях по пересеченной местности; испытание опытных шин; испытание опытных узлов и деталей ходовой части, тормозов и рулевого управления, выход которых из строя может привести к аварии; пробеговые испытания на горных дорогах.

Категория Г: испытания на плаву и по преодолению водных преград.»
[6]

Ведущий инженер – конструктор, наравне с водителем - испытателем, несет ответственность за техническое состояние закрепленных за ним автомобилей и их оборудование средствами безопасности.

Ведущий инженер – конструктор обязан постоянно контролировать техническое состояние автомобиля в целом и состояние установленных на нем опытных деталей, своевременно принимать меры к устранению возникших неисправностей, не допускать выхода на линию технически неисправного автомобиля.

4.4 Требования эргономики при работе за компьютером

При проведении проектирования и конструирования основная нагрузка ложится на инженера-конструктора, существенное время его работы отведено работе с ЭВМ.

«Проектирование рабочих мест, снабженных видеотерминалами, относится к числу важнейших проблем эргономического проектирования в области вычислительной техники. Эргономическими аспектами проектирования видеотерминальных рабочих мест являются: высота рабочей поверхности, размеры пространства для ног, требования к расположению документов на рабочем месте (наличие и размеры подставки для документов, возможность различного размещения документов, расстояние от глаз пользователя до экрана, документа, клавиатуры и т.д.), характеристики рабочего кресла, требования к поверхности рабочего стола, регулируемость рабочего места и его элементов. Утомляемость, работающих за дисплейным терминалом, представляет собой серьезную проблему.» [3]

«Выделяются 8 условий для того, чтобы деятельность на рабочем месте, оснащеном ПЭВМ, осуществлялась без жалоб и без усталости. Эти условия обусловлены санитарно-эпидемиологическими правилами и нормативами СанПин 2.2.2/2.4.1340-03. от 01.06.2003 г.» [14]

Требования к помещениям:

Помещения для эксплуатации ПЭВМ должны иметь естественное и искусственное освещение. Эксплуатация ПЭВМ в помещениях без естественного освещения допускается только при соответствующем

обосновании и наличии положительного санитарно-эпидемиологического заключения, выданного в установленном порядке.

Естественное и искусственное освещение должно соответствовать требованиям действующей нормативной документации. Окна в помещениях, где эксплуатируется вычислительная техника, преимущественно должны быть ориентированны на север и северо-восток. Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков и др.

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ с ВДТ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) – 4,5 м².

Для внутренней отделки интерьера помещений, где расположены ПЭВМ, должны использоваться диффузно-отражающие материалы с коэффициентом отражения для потолка – 0,7 – 0,8; для стен – 0,5 – 0,6; для пола – 0,3 – 0,5.

Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации.

Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ.

Требования к микроклимату:

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является вспомогательной, температура, относительная влажность и скорость движения воздуха на рабочих местах должны соответствовать действующим санитарным нормам микроклимата производственных помещений.

В производственных помещениях, в которых работа с использованием ПЭВМ является основной (диспетчерские, операторские, расчетные, кабины и посты управления, залы вычислительной техники и др.) и связана с нервно-эмоциональным напряжением, должны обеспечиваться оптимальные

параметры микроклимата для категории работ 1а и 1б в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами микроклимата производственных помещений. На других рабочих местах следует поддерживать параметры микроклимата на допустимом уровне, соответствующем требованиям указанным выше нормативов.

В помещениях всех типов, где расположены ПЭВМ, должны обеспечиваться оптимальные параметры микроклимата.

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ПЭВМ.

Уровни положительных и отрицательных аэроионов в воздухе помещений, где расположены ПЭВМ, должны соответствовать действующим санитарно-эпидемиологическим нормативам.

Содержание вредных химических веществ в воздухе производственных помещений, в которых работа с использованием ПЭВМ является вспомогательной, не должно превышать предельно допустимых концентраций веществ в воздухе рабочей зоны в соответствии с действующими гигиеническими нормативами.

Требования к уровням шума и вибрации:

В производственных помещениях при выполнении основных или вспомогательных работ с использованием ПЭВМ уровни шума на рабочих местах не должны превышать предельно допустимых значений, установленных для данных видов работ в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

При выполнении работ с использованием ПЭВМ в производственных помещениях уровень вибрации не должен превышать допустимых значений вибрации для рабочих мест (категория 3, тип «в») в соответствии с действующими санитарно-эпидемиологическими нормативами.

Шумящее оборудование (печатающие устройства, серверы и т.п.), уровни шума которого превышают нормативные, должно размещаться вне помещений с ПЭВМ.

Требования к освещению:

Рабочие столы следует размещать таким образом, чтобы видео терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещениях для эксплуатации ПЭВМ должно осуществляться системой общего равномерного освещения. В производственных и административно-общественных помещениях, в случаях преимущественной работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов).

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 – 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана не должна быть более 300 лк.

Следует ограничивать прямую блесккость от источников освещения, при этом яркость светящихся поверхностей (окна, светильники и др.), находящихся в поле зрения, должна быть не более 200 кд/м².

Следует ограничивать отраженную блесккость на рабочих поверхностях (экран, стол, клавиатура и др.) за чет правильного выбора типов светильников и расположения рабочих мест по отношению к источникам естественного и искусственного освещения, при этом яркость бликов на экране ПЭВМ не должна превышать 40 кд/м² и яркость потолка не должна превышать 200 кд/м².

Показатель ослепленности для источников общего искусственного освещения в производственных помещениях должен быть не более 20.

Яркость светильников общего освещения в зоне углов излучения от 50 до 90 градусов с вертикалью в продольной и поперечной плоскостях должна составлять не более 200 кд/м², защитный угол светильников должен быть не менее 40 градусов.

Светильники местного освещения должны иметь не просвечивающий отражатель с защитным углом не менее 40 градусов.

Следует ограничивать неравномерность распределения яркости в поле зрения пользователя ПЭВМ, при этом соотношение яркости между рабочими поверхностями не должно превышать 3:1 – 5:1, а между рабочими поверхностями и поверхностями стен и оборудования 10:1.

Общие требования к организации рабочих мест:

При размещении рабочих мест с ПЭВМ расстояние между рабочими столами с видеомониторами (в направлении тыла поверхности одного видеомонитора и экрана другого видеомонитора), должно быть не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями видеомониторов не менее 1,2 м.

Рабочие места с ПЭВМ в помещениях с источниками вредных производственных факторов должны размещаться в изолированных кабинах с организованным воздухообменом.

Рабочие места с ПЭВМ при выполнении творческой работы, требующей значительного умственного напряжения или высокой концентрации внимания, рекомендуется изолировать друг от друга перегородками 1,5 – 2,0 м.

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных

конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5 – 0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

Требования к оборудованию рабочих мест:

Высота рабочей поверхности стола для взрослых пользователей должна регулироваться в пределах 680-800 мм, при отсутствии такой возможности высота стола должна составлять 725мм.

Модульными размерами рабочей поверхности стола для ПЭВМ, на основании которых должны рассчитываться конструктивные размеры, следует считать: ширину 800, 1000, 1200 и 1400 мм; глубину 800 и 1000 мм при нерегулируемой его высоте, равной 725 мм.

Рабочий стол должен иметь пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной – не менее 500 мм, глубиной на уровне колен – не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Конструкция рабочего стула должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм; поверхность сиденья с закругленным передним краем; регулировку высоты поверхности сиденья в пределах 400 – 550 мм и углам наклона вперед до 15 град., и назад до 5 град.; высоту опорной поверхности спинки 300 +/- 20 мм, ширину – не менее 380 мм и радиус кривизны горизонтальной плоскости – 400 мм; угол наклона спинки в вертикальной плоскости в пределах +/- 30 градусов; регулировку расстояния

спинки от переднего края сиденья в пределах 260 – 400 мм; стационарные или съемные подлокотники длиной не менее 250 мм и шириной 50 – 70 мм; регулировка подлокотников по высоте над сиденьем в пределах 230 +/- 30 мм и внутреннего расстояния между подлокотниками в пределах 350 – 500 мм.

