

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 Разработка лабораторной установки по определению собственных колебаний подрессоренной массы. Исследование затухающих колебаний

Студент

Н.С. Кучеров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд.тех.наук, доцент Л.А. Черепанов

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

Консультанты

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

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

канд. экон. наук С.Ю.Данилова

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

канд. пед. наук, доцент С.А. Гудкова

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

Тольятти 2020

Аннотация

Цель данного дипломного проекта звучит, как разработка лабораторной установки для определения собственных колебаний поддрессоренной массы. Исследование затухающих колебаний.

Вопросам улучшения плавности хода автомобилей уделяется постоянно большое внимание, поэтому работа, выполненная в данном направлении актуальна.

В дипломном проекте проведен анализ существующих измерителей плавности хода автомобилей, изучены уже известные конструкции стендов, на которых проводятся испытания автомобиля на плавность хода. Частота собственных колебаний поддрессоренной массы считается одним из наиболее важных измерителей плавности хода. В данной работе была сконструирована и создана лабораторная установка по определению собственных колебаний поддрессоренной массы. Проведены аналитическое и экспериментальное исследования выше указанных колебаний.

Подготовлены и рассмотрены вопросы «Безопасность при использовании лабораторной установки» и «Экономический раздел».

Дипломный проект содержит 8 листов формата А1, 25 таблиц, 81 страницы пояснительной записки, которые включают в себя 6 разделов, введение, заключение и список источников.

Abstract

The title of the thesis projects: «The development of the stand for definition of own fluctuations of spring weight. »

This thesis project is devoted to definition of own fluctuations of spring weight, to their studying and smoothness of the course.

The aim of the work is to give some information about definition of own fluctuations of spring weight.

The research methods include practical tests of the stand for definition of damped oscillations and also studying of operational properties of the car - smoothness of the course.

In the analytical part of work the analysis of subject of the thesis is carried out. Traction calculation for definition of damped oscillations is conducted.

The graduation work describes in details estimated indicators and standards of smoothness of the course for establishment of acceptable level of fluctuations on human body.

The special part of the project gives details about negative impact of fluctuations and vibrations on human body, car productivity, fuel consumption, cutting-down of term of work of details, knots and units that in turn increases cost of transportations.

The graduation work consists of an explanatory note on 81, 25 tables, and the graphic part on 8 A1 sheets.

Содержание

Введение.....	4
1 Основы теории колебаний.....	5
1.1 Плавность хода автомобиля.....	7
1.2 Оценочные показатели плавности хода.....	9
1.3 Характеристики и параметры виброзащитной системы автомобиля.....	12
2 Теоретическое исследование собственных колебаний поддрессоренной массы	22
2.1 составление дифференциального уравнения с помощью уравнения Лагранжа	22
2.2 Одномассовая система.....	24
3 Экспериментальное исследование затухающих	28
колебаний поддрессоренной массы.....	28
4 Тяговый расчет	31
4.1. Подготовка исходных данных для тягового расчета.....	31
4.2 Определение передаточного числа главной передачи	34
4.3 Расчет внешней скоростной характеристики	34
4.4 Определение передаточных чисел коробки передач.....	37
4.5 Тяговый баланс автомобиля.....	39
4.7 Разгон автомобиля.....	44
4.9 Мощностной баланс автомобиля.....	54
4.10 Топливо-экономическая характеристика	56
5 Безопасность при использовании лабораторной установки.....	58
5.1 При работе на данной лабораторной установки должны соблюдаться меры безопасности. При несоблюдении могут возникнуть травмы.....	58
5.2 Вредные и опасные производственные факторы при работе на лабораторной установке	59

5.2.1 При работе на лабораторной установке возможно возникновение следующих вредных и опасных производственных факторов:	59
5.2.2 Для уменьшения влияния вредных и опасных производственных факторов предложены следующие мероприятия:	59
6 Экономический раздел	61
6.1 Сетевой график проведения НИР	61
6.2 Расчет затрат на проведение НИР	67
6.2.1 Расчет стоимости сырья, материалов.....	68
6.2.2 Расчет основной заработной платы разработчиков	69
Продолжение таблицы 6.8	72
6.2.3 Расчет дополнительной заработной платы разработчиков.....	72
6.2.4 Расчет отчислений на социальные нужды.....	72
6.2.5 Расчет прочих прямых расходов.....	73
6.2.6 Расчет накладных расходов.....	74
6.2.7 Расчет затрат на проведение НИР	74
6.3 Расчет капитальных вложений	75
6.4 Расчет общих экономических показателей	77
Заключение	80
Список используемой литературы	81

Введение

С колебательными процессами человеку приходится сталкиваться на каждом шагу. На первый взгляд кажется, что с физической точки зрения причина возникновения колебаний очевидна: что-то заставляет какую-то характеристику рассматриваемого объекта то увеличиваться, то уменьшаться. Так, например, если мы раскачиваем качели, стоя на земле, то не удивительно, что они совершают колебательное движение. Однако, даже в этом простом примере остается не ясным, почему нам удастся раскачаться, находясь непосредственно на качелях. Аналогичные вопросы возникают, если задуматься, почему ходят часы, почему бьется с определенной частотой сердце, почему река, текущая с постоянной скоростью, может в конечном итоге «давать» переменный ток, почему при равномерном движении смычка по струне возникают звуковые колебания. Ответ на подобные вопросы дает дисциплина «Теория колебаний».

Во многих областях современной техники весьма часто возникают колебательные движения различных механических систем.

«Возникающие в различных условиях колебания, или так называемые вибрации машин и их деталей, а также многочисленных инженерных сооружений и их отдельных элементов при неблагоприятных обстоятельствах могут вызывать значительные деформации и напряжения, а также быстрый износ конструкций и даже их разрушение. Особое значение приобретают различные виды колебаний локомотивов и вагонов, автомобилей, судов и самолетов в связи с возрастанием скоростей их движения» [21].

Изучение основ «Теории колебаний» крайне необходимо для изучения таких дисциплин как «Теория автомобиля», «Теория автоматического управления». Поэтому в данной работе создан стенд для лабораторных работ, позволяющий изучать основные понятия «Теории колебаний».

1 Основы теории колебаний

Колебания системы могут происходить как около положения равновесия, точно так же и относительно некоторого определенного движения системы, в том числе и стационарного движения.

В первом случае колебания возникают при устойчивом равновесии. Во втором, когда равновесие неустойчиво, система при незначительном отклонении отдаляется от положения равновесия и колебания около этого положения не возникают. Поэтому для того, чтобы изучить малые колебания механических систем необходимо знать критерий устойчивости равновесия данных систем.

В случае если система с голономными и стационарными связями, которые находятся в консервативном силовом поле, данный критерий устанавливается при использовании специальных теорем о потенциальной энергии системы.

В момент, когда точки механической системы, располагающейся в состоянии устойчивого равновесия, придают малые отклонения и малые начальные скорости, система образует свободные колебания около положения устойчивого равновесия.

«Положение голономной системы, имеющей s степеней свободы, в любой момент времени определяются s обобщенными координатами q_j »[5].

Будем считать, что в положении равновесия обобщенные координаты равны нулю: $q_{j0}=0$.

В случае свободных колебаний на материальные точки системы действуют восстанавливающие силы P_i и силы сопротивления R_i .

Уравнение Лагранжа второго рода для системы с s степенями свободы в этом случае принимают вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_{jP} + Q_{jR} \quad (j=1, 2, \dots, s) \quad (1.1)$$

где Q_{jp} – обобщенная сила, соответствующая восстанавливающим силам P_i ;

Q_{jR} – обобщенная сила, соответствующая силам сопротивления R_i .

Вывод этих уравнений можно найти в курсах теоретической механики.

Известно, что обобщенную силу, соответствующую восстанавливающим силам P_i , имеющим потенциал, определяют по формуле 1.2:

$$Q_{jp} = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_i} \quad (j=1, 2, \dots, s) \quad (1.2)$$

Для того, чтобы составить уравнение Лагранжа второго рода нам требуется иметь выражения кинетической энергии малых колебаний системы T и потенциальной энергии этой системы Π .

Кинетическая энергия:

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{m_i v_i^2}{2} \quad (1.3)$$

Потенциальная энергия:

$$Q_j = -\frac{\partial \Pi}{\partial q_i} \quad (j=1, 2, \dots, s) \quad (1.4)$$

Важно знать, что диссипативная функция или функция рассеивания имеет такой же вид, как и кинетическая энергия:

$$\Phi = \sum_{i=1}^n \frac{v_i v_i^2}{2} \quad (1.5)$$

1.1 Плавность хода автомобиля

Автомобиль является сухопутным транспортным средством, поэтому передвигается по дорогам с различным покрытием и разного качества. При этом дорога по неровной дороге на одном автомобиле не вызывает неприятных ощущений, а даже непродолжительная езда на другом по той же дороге вызывает неприятные ощущения, приводит к быстрой утомляемости и даже расстройствам здоровья. В данном случае можно сказать, что первый обладает плавным ходом, а второй, обладая жестким ходом, передает все неровности от колес и подвески непосредственно кузову, водителю и пассажирам.

«Под плавностью хода автомобиля понимают совокупность его потенциальных свойств, обеспечивающих ограничение в пределах установленных норм вибронегруженности водителя, пассажиров и груза. Они раскрывают его способность двигаться в определенном интервале скоростей без превышения выше указанных норм» [5].

«Нормы вибронегруженности определяются таким образом, чтобы на дорогах, для которых разрабатывается автомобиль, у водителя и пассажиров не появлялись неприятные ощущения и быстрая утомляемость от полученных колебаний, а вибрации грузов и конструктивных элементов автомобиля не вызывали нарушения их целостности» [2].

При движении автомобиля возникают колебания, которые в свою очередь рождаются из-за внешних и внутренних причин. К внутренним относятся неуравновешенность деталей и неравномерное их вращение. Кроме этого, их может вызвать дисбаланс работающего двигателя, узлов и деталей трансмиссии, ходовой части, в том числе и колеса. Из внешних причин наибольшее значение имеют неровности дороги.

«Под влиянием внутренних факторов возникают главным образом высокочастотные колебания – вибрации, влияние которых на пассажиров не столь значительно. Конечно, сильный дисбаланс колес или гнутый

карданный вал, могут вызвать ощутимую тряску при движении, но эти случаи связаны с явной неисправностью элементов конструкции автомобиля. Поэтому плавность хода рассматривается с точки зрения воздействия, оказываемого неровностями дороги» [4].

«Эта физическая неустойчивость вызывает отрицательное влияние, как на плавность хода, так и на множество других эксплуатационных свойств. Так, при использовании грузового транспорта на дорогах с некачественным состоянием дорожного покрытия средняя скорость движения снижается на 40-50%, межремонтный пробег – на 35-40%, расход топлива возрастает на 50-70%, а окупаемость этих перевозок на 50-60%. Колебания масс автомобиля обусловлены неровностями опорной поверхности дороги» [6].

«Интенсивность колебаний зависит от параметров и характеристик расположения главных агрегатов на раме транспортного средства компоновки автомобиля, его подвески и шин. Немаловажным фактором является характеристика воздействия дороги, которая определяется геометрией неровностей и скоростью движения. От назначения автомобиля зависят не только его параметры, но также механизмы и системы, которые определяются в процессе функционального проектирования. Отталкиваясь от основных требований, предъявляемых к автомобилю, сначала рассчитываются основные параметры, обеспечивающие высокие тягово-скоростные свойства и топливную экономичность. Данные свойства автомобиля могут полностью определять его потенциальные возможности по результативному выполнению функционального назначения» [5].

«Продуктивность транспортного средства напрямую связана с его скоростью передвижения в реальных условиях. Необходимо помнить, что потенциальные свойства автомобиля не должны выходить за установленные нормы по обеспечению виброзащиты водителя, пассажиров и груза» [4].

«Основными устройствами, защищающими автомобиль, водителя, пассажиров и груз от большой вибронагруженности со стороны дороги

являются подвеска и шины, а для водителя и пассажиров так же упругие сидения» [1].

«Из этого следует, что автомобиль обязан иметь возможность двигаться по дорогам с неровной дорожной поверхностью в интервале высоких эксплуатационных скоростей для достижения высокой производительности проведения транспортных работ» [3].

«Данное свойство создается условием выбора целесообразной структуры и наилучших параметров подвески автомобиля. В качестве исходных данных при функциональном проектировании подвески принимаются параметры компоновки автомобиля, характеристики дорожных условий и технические требования на показатели оценки плавности хода, устанавливаемые на основе действующих нормативных документов» [2].

1.2 Оценочные показатели плавности хода

«Влияние колебаний на водителя, пассажиров, элементы конструкции и перевозимый груз описываются с помощью данных о плавности хода автомобиля. Главное воздействие на плавность хода и самочувствие человека в автомобиле оказывают два вида колебаний: поступательное вертикальное (подпрыгивание) и угловое продольное (галопирование)» [5].

«Другими колебаниями при расчетной оценке плавности хода автомобиля можно пренебречь для упрощения исследования данного явления, что позволит рассматривать колебания автомобиля, как плоской фигуры, имеющей форму боковой поверхности корпуса автомобиля в одной вертикальной плоскости, совпадающей со средней скоростью автомобиля»[8].

«Колебания в вертикальной плоскости зависят от жесткости упругого элемента подвески и эластичности шин. Так как упругий элемент подвески после наезда на препятствие продолжает совершать затухающие колебания, то для гашения этих колебаний в состав подвески вводят амортизаторы.

Подбирая характеристику упругого элемента и конкретной модели автомобиля, добиваются искомой плавности хода этой плоскости» [9].

«Характеристикой упругого элемента подвески называется зависимость между нагрузкой на упругий элемент и его деформацией (прогибом, сжатием и т.п.)»[5].

«Более сложное влияние на плавность хода оказывает галопирование. Если возмущающая сила приложена не к центру упругости, а в другой точке, то возникает как линейное, так и угловое перемещение»[6].

«Следовательно, жесткость подвески необходимо выбирать таким образом, чтобы она была обратно пропорциональна расстояниям центра тяжести от передней и задней осей. Тогда при одинаковых прогибах передней и задней подвесок кузов автомобиля будет перемещаться без галопирования»[9].

«Тем не менее, выполнение этого условия не устраняет полностью угловые колебания кузова автомобиля. Они возникают при одновременном наезде переднего и заднего мостов на неровности дороги. Сдвиг по времени между двумя воздействиями зависит от базы автомобиля и скорости его движения. Амплитуда угловых колебаний уменьшается, если упругие элементы передней подвески имеют меньшую частоту собственных колебаний, чем упругие элементы задней подвески» [5].

«Особенно концентрируют внимание на виброзащиту человека» [8].

«Колебания автомобиля вызывают вредные влияния на организм человека. Они создают функциональные расстройства многих внутренних органов человека, которые неблагоприятно сказываются на его здоровье. Плавность хода оценивается частотой колебания кузова с грузом и пассажирами на подвеске» [2].

«Наиболее комфортная для человека частота колебаний – это естественная для нас, которую мы испытываем при ходьбе, то есть примерно 1,5-2,5 Гц. Достижение этого параметра обеспечивается соответствием

жесткости упругого элемента приходящейся на него массе кузова с грузом и пассажирами» [21].

«То есть, на тяжелом автомобиле пружины должны быть жестче, чем на легком при равной плавности хода. Доказано, что изменение частоты и интенсивности колебаний, вызывает очень серьезное воздействие на состояние человека. Единичное действие ощутимой интенсивности, возможно, спровоцирует травматические повреждения (ушибы, переломы, контузии)» [2].

«Колебания, в диапазоне частот от 3 до 5 Гц, провоцируют реакцию вестибулярного аппарата, нарушение сосудистой системы и укачивание (морскую болезнь). В диапазоне частот от 4 до 11 Гц появляются резонансные колебания головы, кишечника, желудка, а так же печени. В диапазонах превышающих 45 Гц и определенной интенсивности, зарождается так называемая вибрационная болезнь» [1].

«Многочисленные исследования показали, что организм человека принимает колебания не только вестибулярным аппаратом, но и глазами, ушами, суставными мышцами, кожей. Непосредственное воздействие от колебаний на внутренние органы, человек получает через костную ткань. Человеческий организм воспринимает воздействия колебаний по-разному в зависимости от их частоты. При низких частотах (до 15-20 Гц) он наиболее восприимчив к ускорениям, при средних частотах – к скоростям колебаний, при высоких частотах - к перемещениям. Наибольшая чувствительность отмечается к вертикальным колебаниям в диапазоне частот 4-8 Гц и горизонтальным – 1-2 Гц» [21].

«Для оценивания плавности хода автомобиля и вибрационной нагрузки водителя и пассажиров применяются следующие показатели:

- Собственные частоты колебания поддресоренных масс;
- Максимальные и средние квадратичные значения ускорений в различных точках автомобиля;

– Средние квадратичные значения виброускорений на сидениях водителя и пассажиров в первых пяти октавных полосах частот» [22].

1.3 Характеристики и параметры виброзащитной системы автомобиля

«Автомобиль представляет собой колебательную систему, в которую входят инерционные, упругие и диссипативные элементы. К инерционным относятся массы кузова, мостов с колесами, людей и грузов. Различают подрессоренные и неподрессоренные массы. К подрессоренным относятся массы, сила тяжести которых передается на упругие элементы подвески (массы кузова, груза, водителя, пассажиров). Остальные массы относятся к неподрессоренным (колеса, мосты). Массы конструктивных элементов подвески частично относятся к подрессоренным, а частично к неподрессоренным» [8].

«Упругие и диссипативные элементы составляют основу виброзащитной системы автомобиля. В эту систему входят: подвеска, шины, сиденья водителя и пассажиров. К подвеске относятся конструктивные элементы, соединяющие мосты или отдельные колеса с рамой или кузовом. Кроме упругих и диссипативных элементов в нее входят направляющие устройства, определяющие кинематические характеристики перемещения колес относительно рамы или кузова и обеспечивающие передачу между ними усилий и моментов. Воздействия неровностей дороги на колебательную систему автомобиля вызывают колебания масс и приводят к изменению их кинетической энергии» [23].

«Упругие элементы предназначены для преобразования энергии толчка и ударов, создаваемых неровностями дороги, в потенциальную энергию упругих элементов. Назначение диссипативных элементов – гашения колебаний. Они обеспечивают рассеивание энергии, превращая механическую энергию колебаний в тепловую. Интенсивность гашения

колебаний зависит от величины трения диссипативного элемента (гидравлического сопротивления амортизатора, внутреннего трения элементов шины и сидений)» [23].

«Характеристику упругого элемента подвески существующего автомобиля получают экспериментально путем нагружения и разгрузки. Для этого автомобиль устанавливают колесами на весовые устройства (ладометры). К кузову автомобиля прикрепляется трос лебедки, посредством которой кузов подтягивают вверх или вниз, изменяя деформацию упругого элемента от его полной разгрузки до максимальной нагрузки, определяемой ограничителями хода» [9].

На рис.1.1 Показана «характеристика упругого элемента подвески, представляющая собой зависимость усилия упругого элемента F_p от его деформации Δ_p . Эта зависимость при нагружении и разгрузке различна вследствие неизбежного гистерезиса, обусловленного трением (межлистовое трение, внутреннее трение в материале упругих элементов и др.). В качестве характеристики упругого элемента принимается средняя линия между кривыми нагружения и разгрузки (штриховая линия)» [5].

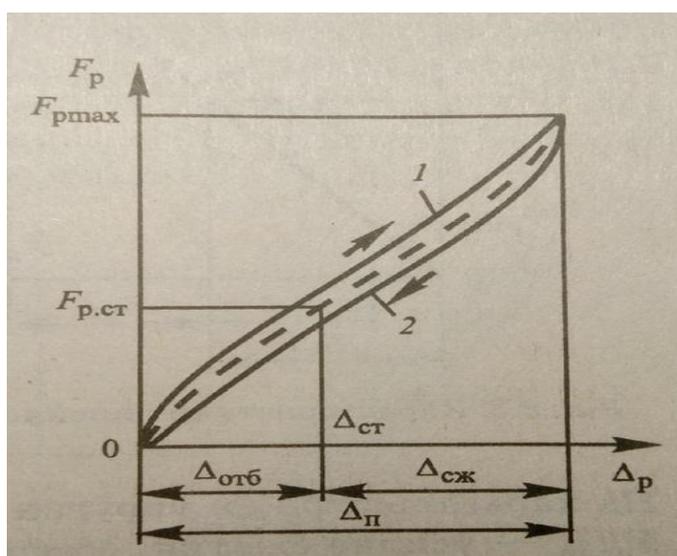


Рисунок 1.1 - Характеристика упругого элемента подвески: 1 - нагружение, 2 - разгрузка

Коэффициент жесткости упругого элемента подвески c_p . Он равен производной усилия упругого элемента F_p по перемещению Δ_p :

$$c_p = dF_p / d \Delta_p. \quad (1.6)$$

Если $c_p = \text{const}$, характеристика упругого элемента линейная (рис.1.2). В первом случае подвеску называют - линейной, а во втором – нелинейной.

Показатели упругих свойств шины можно определить и экспериментальным путем. На рис.1.2 Показана зависимость усилия сжатия шины F_m от ее деформации Δ_m при нагрузке и разгрузке. При незначительной нагрузке эта зависимость получается нелинейная, но при её возрастании со временем изменяется практически в линейную. Отсюда следует, что характеристика упругого элемента шины тоже имеет петлю гистерезиса. Нелинейный участок характеристики часто не берут во внимание, а в качестве характеристики упругого элемента шины допускают среднюю линию между кривыми нагрузки и разгрузки в линейной области (штриховая линия).