Рабочее место пользователя ПЭВМ следует оборудовать подставкой для ног, имеющей ширину не менее 300 мм, глубину не менее 400 мм, регулировку по высоте в пределах до 150 мм и по углу наклона опорной поверхности подставки до 20 градусов. Поверхность подставки должна быть рифленой и иметь по переднему краю бортик высотой 10 мм.

Клавиатуру следует располагать на поверхности стола на расстоянии 100 – 300 мм от края, обращенного к пользователю или на специальной, регулируемой по высоте рабочей поверхности, отделенной от основной столешницы.

4.5 Расчет вентиляции в помещении

Для обеспечения требуемого качества воздушной среды необходима постоянная смена воздуха в помещении.

Вентиляционные установки - устройства, обеспечивающие в помещении такое состояние воздушной среды, при котором человек чувствует себя нормально и микроклимат помещений не оказывает неблагоприятного действия на его здоровье. Общеобменная вентиляция - система, в которой воздухообмен, найденный из условий борьбы с вредностью, осуществляется путем подачи и вытяжки воздуха из всего помещения.

Температура удаляемого воздуха определяется из формулы:

$$t_{yx} = t_{pz} + d (h - 2), \quad (32)$$

где t_{pz} - температура воздуха в рабочей зоне ($t_{pz} = 20$ град);

d - коэффициент нарастания температуры на каждый метр высоты ($d = 1,5$ град/м);

h - высота помещения ($h = 4$ м).

$$t_{ух} = 20 + 1,5 \cdot (4 - 2) = 23 \text{ град.}$$

Тепло от работы оборудования:

$$Q_{обор} = r \cdot P_{уст} = 0,15 \cdot 14520 = 2178 \text{ Вт}, \quad (33)$$

где r - доля энергии, переходящей в тепло;

$P_{уст}$ - мощность установки.

Тепло, поступающее от людей:

$$Q_{л} = n \cdot q = 5 \cdot 90 = 450 \text{ Вт}, \quad (34)$$

, где n - количество человек в зале ($n = 5$);

q - количество тепла, выделяемое человеком ($q = 90$ Вт).

Тепло от источников освещения:

$$Q_{осв} = f \cdot P_{осв} = 0,4 \cdot 2000 = 800 \text{ Вт}, \quad (35)$$

где $f = 0,4$ для люминесцентных ламп;

$P_{осв}$ - мощность осветительной установки.

Тепло от солнечной радиации через окна:

$$Q_{рад} = A \cdot k \cdot S \cdot m = 180 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 0,8 = 1296 \text{ Вт}, \quad (36)$$

где A - теплопоступление в помещение с 1 кв.м стекла (127-234 Вт/м);

S - площадь окна ($S = 3$ м²);

m - количество окон ($m = 3$);

k - коэффициент, учитывающий характер остекления ($k = 0,8$).

Поступающее в помещение тепло определяется по формуле:

$$Q_{прих} = Q_{обор} + Q_{л} + Q_{осв} + Q_{рад} \quad (37)$$

где $Q_{обор}$ - тепло от работы оборудования;

$Q_{л}$ - тепло, поступающее от людей;

$Q_{осв}$ - тепло от источников освещения;

$Q_{рад}$ - тепло от солнечной радиации через окна.

$$Q_{прих} = 4724 \text{ Вт.}$$

Тепло расходуемое:

$$Q_{расх} = 0,1 \cdot Q_{прих} = 472,4 \text{ Вт} \quad (38)$$

Количество избыточного тепла:

$$Q_{изб} = Q_{прих} - Q_{расх}. \quad (39)$$

$$Q_{изб} = 4251.6 \text{ Вт.}$$

Количество вентиляционного воздуха определяется по формуле:

$$V_{вент} = 3600 * Q_{изб} / (C * Q * (t_{ух} - t_{пр})) \quad (40)$$

, где $Q_{изб}$ - выделение в помещении явного тепла, Вт;

C - теплоемкость воздуха ($C = 10 \text{ Дж/кг}$);

Q - удельная плотность воздуха ($Q = 1,3 \text{ кг/м}^3$);

$t_{ух}$ и $t_{пр}$ - температура удаляемого и приточного воздуха, град.

$$V_{вент} = 3600 * 4251,6 / (10 * 1,3 * 2) = 5886,83 \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Определяем необходимую кратность воздухообмена:

$$K = V_{вент} / V_{пом} \quad (41)$$

$$, \text{ где } V_{пом} = n * S_{чел} * h, \quad (42)$$

где $n = 5$ - число людей в помещении;

$S_{чел}$ - площадь производственного помещения, приходящаяся на 1 человека (по нормам для умственного труда $S_{чел} = 4 \text{ м}^2$);

$h = 4 \text{ м}$ - высота помещения.

$$K = 5886,83 / 140 = 42.$$

Расчетная производительность вентилятора:

$$V_{расч} = 1,1 * V_{вент} = 1,1 * 5886,83 = 6475,5 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (43)$$

где 1,1 - коэффициент, учитывающий утечки и подсосы воздуха.

Напор (полное давление), обеспечиваемый вентилятором:

$$H_v = v * Q / 2 \quad (44)$$

где $Q = 1,3 \text{ кг/м}^3$ - плотность воздуха,

v - окружная скорость вентилятора; ограничивается предельно допустимым уровнем шума в помещении. $v = 25 \text{ м/с}$.

$$H_v = 25 * 1,3 / 2 = 406 \text{ Па.}$$

Необходимая установочная мощность электродвигателя:

$$N = V_{расч} * H_v / (3600 * \eta) \quad (45)$$

, где η - КПД вентилятора = 0,8.

$$N = 6475,5 * 406 / (3600 * 0,8) = 912,87 \text{ Вт.}$$

5 Экономический раздел

5.1 Исходные данные для расчета

В экономическом разделе дипломного проекта рассмотрим себестоимость изготовления стенда. Поскольку стенд предполагает проведение испытаний автомобильных шин, связанных с подтверждением их характеристик в рамках добровольной сертификации, предполагается оказание подобных услуг, из которых будет извлекаться прибыль. Проведя анализ рынка, было выявлено, что среднерыночная стоимость подобных испытаний составляет 250 000 рублей за один цикл.

При проведении экономических расчетов мы будем ориентироваться на эту стоимость. Стоимость изготовления стенда будет определяться из расчета, приведенного ниже.

5.2 Расчет себестоимости изготовления стенда

Поскольку не предполагается продажа стенда, расчет ведем только для себестоимости его изготовления, т.е. определяем наши затраты при его изготовлении. за основу при выполнении расчетов берем сборочные чертежи и детализировку, полученные на этапе конструкторской разработки.

Как и для любого изделия, требуется рассчитать затраты на сырье и материалы, покупные изделия и сборочные единицы, определить трудовые затраты на изготовление и сборку стенда.

Расчеты материальных затрат конструкции стенда приводятся в таблице 3.

Таблица 3 – Материальные затраты конструкции стенда

Наименование	Единицы	Норма расхода	Цена, руб	Сумма, руб.
1	2	3	4	5
Трубный прокат в ассортименте	кг	120	75,5	9060
Грунтовка	кг	3,5	95	332,5
Краска	кг	3	120	360
Круг катанный, в ассортименте	кг	110	80,0	8800
Листовой металл в асс.	кг	75	78	5850
Резина листовая	кг	0,8	220	176
Литол	кг	1	95	95
Швеллер №10	кг	150	78	11700
Уголок 30х30	кг	50	79,5	3975
Прочие				5000
ИТОГО				45 348,5р.
Транспортно-заготовительные расходы, 3%				1 360,46р.
Возвратные отходы, 1,5%				110,00р.
ВСЕГО				46 818,96р.

Расчеты затрат на покупные изделия и полуфабриката, используемые в конструкции стенда приводятся в таблице 4.