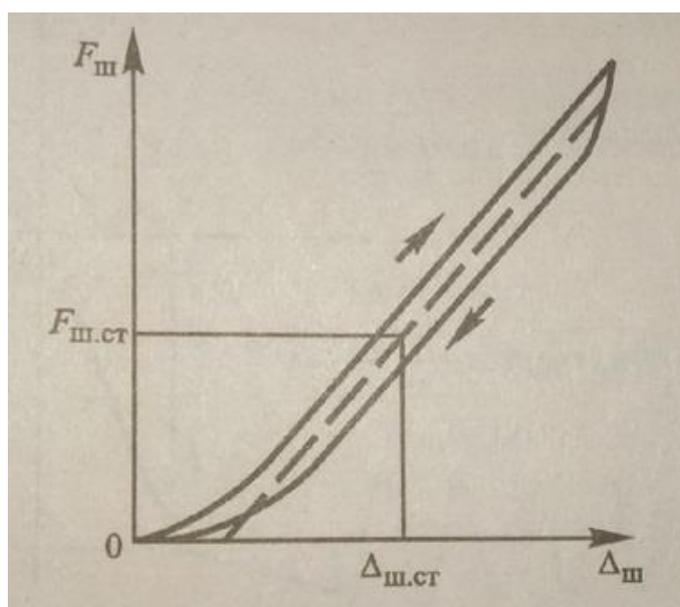


Рисунок 1.2 - Характеристика упругого элемента шины

Коэффициент радиальной жесткости шины $c_{ш}$ можно определить, вычислив производную усилия сжатия $F_{ш}$ по перемещению $\Delta_{ш}$ в точке с координатами $\Delta_{ш.ст}$, $F_{ш.ст}$, соответствующей статической нагрузке на шину:

$$c_{ш} = dF_{ш} / d \Delta_{ш} \quad (1.7)$$

Характеристикой амортизатора принято считать зависимость силы сопротивления F_a от скорости перемещения поршня относительно стенок цилиндра $\dot{\Delta}_p$. Она является нелинейной характеристикой. В большинстве случаев её аппроксимируют кусочно-линейной зависимостью (рис.1.3). При ходе сжатия коэффициент сопротивления $\mu_{р.сж}=(0,1-0,25) \mu_{р.отб}$. Это совершают для того, чтобы исключить большие усилия на ходе сжатия амортизатора, тем самым не давая увеличиться жесткости подвески. При ходе отбоя происходит поглощение большей части энергии колебательного процесса.

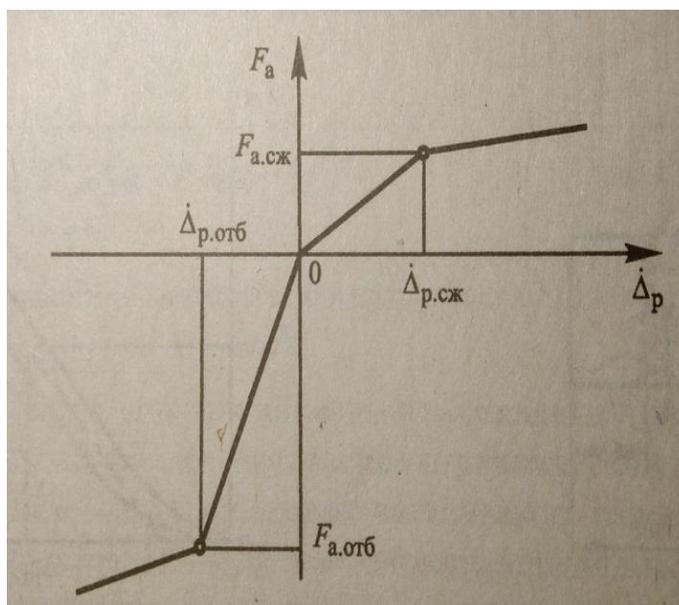


Рисунок 1.3 - Аппроксимированная характеристика гидравлического амортизатора

При высоких скоростях деформации возможна перезагрузка деталей амортизатора. Для её недопущения применяют разгрузочные клапана, которые уменьшают коэффициенты $\mu_{p.cж}$ и $\mu_{p.отб}$ при превышении $\dot{\Delta}_p$ некоторых значений $\dot{\Delta}_{p.cж}$ и $\dot{\Delta}_{p.отб}$. При обычных эксплуатационных режимах движения автотранспорта, эти клапана закрыты. Они начинают свою работу только при резких ударах колес о неровности дорожной поверхности. Открытие этих клапанов происходит при скорости $\dot{\Delta}_p$, которая примерно равна 0,4 м/с.

Из-за сил трения между составных частей подвески, гистерезисных потерь в материале деформируемых компонентов подвески, а так же шин, происходит рассеивание энергии колебаний.

На рис. 1.4 показаны графики затухания колебаний колеса находящегося в покое (а) и катящегося по барабану с минимальным трением со скоростью 20 км/ч (б). Разумеется, что в первом случае рассеивание энергии значительно превышает значение, по сравнению со вторым. Доказательством этого процесса является то, что скорость деформации элементов беговой дорожки шины при качении во много раз больше скорости деформаций, зависящих от вертикальных колебаний.

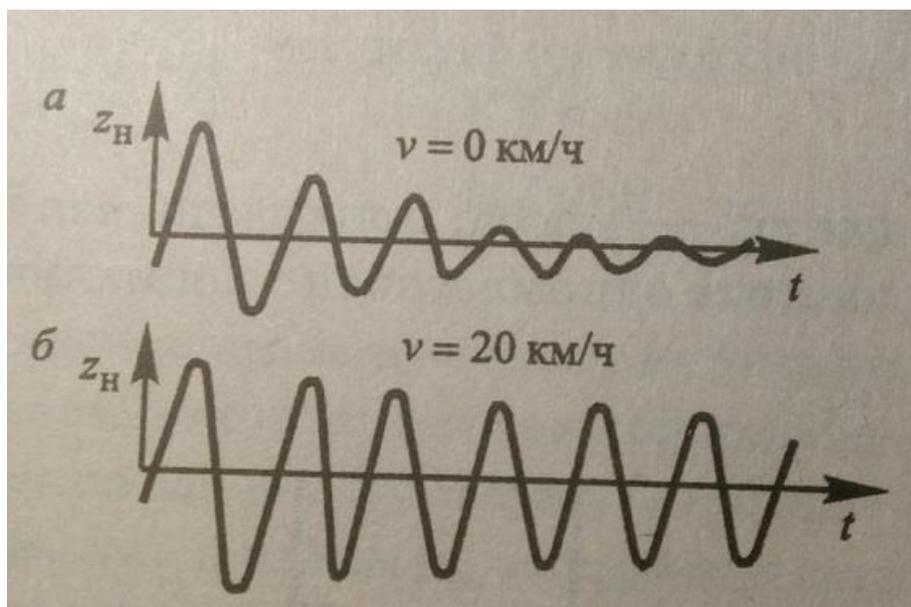


Рисунок 1.4 - Свободные колебания неподрессоренной массы: а - на неподвижной шине, б – на катящейся шине

«Рассмотрим методику определения параметров виброзащитной системы при функциональном проектировании автомобиля. Определению подлежат коэффициенты жесткости упругих элементов подвески и шин, статические деформации и ходы сжатия упругих элементов. При этом используют принцип декомпозиции виброзащитной системы, выделяя из нее элементарные динамические подсистемы, называемые парциальными системами» [14].

«В современной технике используется огромное количество разнообразных автоматических устройств и систем, отличающихся друг от друга физической природой, принципом действия, схемными и конструктивными решениями. Однако все эти устройства и системы предназначены для решения лишь нескольких основных задач автоматизации, к которым относятся: сигнализация, контроль, блокировка и защита, пуск и остановка, управление» [8].

«Системы автоматической сигнализации - предназначены для извещения обслуживающего персонала, водителя о состоянии той или иной

технической установки, о протекание какого-либо процесса (пример - датчик-указатель)» [23].

«Системы автоматического контроля осуществляют без участия человека контроль различных параметров и величин, характеризующих работу какого-либо процесса (пример – термостат)» [23].

«Системы автоматической блокировки и защиты служат для предотвращения возможности возникновения аварийных ситуаций в агрегатах, устройствах. Когда какая-то величина, характеризующая поведение защищаемого объекта, достигает своего критического значения, система автоматической блокировки и защиты оказывает воздействие на защищаемый объект, частично или полностью прекращая его работу (пример - предохранитель)» [23].

«Системы автоматического пуска и остановки обеспечивает включение, остановку различных двигателей, приводов по заранее заданной программе в нужный промежуток времени (пример - двигатель вентилятора системы охлаждения двигателя)» [23].

«Системы автоматического управления предназначены для управления работой тех или иных агрегатов или протеканием каких-либо процессов»[23].

«Важнейшим и наиболее сложными системами являются системы автоматического управления.

Управлением в широком смысле слова называется организация какого-либо процесса, обеспечивающая достижение поставленной цели.

В зависимости от назначения все системы автоматического управления могут быть разбиты на системы автоматического регулирования и кибернетические системы. Кибернетические системы в данной дисциплине не рассматриваются» [5].

«Системы автоматического регулирования (САР) решают задачи регулирования тех или иных технических агрегатов» [23].

«Прикладная инженерная дисциплина, изучающая принципы построения и методы расчета систем автоматического управления,

называется теорией автоматического управления. Таким образом, системы автоматического регулирования представляют собой частный случай систем автоматического управления, а изучающая их наука – теория автоматического регулирования – является одним из разделов теории автоматического управления (ТАУ)» [23].

«В теории автоматического управления рассматривают математическую модель САУ, то есть модель, которая получается в результате математического описания системы. Для получения описания САУ обычно используют описание её отдельных элементов. В частности, для получения управлений САУ составляют уравнения каждого входящего в него элемента. Совокупность полученных уравнений и даёт аналитическое описание САУ» [9].

«Математическое описание динамики САУ обычно производится путем составления системы дифференциальных уравнений. Строго говоря, любая реальная динамическая система является нелинейной. Однако большинство непрерывных систем управления могут быть линеаризованы, то есть заменены приближенно эквивалентными системами, переходные процессы в которых описываются обыкновенными линейными дифференциальными уравнениями с постоянными коэффициентами. Такие системы управления называются линейными» [5].

«Линеаризация исходных систем основывается на методе малых отклонений. Сущность метода заключается в том, что динамические свойства системы управления исследуются не во всем возможном диапазоне изменения переменных систем, а вблизи их некоторых значений, соответствующих характерным режимам работы (например, установившимся режимам)» [5].

«Любая автоматическая система состоит из динамических звеньев. Например, колебательное звено. Рассмотрим механическую систему, пример которой приведен на рисунке 1.5 механическая модель звена» [21].

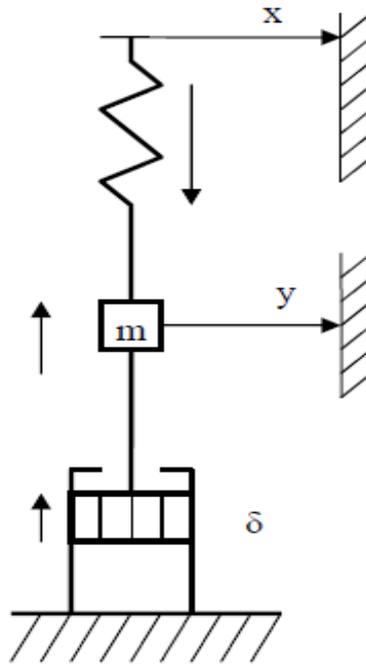


Рисунок 1.5 - Механическая модель звена

«Если приложить входную величину x , то пружина сначала сожмется, затем начнется перемещение массы, которая, двигаясь, по инерции, пройдет положение равновесия и растянет пружину. Составим уравнение. Сумма всех сил, действующих на систему $\sum_{i=1}^n P_i = 0$, при приложении x инерционные силы и силы сопротивления вязкой среды будут действовать в обратную сторону» [21]:

$$P_{\text{упр}} - P_{\text{ин}} - P_{\text{в.с.}} = 0; P_{\text{упр}} = C(x - y) \quad (1.8)$$

$$P_{\text{ин}} = m\ddot{y}; P_{\text{в.с.}} = \delta\dot{y} \quad (1.9)$$

где \dot{y} -скорость перемещения.

Подставляя значения $P_{\text{упр}}$ $P_{\text{ин}}$ $P_{\text{в.с.}}$ в уравнение $\sum_{i=1}^n P_i = 0$, получим:

$$-C_y - m\ddot{y} - \delta\dot{y} = -C_x \quad (1.10)$$

Разделим обе части этого уравнения на C , тогда:

$$y + T_1 \ddot{y} + T_2 \dot{y} = x \quad (1.11)$$

где $T_1 = m/C$, $T_2 = \delta/C$

Рассмотрим график переходной характеристики колебательного звена, пример которой приведен на рисунке 1.6.

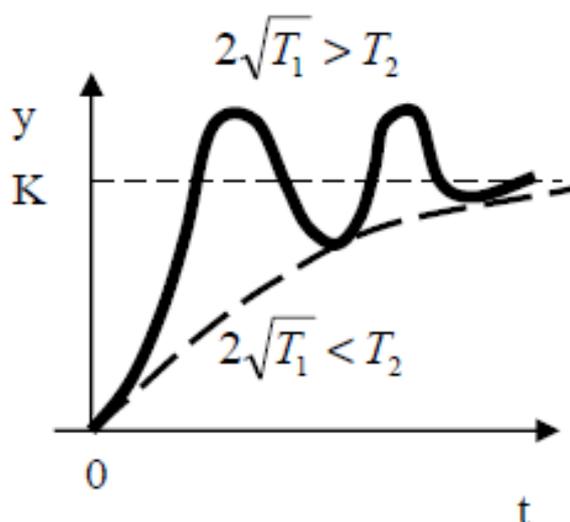


Рисунок 1.6 - Переходная характеристика колебательного звена

2 Теоретическое исследование собственных колебаний подрессоренной массы

2.1 составление дифференциального уравнения с помощью уравнения Лагранжа

Составление дифференциальных уравнений с помощью уравнений Лагранжа II рода, которое имеет вид:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial \Phi}{\partial q_i} - \frac{\partial T}{\partial q_i} = Q_i \quad (2.1)$$

где T- кинетическая энергия системы

Π - потенциальная энергия системы

Φ- функция рассеивания

q_i - обобщенные координаты

Q_i - обобщенные силы

Выбрать три обобщенные координаты z, x, Q

Кинетическая энергия системы:

$$T = \frac{m\dot{z}^2}{2} + \frac{m\dot{x}^2}{2} \quad (2.2)$$

Потенциальная энергия системы, когда за начало отсчета принято положение статического равновесия, равна приравниванию потенциальных энергий упругих элементов:

$$\Pi = \frac{c_p(z - x)^2}{2} + \frac{c_p(x - Q)^2}{2} \quad (2.3)$$

Функция рассеивания:

$$\Phi = \frac{k_a(\dot{z} - \dot{x})^2}{2} \quad (2.4)$$

Сначала вычислим необходимые производные:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{z}} \right) = m\ddot{z} \quad (2.5)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} = 0$$

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{x}} \right) = m\ddot{x} \quad (2.6)$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{z}} = 0$$

$$\Pi = \frac{c_p(z^2 - 2zx + x^2)}{2} + \frac{c_m(x^2 - 2xQ + Q^2)}{2} \quad (2.7)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial z} = c_p(z - x) \quad (2.8)$$

$$\frac{\partial \Pi}{\partial x} = c_m(x - Q) \quad (2.9)$$

$$\Phi = \frac{k_a(\dot{z}^2 - 2\dot{z}\dot{x} + \dot{x}^2)}{2} \quad (2.10)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial z} = k_a(\dot{z} - \dot{x}) \quad (2.11)$$

$$\frac{\partial \Phi}{\partial x} = k_a(\dot{x} - \dot{z}) \quad (2.12)$$

$$\frac{\partial T}{\partial q_i} = 0$$

$$m\ddot{z} + c_p(z - x) + k_a(\dot{z} - \dot{x}) = 0$$

$$m\ddot{x} + c_p(z - x) - k_a(\dot{z} - \dot{x}) + c_m(x - Q) = 0$$

2.2 Одномассовая система

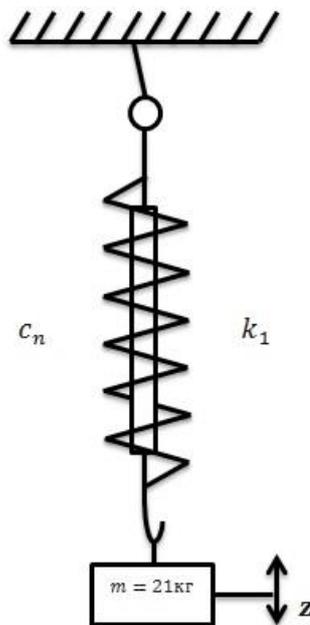


Рисунок 2.1 - Схема установки подрессоренной массы

Для нашего случая (с одной степенью свободы) обобщенная координата $q_i = z$:

$$T = \frac{1}{2} m \dot{z}^2 \quad (2.13)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} c_n z^2 \quad (2.14)$$

где c_n - Жесткость пружины;

$$\phi = \frac{1}{2}k_1\dot{z}^2 \quad (2.15)$$

где k_1 - Коэффициент сопротивления;

Выполняя дифференцирование по формулам:

$$m\ddot{z} = c_n z - k_1 \dot{z} \quad (2.16)$$

или

$$m\ddot{z} + k_1 \dot{z} + c_n z = 0 \quad (2.17)$$

$$c_n z + F_n + F_a = 0$$

$$c_n z + m\ddot{z} + k_1 \dot{z} = 0$$

$$\ddot{z} + 2h\dot{z} + w^2 z = 0$$

$$\omega = \sqrt{\frac{c_n}{m}} \quad (2.18)$$

Коэффициент сопротивления подвеса:

$$h = \frac{k_1}{2m} \quad (2.19)$$

Решение уравнения затухающих колебаний имеет вид:

$$z = Ae^{-ht} \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (2.20)$$

Затухающие колебания с частотой w_0 :

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 - h^2} = \sqrt{1 - \psi^2} \quad (2.21)$$

где $\psi = \frac{h}{\omega}$ – относительный коэффициент затухания;

ψ - также называют коэффициентом аperiodичности, если $\psi=1$, имеет $h=\omega$, $\omega_0=0$; то есть свободные колебания отсутствуют, и тогда масса, получив начальное отклонение возвращается в положение равновесия без колебаний (рис.2.2 График свободных затухающих колебаний подрессоренной массы)

Решая уравнение (2.20) с помощью Microsoft Excel получим график (рис. 2.2)

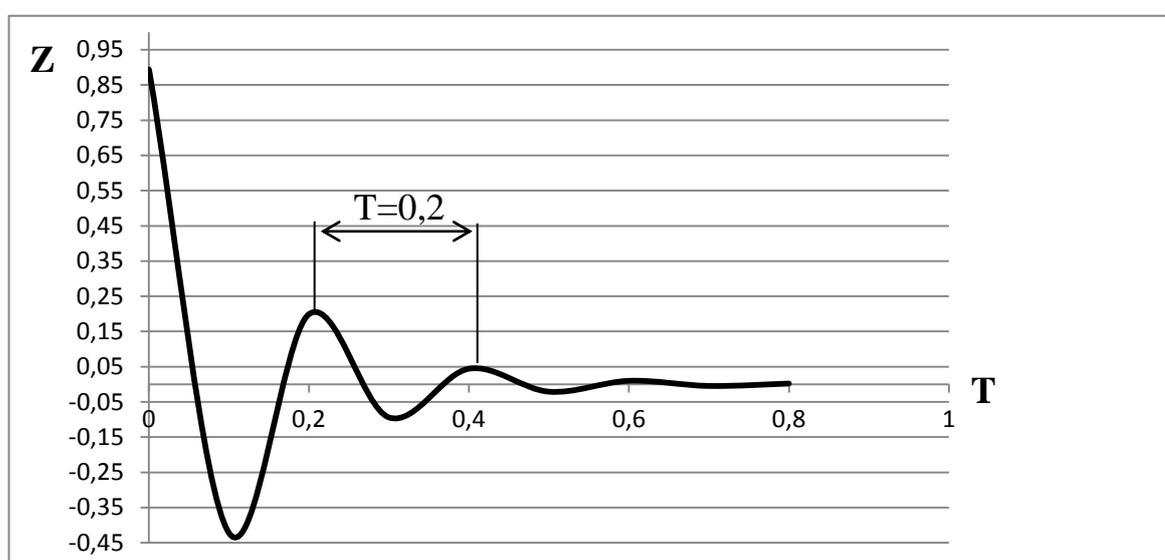


Рисунок 2.2 – График свободных затухающих колебаний подрессоренной массы

У современных автомобилей колебания кузова происходят с $\psi=0,15 \div 0,3$, то есть 15-30% от предельного аperiodичного.