Таблица 4 – Материальные затраты конструкции стенда

Покупные изделия и полуфабрикаты	Количество	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	2	3	4
Болты М10х25	40	8,0	320,00
Винты М8	60	6,0	360,00
Выключатель автоматический	4	1 250,00	5 000,00
Гайка М10	40	3,00	120,00
Гидрораспределитель крановый	6	850,00	5 100,00
Гидроцилиндр	2	6 500,00	13 000,00
Гидроцилиндр двусторонний	1	25 000,00	25 000,00
Двигатель 4А90L26У3 ГОСТ 19523-81	1	14 200,00	14 200,00
Двигатель 4А80В4У3 ГОСТ 19523-81	1	12 300,00	12 300,00

Продолжение таблицы 4

Золотник напорный	4	250,00	1 000,00
Ролик в сборе	20	400,00	8 000,00
Кран трехходовой	2	1 450,00	2 900,00
Мотор-редуктор МЦ2С-80	1	22 400,0	22 400,00
Насос шестеренный НШ10-3	3	5 500,0	16 500,00
Электрокабель, м	20	95,0	1 900,00
Электрооборудование			16 000,00
Рукав высокого давления, дл	16	255,0	4 080,00
Болт фундаментный	6	175,0	1 050,00
Гидростанция	1	32 500,0	32 500,00
Кнопочная станция	1	850,0	850,00
Ступичный узел	1	3 250,0	3 250,00
		ИТОГО	185 830,00
		Транспортно-заготовительные расходы	5 574,90
		ВСЕГО	191 404,90

Расчеты затрат на заработную плату при изготовлении станда, приводятся в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет затрат на заработную плату

Операции по изготовлению станда	Рабочий разряд	Трудоемкость, ч/час	Часовая ставка, руб/ч	Тарифная зарплата
Заготовительная	3	12	250,00	3 000,00р.
Гибочная	4	4	285,00	1 140,00р.
Сварочная	5	16	355,00	5 680,00р.
Токарная	5	8	355,00	2 840,00р.
Фрезерная	5	6	355,00	2 130,00р.
Шлифовальная	5	4	355,00	1 420,00р.
Сверлильная	4	4	285,00	1 140,00р.
Слесарная	4	8	285,00	2 280,00р.
Сборочная	5	16	355,00	5 680,00р.
Окрасочная	4	4	285,00	1 140,00р.
Испытательная	6	4	420,00	1 680,00р.
ИТОГО				23 990,00р.
Премиальные доплаты				4 798,00р.
Основная заработная плата				28 788,00р.

Рассчитаем затраты на дополнительную заработную плату:

$$ЗД = Зосн * (Кд - 1), \quad (46)$$

где Кд – коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату, Кд = 1,08

$$ЗД = 28\,788 * (1,08 - 1) = 2\,303,04 \text{ руб}$$

Засчитаем затраты на отчисления в фонд социального страхования:

$$СОЦ = (Зо + ЗД) * Ксоц \quad (47)$$

где Ксоц – коэффициент отчислений в фонд социального страхования, Ксоц = 30%

$$СОЦ = (28\,788,00 + 2\,303,04) * 0,30 = 9\,327,31 \text{ руб}$$

Определим затраты на содержание и эксплуатацию оборудования:

$$Зсэоб = Зо * (Ксэоб - 1) \quad (48)$$

где Ксэоб – коэффициент понесенных затрат, связанных с содержанием и эксплуатацией оборудования, Ксэоб = 2,04

$$Зсэоб = 28\,788 * (2,04 - 1) = 29\,939,52 \text{ руб}$$

Произведем расчет общепроизводственных расходов:

$$Робщ = Зо * (Кобщ - 1) \quad (49)$$

где Кобщ – коэффициент общепроизводственных расходов, Кобщ = 2,6

$$Робщ = 28\,788 * (2,6 - 1) = 46\,060,80 \text{ руб}$$

Произведем расчет общехозяйственных расходов:

$$Рохр = Зо * (Кохр - 1) \quad (50)$$

где Кохр – коэффициент общехозяйственных расходов, Кохр = 2,5

$$Рохр = 28\,788 * (2,5 - 1) = 43\,182,00 \text{ руб}$$

Таблица 6 – Расчет себестоимости станда

Статьи затрат	Обозначение	Затраты	
		Сумма	%
Сырье и материалы	М	46 818,96	11,2%
Покупные изделия и полуфабрикаты	Пи	191 404,90	45,8%
Зарплата основная	Зо	28 788,00	6,9%

Продолжение таблицы 6

Зарплата дополнительная	Зд	2 303,04	0,6%
Отчисления на соцстрах	СОЦ	9 327,31	2,2%
Расходы на содержание оборудования	Зсэоб	29 939,52	7,2%
Общепроизводственные расходы	Робщ	46 060,80	11,0%
Общехозяйственные расходы	Рохр	43 182,00	10,3%
Производственная себестоимость	Спр	397 824,53	95,2%
Внепроизводственные расходы	Рвн	19 891,23	4,8%
Полная себестоимость	Сп	417 715,75	100,0%

Фонд заработной платы исполнителя, исходя из тарифной ставки 450 рублей, составит:

$$\text{ФЗП} = 450 * 16 * 1,08 * 1,3 = 10\ 108,80 \text{ руб}$$

Суммарная мощность электрооборудования стенда составит 5,8 кВт. Исходя из этого, а также приняв стоимость электроэнергии 4,32 руб/кВт-ч, определим затраты на электроэнергию на цикл испытаний.

$$\text{Эн} = 5,8 * 16 * 4,32 * 1,15 = 461,03 \text{ руб}$$

Стоимость затрат на ежегодное ТО принимаем равным 10 000 рублей.

Итого, исходя из плана проведения 25 испытаний в течении года, из которых 3 – коммерческие, затраты составят:

$$\text{Зисп} = (\text{ФЗП} + \text{Эн}) * \text{Пг} + \text{Зто} \quad (5.6)$$

$$\text{Зисп} = (10\ 108,8 + 461,03) * 25 + 10\ 000 = 274\ 245,75 \text{ руб}$$

Годовая выручка от проведения коммерческих испытаний в год составит:

$$\text{Вг} = 3 * 250\ 000 - (3 * 250\ 000 * 0,13) = 652\ 500 \text{ руб}$$

С учетом себестоимости стенда, затраты в первый год составят:

$$\text{Зат} = 417\ 715,75 + 274\ 245,75 = 691\ 961,5 \text{ руб}$$

Срок окупаемости составит:

$$\text{Ток} = 691\ 961,5 / 652\ 500 = 1,06 \text{ года}$$

Срок окупаемости оптимален для стенда данного вида.

Заключение

В рамках выполнения дипломного проекта был разработан стенд для испытания автомобильных пневматических шин.

Разработка и расчет конструкции производилась на основе произведенного поиска аналогов конструкции, как производимых промышленностью, так и существующих в виде патентных образцов.

Был произведен мощностной и прочностной расчет как всей конструкции, так и отдельных узлов. на основе выполненных расчетов были выполнены чертежи ответственных узлов конструкции и скомпонованы сборочные чертежи. Были также выполнены чертежи наиболее ответственных деталей, результаты представлены на листах графической части.

Также на лист графической части была вынесена технологическая карта проведения испытаний автомобильного колеса. Поскольку, по заданию на дипломный проект, требуется проведение испытаний шин автомобиля Лада 4x4, в рамках дипломного проекта был произведен тяговый расчет этого автомобиля. Поскольку расчет производился в автоматической программе, результаты в виде графиков представлены в приложении пояснительной записки и на листе графической части.

Был выполнен анализ безопасности работы при выполнении конструкторского проекта стенда. Произведен расчет вентиляции в помещении, на основании которого сделан вывод о безопасности производства работ.

Были рассчитаны экономические показатели эффективности проекта. Был определен срок окупаемости, который составил 1,06 года, что ниже нормативного показателя в три года, принятый для технологического оборудования.

На основании всего изложенного, считаем задачи, поставленные в рамках дипломного проекта полностью выполненными.