Для нашего стенда:

$$n < k$$

$$h < \omega$$

$$h=0.15\omega \quad (2.23)$$

$$\psi = \frac{h}{\omega} = 0.15 \quad (2.22)$$

$$\omega = 31.3c^{-1}$$

берем $h=0.15*31.3=4.7$

$$\omega_0 = \sqrt{1 - \psi^2} = 0.99c^{-1} \quad (2.24)$$

$$\omega_0 = \sqrt{\omega^2 - h^2} = \sqrt{31.3^2 - 4.7^2} = 31c^{-1} \quad (2.25)$$

$$T_0 = \frac{2*3.14}{31} = 0,2c$$

$$c_n = 21 \frac{\text{кг}}{\text{см}} = 205,8 \frac{\text{Н}}{\text{см}}$$

$$c_m = 205,8\text{Н}$$

$$m = \frac{205,8}{980} = 0,21 \frac{\text{Нс}^2}{\text{см}}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{c}{m}} = \sqrt{\frac{205,8}{0,21}} = 31,3c^{-1} \quad (2.26)$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{6,28}{31,3} = 0,2c \quad (2.27)$$

$$N=300/1=300$$

$$n = \frac{30\omega}{\pi} = \frac{30 * 31,3}{3,14} = 29,9 \frac{\text{КОЛ}}{\text{МИН}} \quad (2.28)$$

3 Экспериментальное исследование затухающих колебаний поддрессоренной массы

Способ практического проведения испытания на лабораторной установке

Предварительный этап:

- 1) С помощью секундомера определяется, за какой промежуток времени вращения, барабан совершает один полный оборот
- 2) Замеряется диаметр и длина его окружности
- 3) Устанавливается на барабан миллиметровая бумага

Этап испытаний:

- 1) На стенд подвешивается груз
- 2) Включается в сеть и запускается электродвигатель
- 3) На совершающем обороты барабане проводится нулевая линия
- 4) К грузу прикладывается сверху вниз усилие под действием которого груз оттягивается. Усилие убирается.
- 5) Созданные таким образом колебания поддрессоренной массы через рычаг и пишущее устройство изображаются на миллиметровой бумаге вращающегося барабана.
- 6) Перемещение по оси абсцисс графики колебаний преобразуются во время
- 7) Из «Теории колебаний» по ранее известным формулам рассчитывается частота колебаний поддрессоренной массы в кол/мин.

10 полных оборотов барабан преодолевает за 22 секунды, соответственно 1 оборот осуществляется за 2.2секунд.

$$10 \text{ об.} - 22 \text{ с.}$$

$$t_1 - 2.2 \text{ с.}$$

Затем определяем длину окружности барабана. Его радиус составляет 0,0525 м.

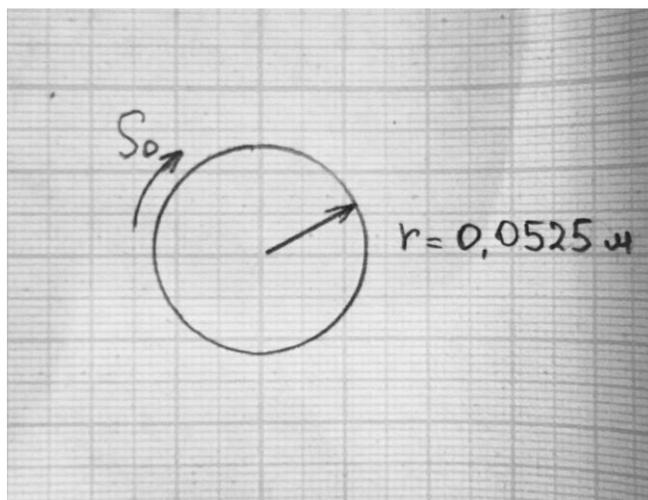


Рисунок 3.1-Радиус барабана

$$S_{ок} = 2\pi r = 3,14 * 2 * 0,0525 = 0,32 \text{ м} = 32 \text{ см.} \quad (3.1)$$

Вычисляем период колебаний подрессоренной массы

$$T = \frac{t_1 * S}{S_{ок}} = \frac{2,2 * 35}{320} = 0,24 \text{ с.} \quad (3.2)$$



Рисунок 3.2- Период колебаний (практический)

Выражаем период колебаний в частоту:

$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{0,24} = 4,17 \text{ Гц} \quad (3.3)$$

$$\omega_{\text{эксп}} = 2\pi f = 2 * 3.14 * 4,17 = 26,17 \text{ с}^{-1} \quad (3.4)$$

$$\Delta = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{эксп}}}{\omega_0} * 100\% = \frac{31 - 26.17}{31} * 100\% = 15\% \quad (3.5)$$

Расхождение между теоретической и экспериментальной частотами составляет 15%, что является хорошим результатом.

4 Тяговый расчет

«Таблица 4.1- Данные для расчет» [3]:

Компоновочная схема автомобиля	Переднеприводный
Длина	4350мм
Ширина	1680мм
Высота	1420мм
Масса в снаряженном состоянии	1088кг
Шины	185/65 R14
Коэффициент сопротивления качению	0,012
Коэффициент аэродинамического сопротивления	0,32
Коэффициент уклона i	0,30
Максимальная скорость	180 км/ч

4.1. Подготовка исходных данных для тягового расчета

«Полная масса автомобиля рассчитывается по формуле 4.1:

$$m_a = m_0 + m_{\text{ч}}(n) + m_{\text{б}} \quad (4.1)$$

где – m_a – снаряженная масса автомобиля;

m_0 – снаряженная масса автомобиля;

$m_{\text{ч}}$ – 75 кг среднестатистический вес человека;

n – число пассажиров, включая водителя;

$m_{\text{б}}$ – масса груза по 10 кг на 1 человека» [5].

$$m_a = 1088 + 75 \cdot 5 + 10 \cdot 5 = 1513 \text{ кг}$$

«Нагрузка по осям

Масса которая прикладывается на заднюю ось 40%» [5]

«Масса которая прикладывается на переднюю ось 60%» [5]

$$m_1 = 1513 \cdot 0,60 = 907,8 \text{ кг}$$

$$m_2 = 1513 \cdot 0,40 = 605,2 \text{ кг}$$

Подбор шин

$$r_{ст} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H \quad (4.2)$$

«где – d – посадочный диаметр шины;

λ_z – коэффициент вертикальной деформации, зависящий от типа шин.»[9]

$$\frac{H}{B} = 0,65_{мм}$$

«На дорогах с твердым покрытием» [5]:

$$r_{ст} \approx r_{\delta} \approx r_k$$

«где r_{δ} – динамический радиус колеса;

r_k – радиус качения колеса.

$$r_{ст} = 0,5 \cdot 0,3556 + 0,65 \cdot (0,185 \cdot 0,65) = 0,276_{м}$$

Коэффициент обтекаемости рассчитываем по формуле 4.3:

$$k = \frac{c_x \cdot \rho}{2} \quad (4.3)$$

где ρ – плотность воздуха в нормальных условиях 760 мм.рт.ст.»[5]

$$\rho = 1,293$$

$$k = \frac{0,32 \cdot 1,293}{2} = 0,21$$

Лобовая площадь

Лобовая площадь рассчитывается по формуле 4.4:

$$F = 0,8 \cdot B_r \cdot H_r \quad (4.4)$$

$$F = 0,8 \cdot 1,680 \cdot 1,420 = 1,9 \text{ м}^2$$

КПД трансмиссии автомобиля примем $\eta_{\text{тр}} = 0,92$

«Коэффициент сопротивления качению рассчитываем по формуле 4.5»[5]:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{V^2}{2000} \right) \quad (4.5)$$

«где f_0 – коэффициент сопротивления качению автомобиля с малой скоростью» [5];

V – скорость автомобиля в м/с.

$$V = \frac{180 \cdot 1000}{3600} = 50 \text{ м/с}$$

$$f = 0,01 \left(1 + \frac{50^2}{2000} \right) = 0,027$$

4.2 Определение передаточного числа главной передачи

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \cdot \frac{\omega_{max}}{V_{max}} \quad (4.6)$$

«Где ω_{max} – максимальная угловая скорость коленчатого вала.

$$n_{max} = 5600 \text{ об/мин}$$

$$\omega_{max} = \frac{5600 \cdot \pi}{30} = 586,43 \text{ рад/с}$$

$$U_k = 0,78$$

$$U_0 = \frac{0,276}{0,78} \cdot \frac{586,43}{50} = 4,15 \text{ – передаточное число главной передачи} \text{ [5].}$$

4.3 Расчет внешней скоростной характеристики

«Мощность двигателя при максимальной скорости рассчитываем по формуле 4.7» [5]:

$$N_v = \frac{1}{\eta_{тр}} \left(G_a \cdot \psi_v \cdot V_{max} + \frac{c_x \cdot \rho}{2} \cdot F \cdot V_{max}^3 \right) \quad (4.7)$$

«где $G_a = m_a \cdot g$ – полный вес автомобиля.

$$G_a = 1513 \cdot 9,81 = 14842,53 \text{ Н}$$

$$\psi_v = f \quad (4.8)$$

$$N_v = \frac{1}{0,92} \left(14842,53 \cdot 0,027 \cdot 50 + \frac{0,32 \cdot 1,293}{2} \cdot 1,9 \cdot 50^3 \right) = 75145 \text{ Вт} \quad [5].$$

«Максимальная мощность двигателя» [5]

$$N_{\max} = \frac{N_v}{a \cdot \lambda + b \cdot \lambda^2 - c \cdot \lambda^3} \quad (4.9)$$

«где a, b, c – эмпирические коэффициенты» [5].

$$a = b = c = 1$$

$$\lambda = \frac{\omega_{\max}}{\omega_N} \quad (4.10)$$

«Принимаем $\lambda = 1,15$

$$\omega_N = \frac{\omega_{\max}}{\lambda} \quad (4.11)$$

$$\omega_N = \frac{586,43}{1,15} = 509,94 \text{ рад/сек}$$

$$N_{\max} = \frac{75145}{1 \cdot 1,15 + 1 \cdot 1,15^2 - 1 \cdot 1,15^3} = 78965 \text{ Вт} \quad [5].$$

Рассчитываем внешнюю скоростную характеристику по формуле 4.12:

$$N_e = N_{\max} \left(a \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - c \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right) \quad (4.12)$$

«Для построения кривой эффективного момента двигателя применим формулу 4.13»[5]:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \quad (4.13)$$

Выбрав 7 значений в диапазоне $\omega_{min} \dots \omega_{max}$, рассчитаем зависимости $N_e(\omega_e)$ и $M_e(\omega_e)$. Результаты расчётов сводим в таблицу 4.2.