Список используемых источников

1. Анопченко, В. Г. Практикум по теории движения автомобиля [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. Г. Анопченко. - 2-е изд., перераб. и доп. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2013. - 116 с. - ISBN 978-5-7638-2494-0.
2. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 655 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – www.dx.doi.org/10.12737/2530. - ISBN 978-5-16-101092-1.
3. Безопасность и экологичность проекта/ Ю.Н. Безбородов [и др.] - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2015. - 148 с. ISBN 978-5-7638-3176-4.
4. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет: Учебное пособие / Е.В. Березина. - М.: Альфа-М: НИЦ Инфра-М, 2012. - 320 с.: ил.; . - (ПРОФИЛЬ). ISBN 978-5-98281-309-1. - Текст : электронный.
5. Вахламов, В. К. Автомобили: Основы конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ В.К. Вахламов — М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.
6. Ведущие мосты тракторов и автомобилей: Учебное пособие / Кобозев А.К., Швецов И.И., Койчев В.С. - Москва :СтГАУ - "Агрус", 2016. - 64 с.
7. Волков, В.С. Конструкция автомобиля : учеб. пособие / В.С. Волков. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 200 с. - ISBN 978-5-9729-0329-0.
8. Высочкина, Л. И. Автомобили: конструкция, расчет и потребительские свойства [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / сост. Л.И. Высочкина, М.В. Данилов, В.Х. Малиев и др. - Ставрополь, 2013. - 68 с.
9. Головин, С. Ф. Технический сервис транспортных машин и оборудования [Электронный ресурс] : учеб. пособие / С. Ф. Головин. -

Москва : ИНФРА-М, 2017. - 282 с. - (Высшее образование. Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-011135-3

10.Гринцевич, В. И. Техническая эксплуатация автомобилей. Технологические расчеты [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. И. Гринцевич. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2011. - 194 с. - ISBN 978-5-7638-2378-3.

11.Карташевич А.Н. «Тракторы и автомобили. Конструкция» / А.Н. Карташевич, А.В. Понталев, А.В. Гордеенко // учебное пособие, Изд-во Инфра-М, 2013 – 313 с.

12.Кибанов, А. Я. Проектирование функциональных взаимосвязей структурных подразделений производственного объединения (предприятия) [Электронный ресурс] / А. Я. Кибанов, Т. А. Родкина. - М. : МИУ им. С. Орджоникидзе, 2016

13.Коханов, В. Н. Безопасность жизнедеятельности : учебник / В.Н. Коханов, В.М. Емельянов, П.А. Некрасов. – М. : ИНФРА-М, 2018. – 400 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – [www.dx.doi.org/ 10.12737/2883](http://www.dx.doi.org/10.12737/2883). - ISBN 978-5-16-100439-5.

14.Корниенко, Евгений. Информационный сайт по безопасности жизнедеятельности [Электронный ресурс] / Е. Корниенко. – Электрон. текстовые дан. – Москва: [б.и.], 2018. – Режим доступа http://www.kornienko-ev.ru/teoria_auto/page233/page276/index.html, свободный

15.Лата, В.Н. Основы моделирования управляемого движения автомобиля : учебное пособие / В.Н. Лата. - Тольятти : ТГУ, 2012. – 60 с. [11] : ил.-Библиогр.: с.10-21.

16.Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

17.Мигаль, В. Д. Методы технической диагностики автомобилей : учебное пособие / В.Д. Мигаль, В.П. Мигаль. – Москва : ИД «ФОРУМ» :

ИНФРА-М, 2020. – 417 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-100107-3.

18. Муравьева, А.М., Яковлев Ю.В. Методические указания к выполнению домашнего задания по винтовым устройствам: Харьков, Харьк. авиац. ин-т, 1981;

19. Набоких, В. А. Испытания автомобиля : учебное пособие / В.А. Набоких. – 2-е изд. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2020. – 224 с. – (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-106839-7. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1087951> (дата обращения: 09.06.2020)

20. Огороднов, С.М. Конструкция автомобилей и тракторов : учебник / С.М. Огороднов, Л.Н. Орлов, В.Н. Кравец. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 284 с. - ISBN 978-5-9729-0364-1.

21. Огороднов С.М. «Конструкция автомобилей и тракторов»/ С.М. Огороднов, Л.Н Орлов, В.Н. Кравец // учебник, Изд-во Инфра Инженерия, 2019 – 284 с

22. Пантелеева, Е. В. Безопасность жизнедеятельности [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. В. Пантелеева, Д. В. Альжев. – Москва : ФЛИНТА, 2013. – 286 с. - ISBN 978-5-9765-1727-1.

23. Радин, Ю. А. Справочное пособие авторемонтника / Ю. А. Радин, Л. М. Сабуров, Н. И. Малов. - Москва : Транспорт, 2018. - 285 с. : ил. - Библиогр.: с. 277. - Предм. указ.: с. 278-278. - ISBN 5-277-00094-1 : 28-80.

24. Ремонт автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://automend.ru/>

25. Руководство по ремонту и техническому обслуживанию автомобилей КамАЗ 5320, 5410, 55102, 55111, 53212, 53211, 53213, 43114, 65111, 4326, 54155 – М., 2010. – 286 с.

26. Руктешель, О.С. Выбор параметров и оценка тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобиля / О.С. Руктешель. – Минск : БНТУ, 2015. – 77 с.

27.Савич, Е. Л. Легковые автомобили : учебник / Е.Л. Савич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2019. – 758 с. : ил. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104387-5.

28.Савич, Е. Л. Системы безопасности автомобилей : учебное пособие/ Е.Л. Савич, В.В. Капустин. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 445 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104362-2.

29.Сайт торговой компании «Все инструменты» [Электронный ресурс]. – Режим доступа <http://tolyatti.vseinstrumenti.ru>, свободный

30.Сергеенко, В.А. Проверочный расчет зубчатых передач трансмиссии автомобилей / В.А. Сергеенко. – Минск : БНТУ, 2016. – 61 с.

31.Соломатин, Н.С. Испытания узлов, агрегатов и систем автомобиля : учебное пособие / Н.С. Соломатин. – Тольятти : ТГУ, 2013. – 140 с. [1] : ил.- Библиогр: с. 110-112.

32.Стуканов, В. А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля : учебное пособие / В.А. Стуканов. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2020. – 368 с. – (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-101654-1.

33.Тарасик, В. П. Теория автомобилей и двигателей : учебное пособие / В.П. Тарасик, М.П. Бренч. – 2-е изд., испр. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 448 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-101224-6.

34.Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебник / В. М. Власов [и др.] ; под ред. В. М. Власова. - Гриф МО. - Москва : Academia, 2003. - 477 с. : ил. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 473. - Прил.: с. 421-472. - ISBN 5-7595-1150-8 : 191-82.

35.Халтурин Д.В., Испытание автомобилей и тракторов : практикум / Д.В. Халтурин, Н.И. Финченко, А.В. Давыдов - Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2017. - 172 с. (Серия "Учебники ТГАСУ") - ISBN 978-5-

93057-791-4 - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : <http://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785930577914>

36.Чернова, Е.В. Детали машин : проектирование станочного и промышленного оборудования : учеб. пособие для вузов / Е. В. Чернова. - Москва : Машиностроение, 2011. - 605 с.

37.Щелчкова, Н. Н. Практикум по безопасности жизнедеятельности. Часть II : учебно-практическое пособие / Н.Н. Щелчкова, Д.В. Натарова, Е.А. Романова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 225 с. - ISBN 978-5-16-108275-1.

38.Catalin, Alexandru. Vlad, Totu, Method for the multi-criteria optimization of car wheel mechanisms / Alexandru, Catalin. Totu, Vlad;. - Ingeniería e Investigación, 2016. – 137s

39.Denton, Tom Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Tom Denton: Routledge, 2017 – 378p. - ISBN 9780415725781

40.Duna, Tariq Yaseen, Graphical user interface (GUI) for design of passenger car system using random road profile / Tariq Yaseen, Duna;. - International Journal of Energy and Environment, 2016. – 97s.

41.G. A. Einicke, Smoothing, Filtering and Prediction: Estimating the Past, Present and Future (2nd ed.), Prime Publishing, 2019

42.Haney, Paul. The racing and high-performance tire / Paul Haney. – TV MOTORSPORT : Springfield, 2003. – 285 p. [2]. – ISBN 0-9646414-2-9.

43.Jan, Ziobro. Analysis of element car body on the example silentblock / Ziobro Jan;. - Advances in Science and Technology Research Journal, 2015. - 37s.

44.Lucian, Roman, Mathematical model and software simulation of system from opel cars / Roman, Lucian;. - Annals of the Oradea University: Fascicle Management and Technological Engineering, 2014. -77s.

45.Milliken, W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, Том 146 / W. F. Milliken, D. L. Milliken : SAE International, 1995. – 890 p. [8], [9], [10]. – ISBN 1560915269, 9781560915263.

46.Singh, H. Rewat The Automobile: Textbook for Students of Motor Vehicle Mechanics / H. Rewat Singh: S Chand & Co Ltd, 2004 - 532 p.

Приложение А
Графики тягового расчета

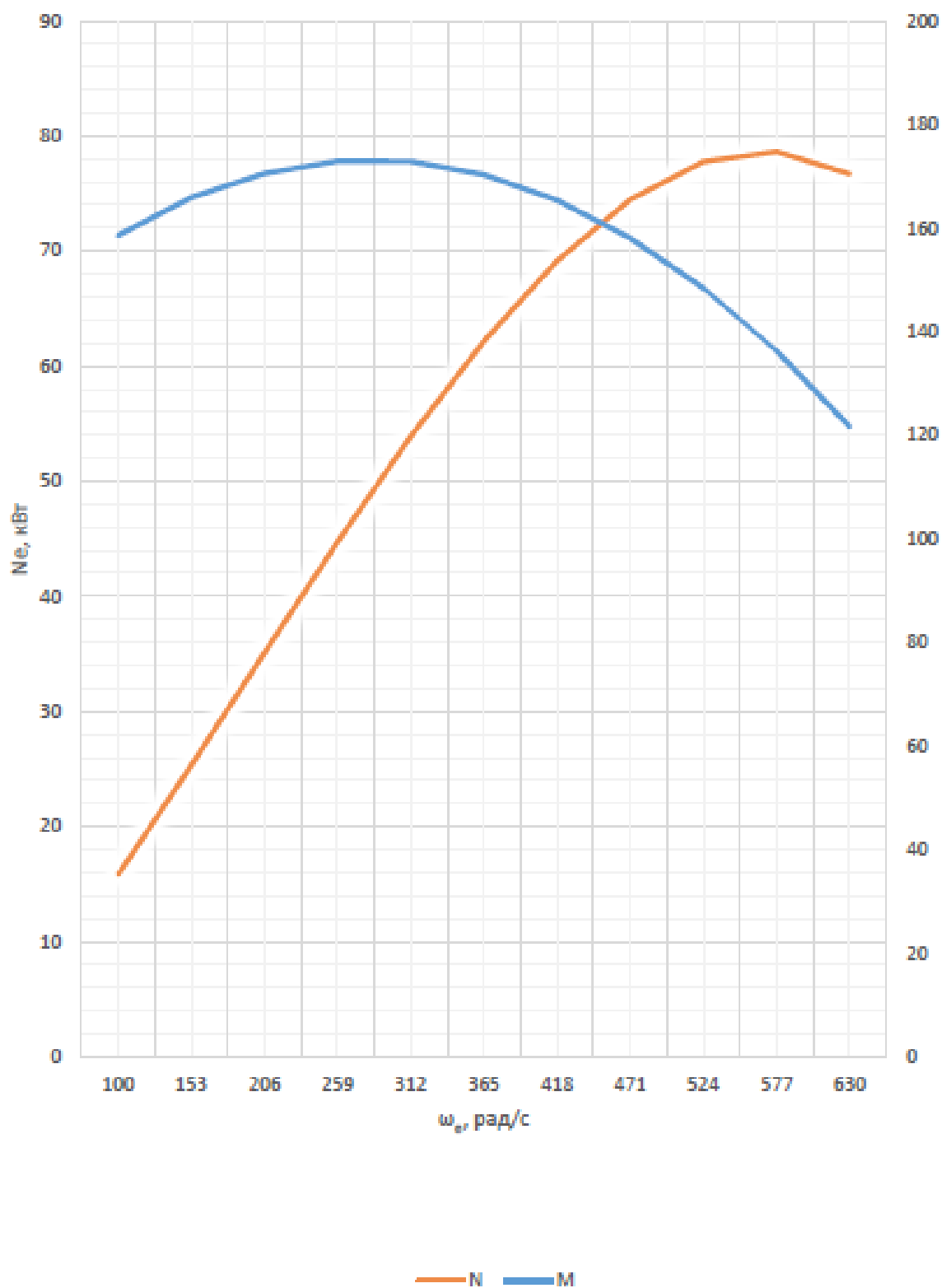