Таблица 4.2-Результаты расчета зависимости

n, об/мин	800	1600	2400	3200	4000	4800	5600
w	83,78	167,55	251,33	335,1	418,88	502,66	586,43
Ne	14754,72	31669,19	48646,52	63582,11	74378,62	78932,97	75145,1
M	176,11	189,01	193,55	189,74	177,57	157,03	128,14

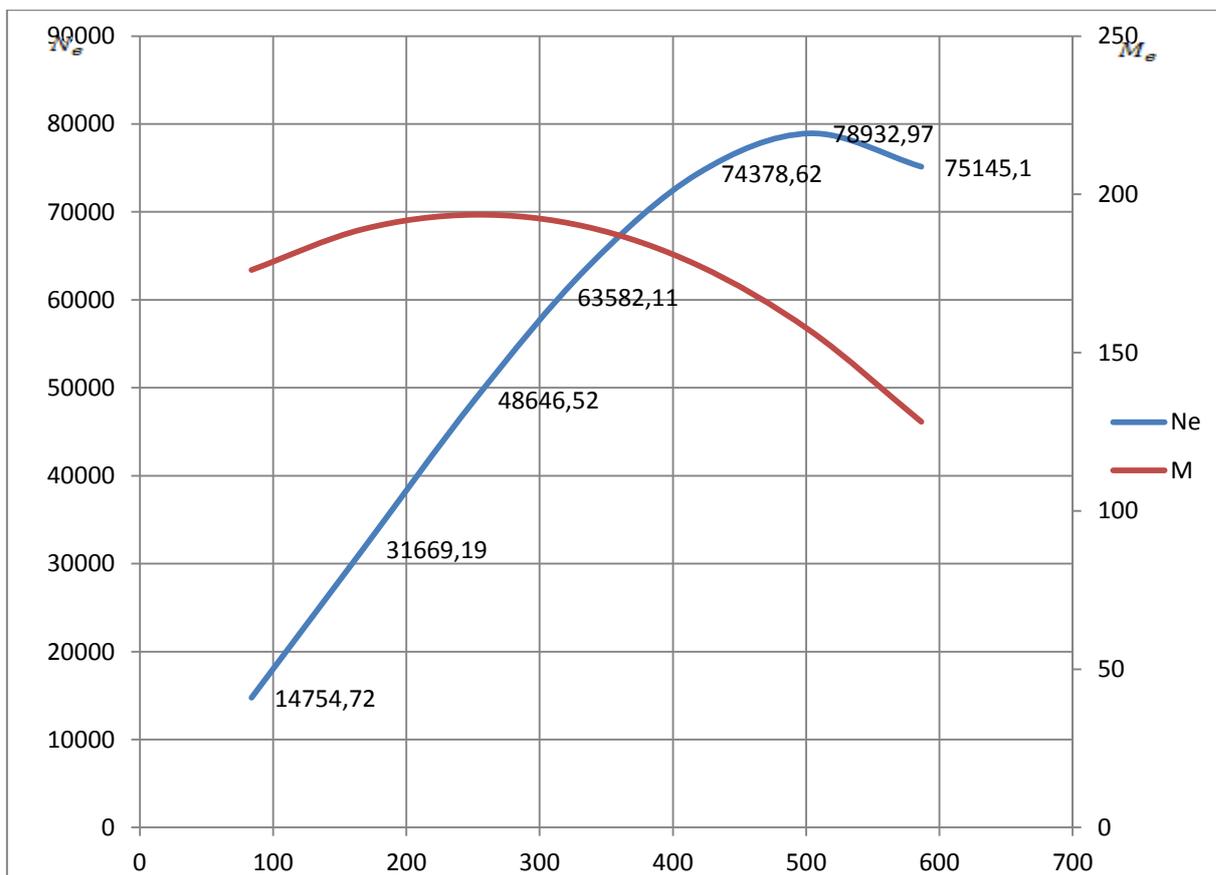


Рисунок 4.1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

4.4 Определение передаточных чисел коробки передач

«Определим передаточное число первой передачи по формуле 4.14:

$$\frac{M_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0 \cdot U_1}{r_k} \geq G_a \cdot \psi_{\max} \quad (4.14)$$

или по формуле 4.15» [5]:

$$U_1 \geq \frac{G_a \cdot \psi_{\max} \cdot r_k}{M_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0} \quad (4.15)$$

«Для того чтобы предотвратить прокручивание ведущих колес нужно сделать так, чтобы сила первой передачи была не больше той, которая образуется в результате соприкосновения колеса с дорогой» [5].

$$\frac{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot U_1}{r_k} \leq G_{сц} \cdot \varphi \quad (4.16)$$

Или

$$U_1 \leq \frac{G_{сц} \cdot \varphi \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0} \quad (4.17)$$

$$G_{сц} = 8905,52 \cdot 0,9 = 8014,97 \text{ Н}$$

$$U_1 \geq \frac{14842,53 \cdot (0,3 + 0,012) \cdot 0,276}{193,55 \cdot 0,92 \cdot 4,15} = 1,73$$

$$U_1 \leq \frac{8014,97 \cdot 0,7 \cdot 0,276}{193,55 \cdot 0,92 \cdot 4,15} = 2,1$$

Примем $U_1 = 2,0$

«Передаточные числа для пятиступенчатой коробки передач» [5]:

$$U_2 = \sqrt[3]{U_1^2} = 1,59$$

$$U_3 = \sqrt[3]{U_1} = 1,28$$

$$U_4 = 1$$

$$U_5 = 0,78$$

$$U_{3X} = 1,2 \cdot U_1 = 2,4$$

«Произведем расчет скорости автомобиля для каждой передачи рассчитываем по формуле 4.18:

$$V = \frac{r_k \cdot \omega_e}{U_0 \cdot U_n} \quad (4.18)$$

где U_n – передаточное число коробки передач;

ω_e – текущие значения угловой скорости вала» [5].

Таблица 4.3-Расчет скорости автомобиля

п, об/мин	I	II	III	IV	V
800	2,79	3,50	4,46	5,57	7,14
1600	5,57	7,01	8,91	11,14	14,29
2400	8,36	10,51	13,37	16,71	21,43
3200	11,14	14,02	17,83	22,29	28,57
4000	13,93	17,52	22,29	27,86	35,72
4800	16,71	21,03	26,74	33,43	42,86
5600	19,50	24,53	31,20	39,00	50,00

4.5 Тяговый баланс автомобиля

Уравнение тягового баланса представлено в формуле 4.19:

$$P_T = P_d + P_b + P_i \quad (4.19)$$

«где P_T – сила тяги;

P_d – сила дорожного сопротивления;

P_B – сила сопротивления воздуха;

$P_{и}$ – сила сопротивления разгону автомобиля.

Сила тяги на ведущих колесах для каждой передачи рассчитывают по формуле 4.21»[5]:

$$P_T = \frac{U_k \cdot U_0 \cdot M_e \cdot \eta_{TP}}{r_k} \quad (4.20)$$

«где U_k – передаточное число коробки передач;

M_e – величина эффективного момента двигателя (Нм).

Сила сопротивления дороги рассчитывается по формуле 4.21»[5]:

$$P_d = G_a \cdot \psi \quad (4.21)$$

$$\psi = i + f, \text{ т.е.}$$

$$\psi = i + f_0 \left(1 + \frac{v^2}{2000} \right)$$

«Сила сопротивления воздуха рассчитывается по формуле 4.22» [5]:

$$P_B = \frac{c_x \cdot \rho \cdot F \cdot V^2}{2} \quad (4.22)$$

«Рассчитаем тяговую силу на ведущих колесах автомобиля. Результаты расчетов сводим в таблицу 4.4» [5].

Таблица 4.4-Тяговая сила

п, об/мин	I	II	III	IV	V
800	4872	3874	3045	2436	1900
1600	5229	4157	3268	2615	2039
2400	5355	4257	3347	2677	2088
3200	5249	4173	3281	2625	2047
4000	4913	3906	3070	2456	1916
4800	4344	3454	2715	2172	1694
5600	3545	2818	2216	1773	1399

«Расчитываем силу сопротивления воздуха и силу дорожного сопротивления» [5].

Таблица 4.5-Сила сопротивления

п, об/мин	$P_{в}$	$P_{д}$	
800	20	178	198
1600	82	193	275
2400	183	223	406
3200	326	252	578
4000	509	297	806
4800	733	341	1074
5600	998	401	1399

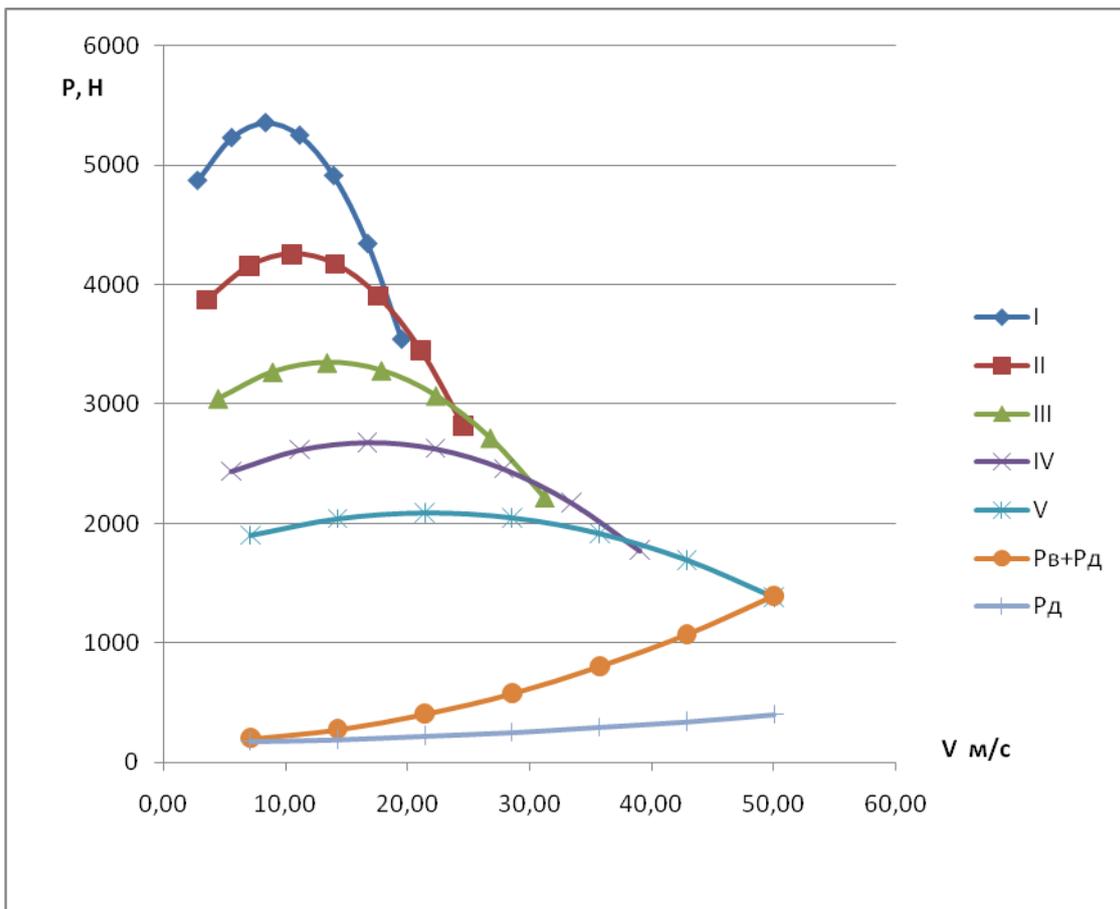


Рисунок 4.2-Тяговый баланс автомобиля

«Необходимо путем аналитического расчета посчитать сопротивление воздуха на всех передачах и составить таблицу» [5].