Рисунок А1 – Внешняя скоростная характеристика

Продолжение Приложения А

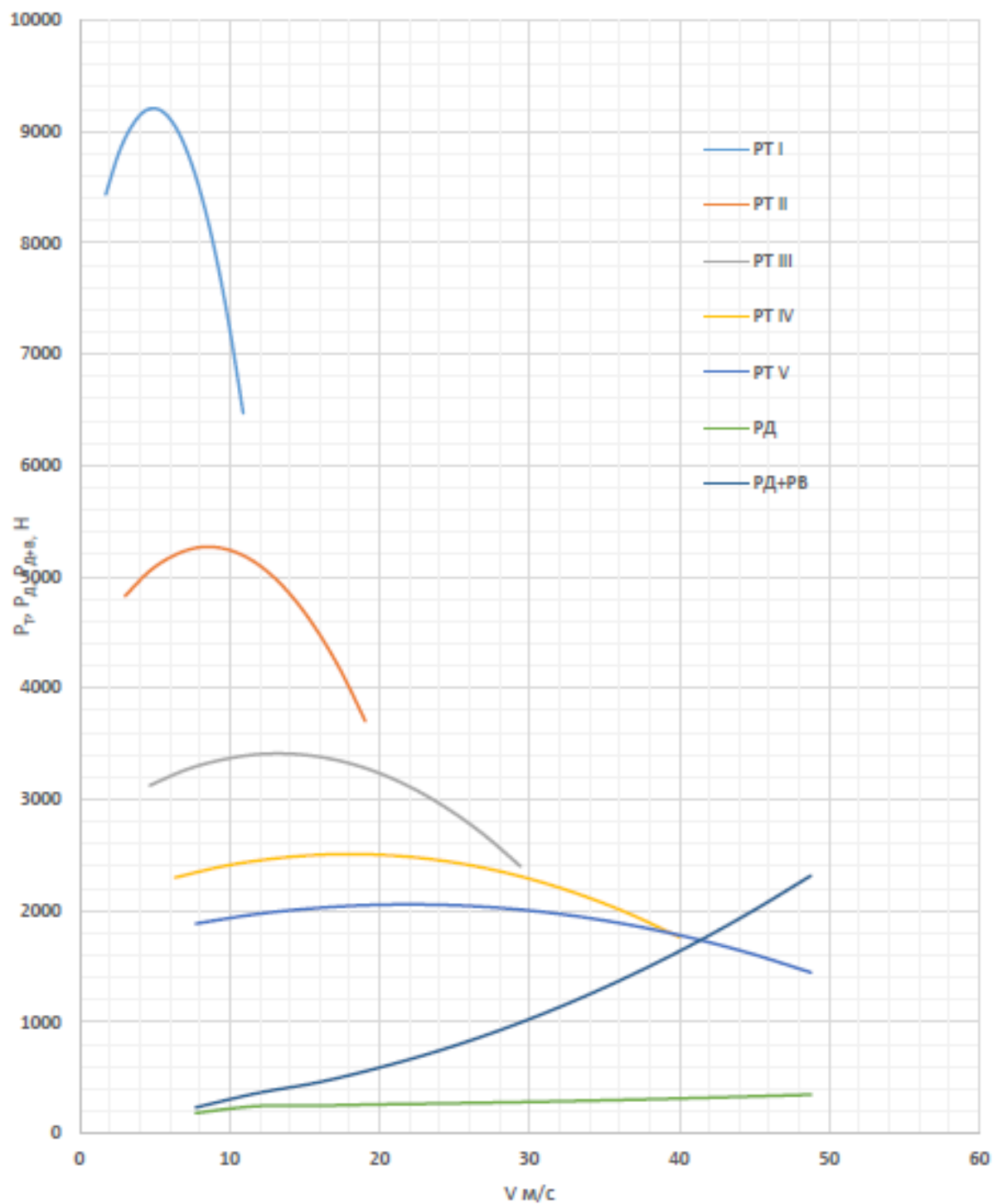


Рисунок А2 – Тяговый баланс автомобиля

Продолжение Приложения А

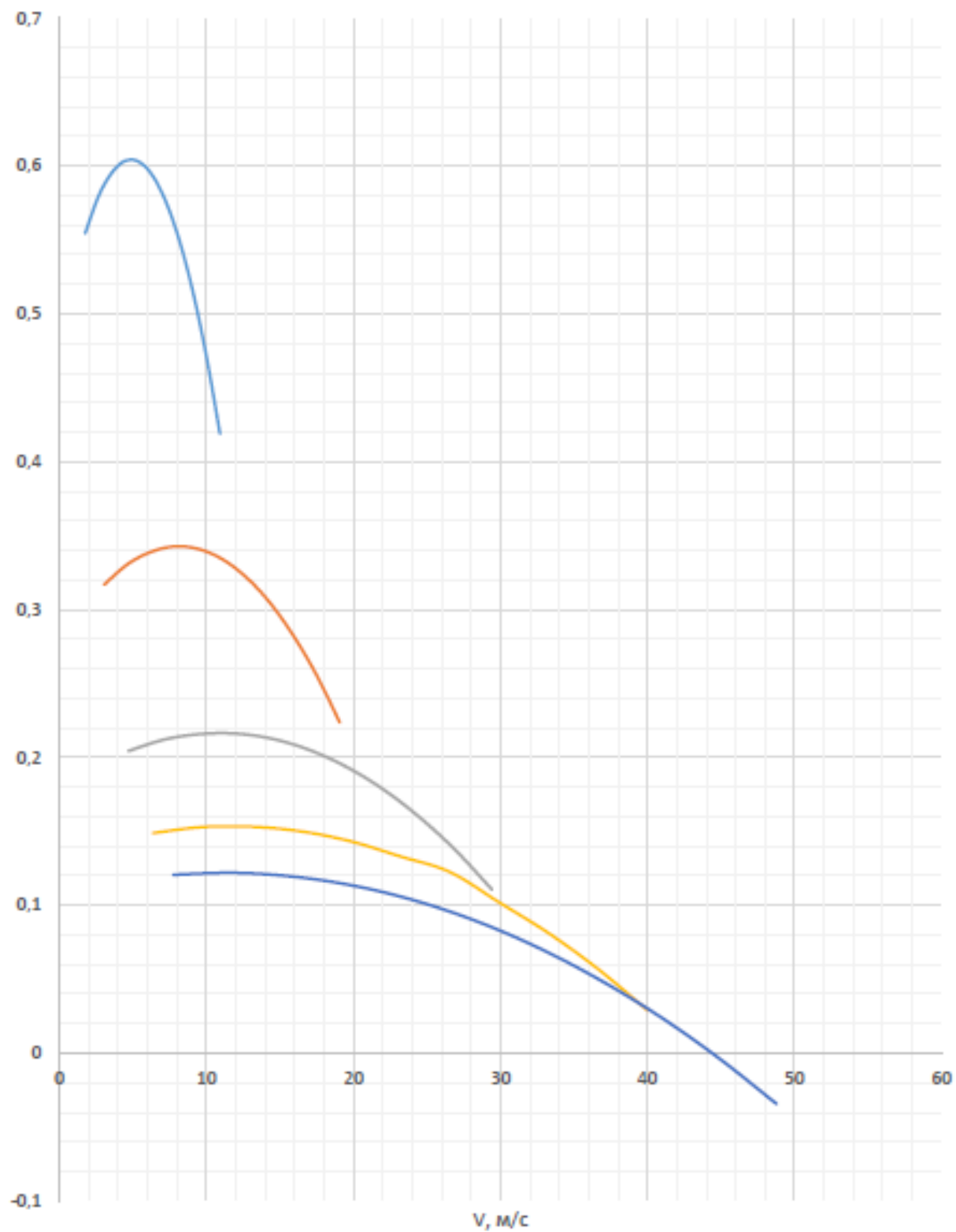


Рисунок А3 – Динамическая характеристика

Продолжение Приложения А

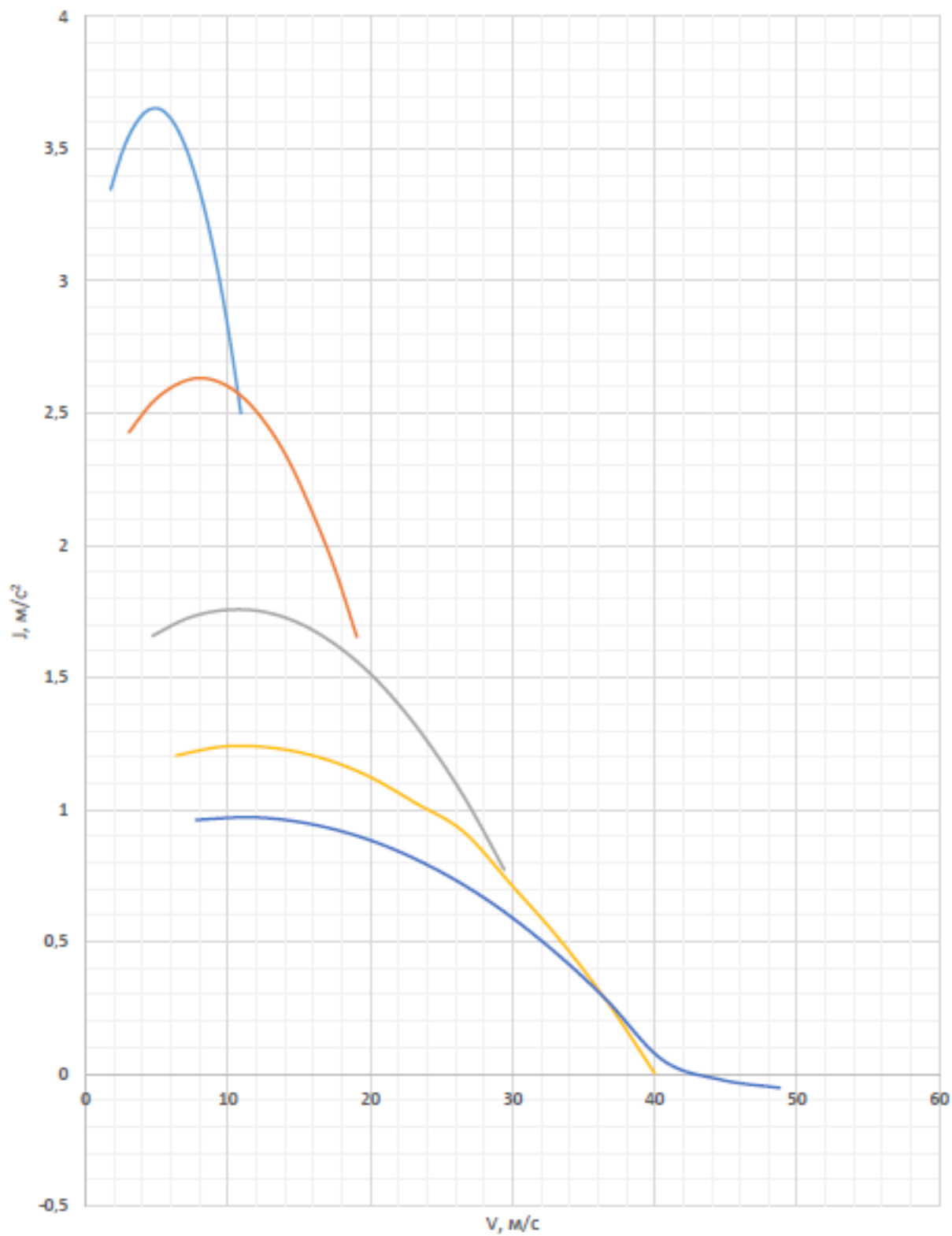


Рисунок А4 – Ускорения автомобиля

Продолжение Приложения А