Таблица 4.6-Сопротивление воздуха

I	II	III	IV	V
P_B	P_B	P_B	P_B	P_B
2,79	3,50	4,46	5,57	7,14
3	5	8	12	20
5,57	7,01	8,91	11,14	14,29
12	20	32	50	82
8,36	10,51	13,37	16,71	21,43
28	44	71	111	183
11,14	14,02	17,83	22,29	28,57
50	78	127	198	326

Продолжение таблицы 4.6

13,93	77	17,52	122	22,29	198	27,86	310	35,72	509
16,71	111	21,03	176	26,74	285	33,43	446	42,86	733
19,50	152	24,53	240	31,20	388	39,00	607	50,00	998
I		II		III		IV		V	

4.6 Динамическая характеристика автомобиля

«Динамический фактор на соответствующей передаче рассчитываем по формуле 4.23» [5]:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a} \quad (4.23)$$

«где P_B – сила сопротивления воздуха;

P_m – тяговая сила на ведущих колесах автомобиля;

G_a – полный вес автомобиля.

Рассчитаем динамический фактор на каждой передаче» [5].

Таблица 4.7-Динамических фактор

п, об/мин	I	II	III	IV	V
800	0,328	0,261	0,205	0,163	0,127
1600	0,351	0,279	0,218	0,173	0,132
2400	0,359	0,284	0,221	0,173	0,128
3200	0,350	0,276	0,212	0,163	0,116
4000	0,326	0,255	0,194	0,145	0,095
4800	0,285	0,221	0,164	0,116	0,065
5600	0,229	0,174	0,123	0,079	0,026

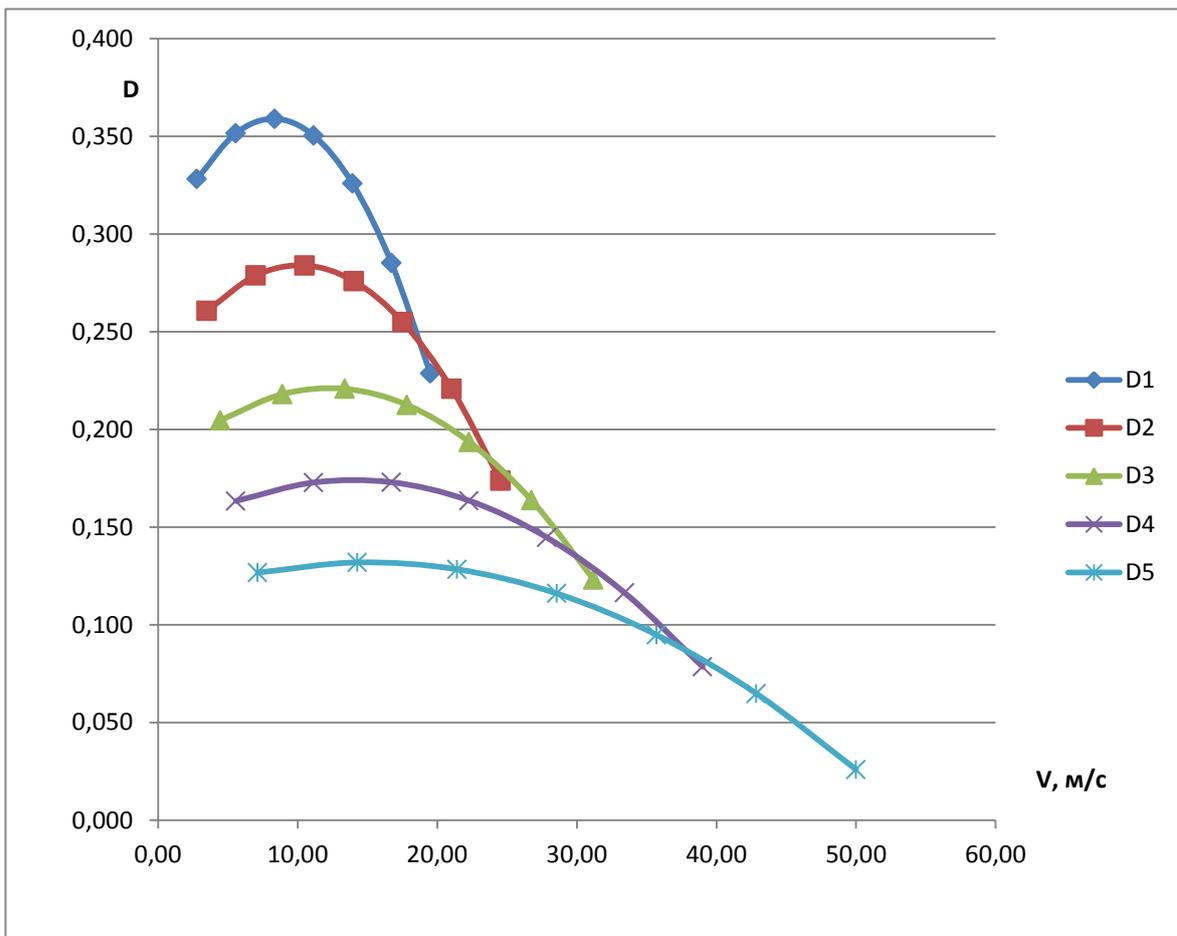


Рисунок 4.3-Динамический фактор

4.7 Разгон автомобиля

«Для того чтобы найти ускорения автомобиля по ровному нескользящему покрытию необходимо максимально использовать мощность двигателя и исключить скольжение ведущих колес» [5].

$$J = \frac{(D - f) \cdot g}{\delta_{вр}} \quad (4.24)$$

где $\delta_{вр}$ – коэффициент учета вращающихся масс.

$$\delta_{\text{вр}} = 1 + \frac{(I_{\text{м}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_{\text{тр}}^2 + I_{\text{к}}) \cdot g}{G_{\text{а}} \cdot r_{\text{к}}^2} \quad (4.25)$$

где $I_{\text{м}}$ – момент инерции вращающихся частей двигателя;

$U_{\text{тр}} = U_0 \cdot U_{\text{к}}$ – «передаточное число трансмиссии;

$I_{\text{к}}$ – суммарный момент инерции ведущих колес.

Определим коэффициент вращающихся масс по формуле 4.26:»[5]

$$\delta_{\text{вр}} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_{\text{к}}^2) \quad (4.26)$$

«где δ_1 – коэффициент учета вращающихся масс колес;

δ_2 – коэффициент учета вращающихся масс двигателя.

Примем $\delta_1 = \delta_2 = 0,04$

Рассчитаем коэффициент вращающихся масс на каждой передаче.»[5]

Таблица 4.8- Коэффициент вращающихся масс

I	II	III	IV	V
1,20	1,14	1,10	1,08	1,06

«Коэффициент сопротивления качению на каждой передаче рассчитываем по формуле 4.27» [5]:

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v^2}{2000} \right) \quad (4.27)$$

$$f_0 = 0,012$$

Таблица 4.9-Сопротивлению качению

п, об/мин	I	II	III	IV	V
800	0,012	0,012	0,012	0,012	0,012
1600	0,012	0,012	0,012	0,013	0,013
2400	0,012	0,013	0,013	0,014	0,015
3200	0,013	0,013	0,014	0,015	0,017
4000	0,013	0,014	0,015	0,017	0,020
4800	0,014	0,015	0,016	0,019	0,023
5600	0,014	0,016	0,018	0,021	0,027

«Рассчитаем ускорения автомобиля на каждой передаче, а результаты сведем в таблицу 4.10» [5].

Таблица 4.10-Ускорения автомобиля

п, об/мин	I	II	III	IV	V
800	2,58	2,14	1,71	1,37	1,05
1600	2,77	2,29	1,83	1,45	1,09
2400	2,83	2,33	1,85	1,45	1,05
3200	2,76	2,26	1,77	1,35	0,91
4000	2,56	2,07	1,59	1,16	0,69
4800	2,22	1,77	1,31	0,89	0,38
5600	1,75	1,36	0,94	0,52	0,16

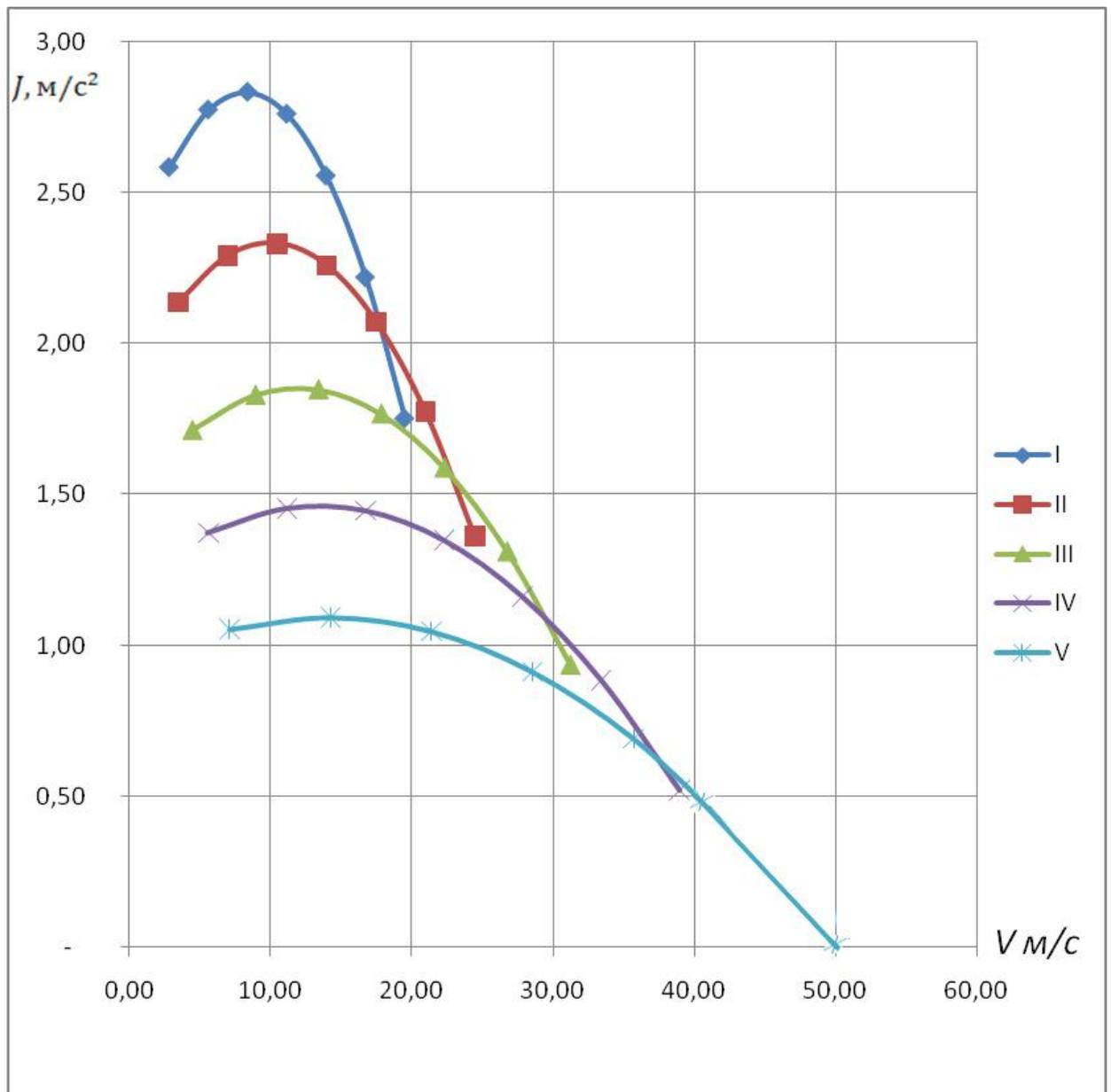


Рисунок 4.4-Ускорения автомобиля

Рассчитаем обратные ускорения:

«Поскольку при скоростях близких к максимальной ускорение стремится к нулю, то для расчёта обратных ускорений ограничиваются скоростью $V=(0,8\dots 0.9)V_{\max}$ » [5].