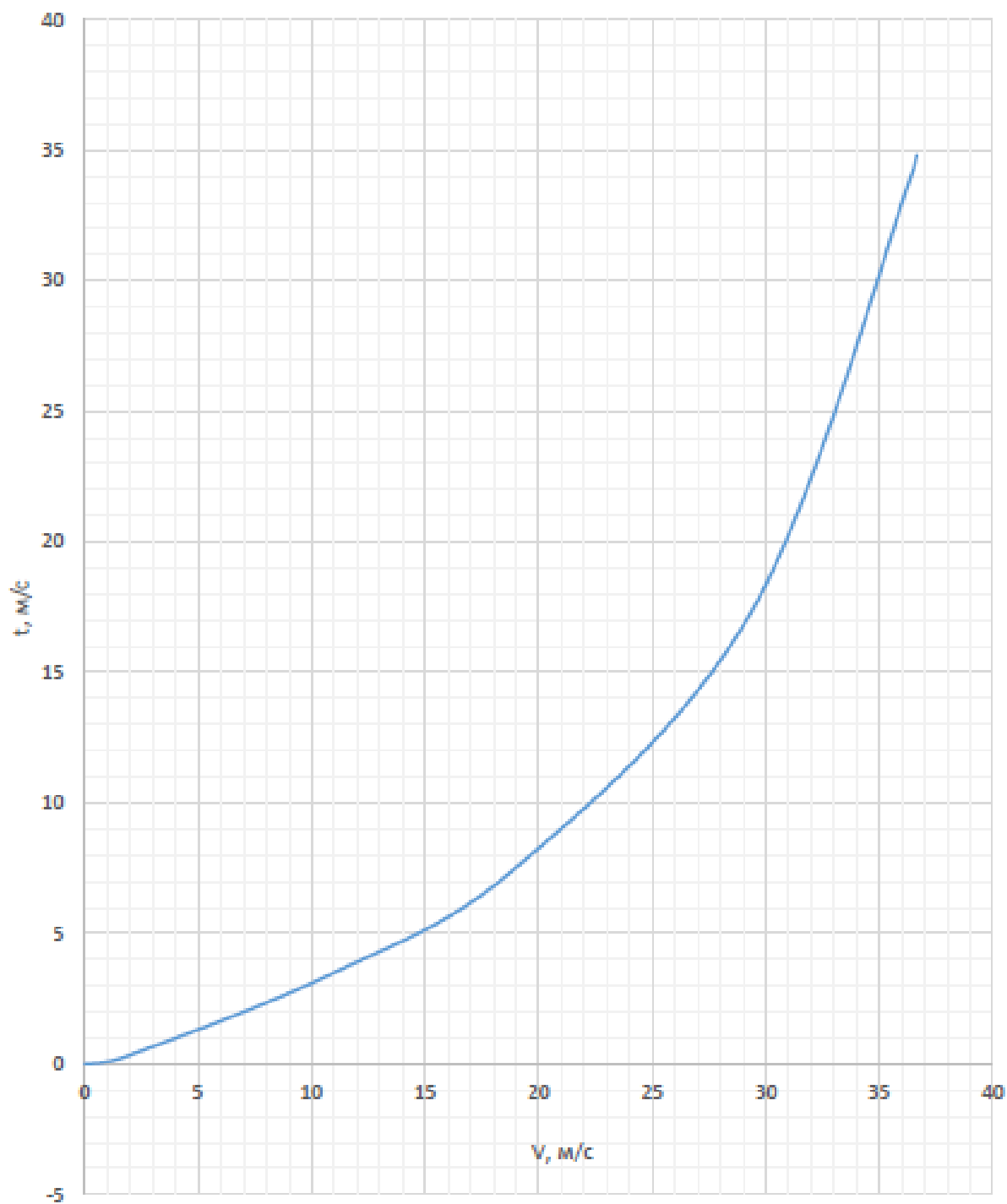


Рисунок А5 – Время разгона автомобиля

Продолжение Приложения А

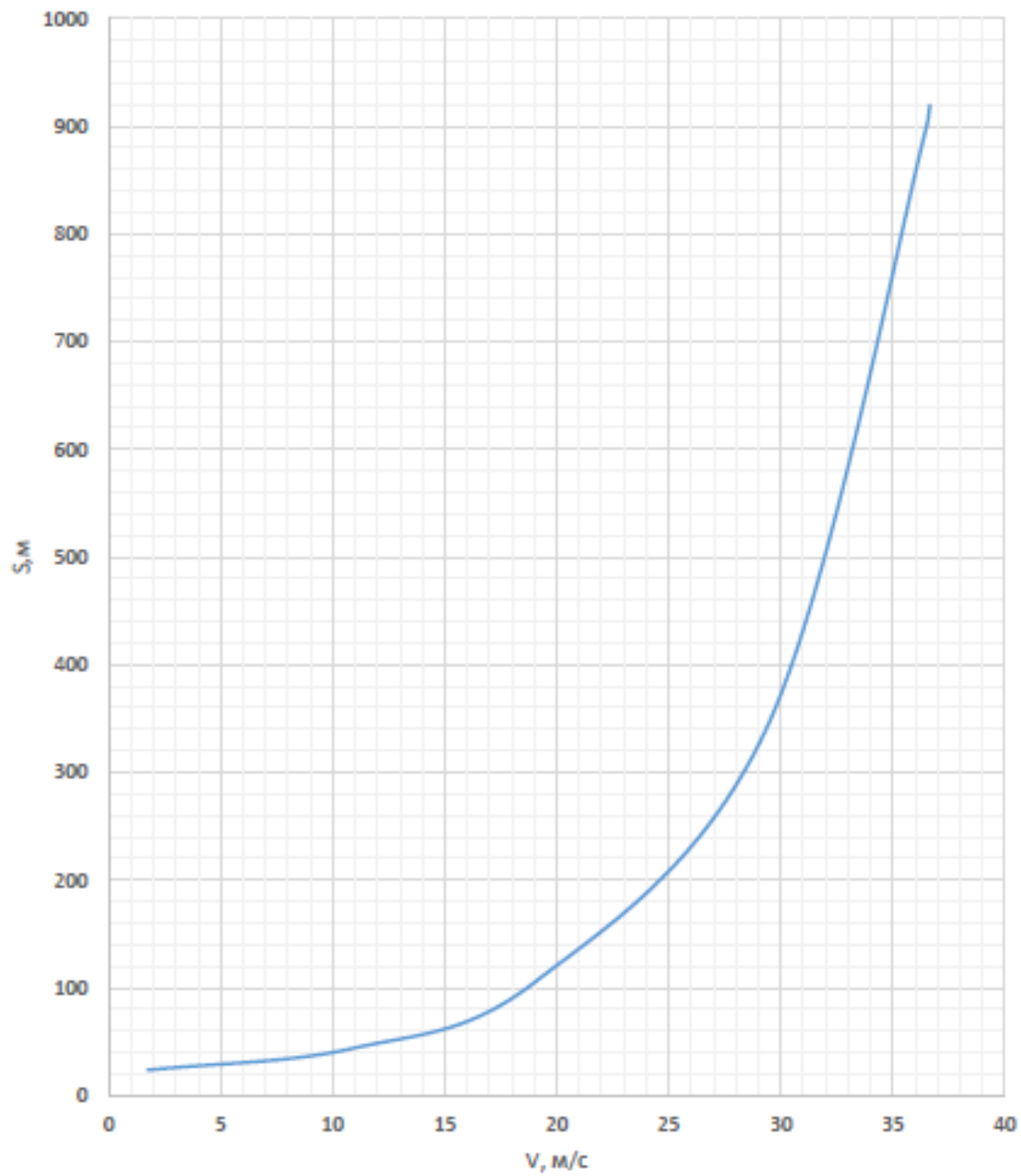


Рисунок А6 – Путь разгона автомобиля

Продолжение Приложения А

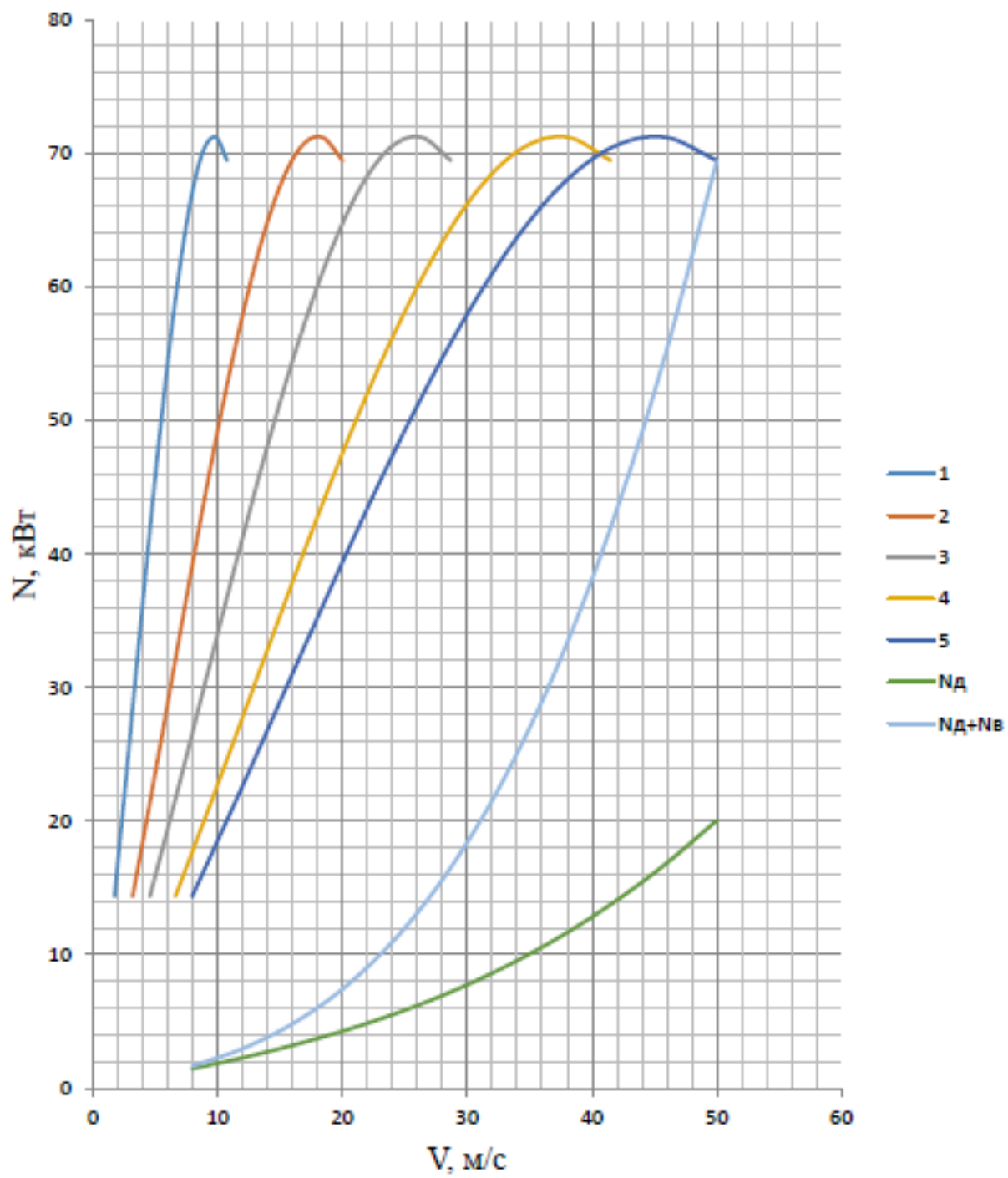


Рисунок А7 – Мощностной баланс

Продолжение Приложения А

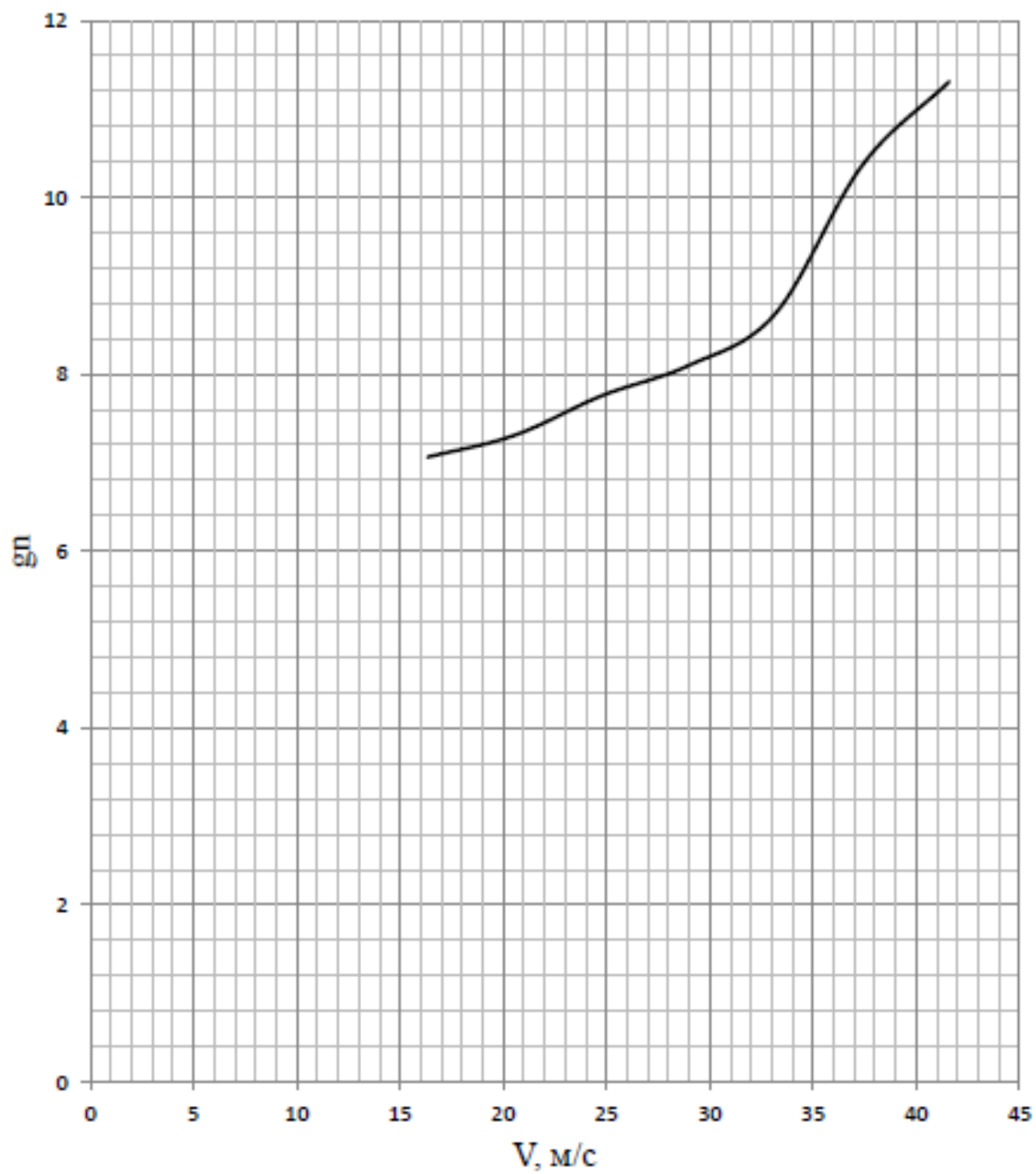


Рисунок А8 – Топливо-экономическая характеристика