Таблица 4.11-Результаты расчета обратного ускорения

п, об/мин	I	II	III	IV	V
800	0,39	0,47	0,58	0,73	0,95
1600	0,36	0,44	0,55	0,69	0,91
2400	0,35	0,43	0,54	0,69	0,95
3200	0,36	0,44	0,57	0,74	1,10
4000	0,39	0,48	0,63	0,86	1,44
4800	0,45	0,56	0,76	1,13	2,60
5600	0,57	0,74	1,07	1,92	5,00

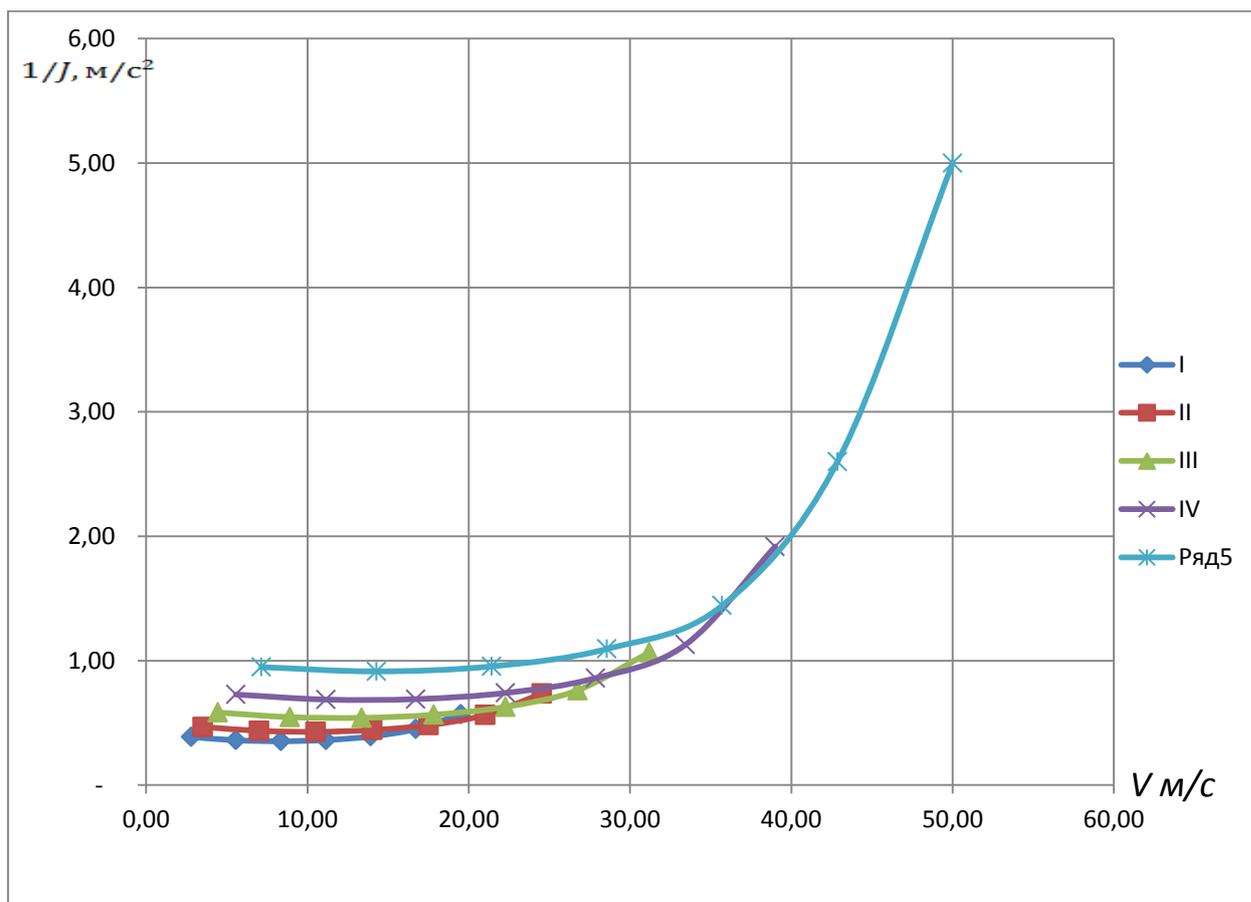


Рисунок 4.5 –Обратные ускорения автомобиля

4.8 Время и путь разгона автомобиля

«Для того чтобы определить путь, а также время разгона автомобиля необходимо применить способ, который называется графоаналитическим.

Интегрирование заменяем суммой конечных величин» [5].

$$v_{\text{мин}} = 2,79 \text{ м/с}$$

$$v_{\text{макс}} = 50 \text{ м/с}$$

$$50 - 2,79 = 47,21$$

$$47,21/8 = 5,90$$

«Определим из графика обратных ускорений величину $1/J$.

$$t = 0,35 \cdot 5,90 = 2,07 \text{ с}$$

$$t = (0,3 \cdot 5,90) + 2,07 = 3,84 \text{ с}$$

$$t = (0,45 \cdot 5,90) + 3,84 = 6,49 \text{ с}$$

$$t = (0,7 \cdot 5,90) + 6,49 = 10,62 \text{ с}$$

$$t = (1,1 \cdot 5,90) + 10,62 = 17,11 \text{ с}$$

$$t = (1,8 \cdot 5,90) + 17,11 = 27,74 \text{ с}$$

$$t = (2,95 \cdot 5,90) + 27,74 = 45,14 \text{ с}$$

$$t = (5 \cdot 5,90) + 45,14 = 74,65 \text{ с} \gg [5].$$

Таблица 4.12-Время и путь разгона

Диапазон скоростей, м/с	Время, с	
0 – 8,69	2,07	0,35
0 – 14,59	3,84	0,3
0 – 20,49	6,49	0,45
0 – 26,40	10,62	0,7
0 – 32,30	17,11	1,1
0 – 38,20	27,74	1,8
0 – 44,10	45,14	2,95
0 – 50,00	74,65	5

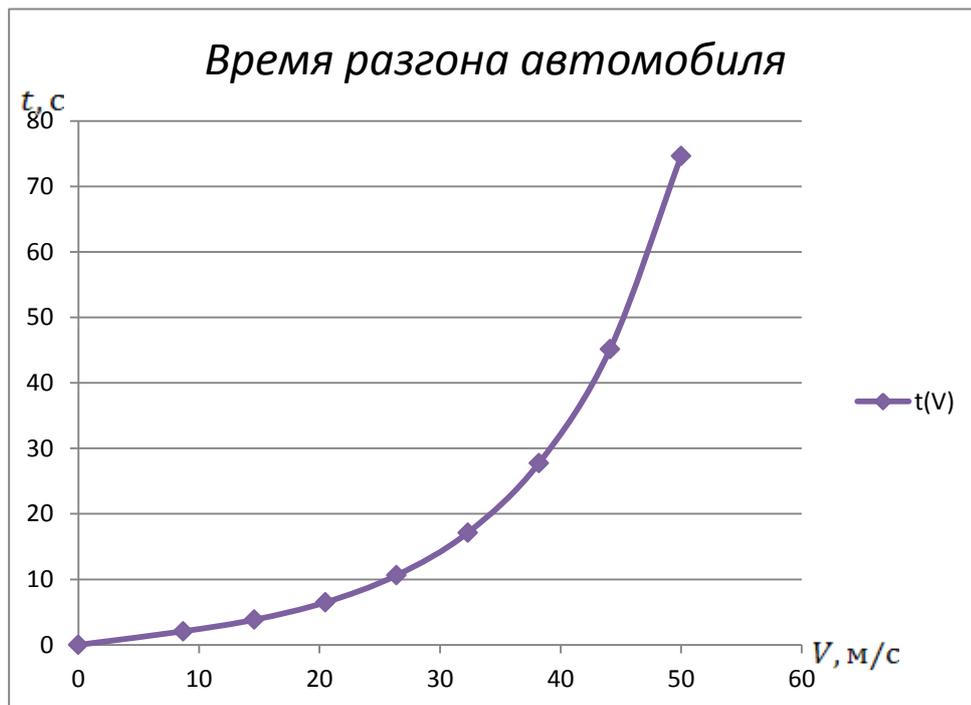


Рисунок 4.6-Время разгона автомобиля

$$v_{cp} = \frac{8,69}{2} = 4,35 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(14,59 - 8,69)}{2} + 8,69 = 11,64 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(20,49 - 14,59)}{2} + 14,59 = 17,54 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(26,40 - 20,49)}{2} + 20,49 = 23,44 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(32,30 - 26,40)}{2} + 26,40 = 29,35 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(38,20 - 32,30)}{2} + 32,30 = 35,25 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(44,10 - 38,20)}{2} + 38,20 = 41,15 \text{ м/с}$$

$$v_{cp} = \frac{(50,0 - 44,10)}{2} + 44,10 = 47,05 \text{ м/с}$$

t возьмем из таблицы.

$$S = v_{cp} \cdot \Delta t$$

$$S_1 = 4,35 \cdot 2,07 = 9 \text{ м}$$

$$S_2 = 11,64 \cdot (3,84 - 2,07) + 9 = 29,6 \text{ м}$$

$$S_3 = 17,54 \cdot (6,49 - 3,84) + 29,6 = 76,1 \text{ м}$$

$$S_4 = 23,44 \cdot (10,62 - 6,49) + 76,1 = 172,9 \text{ м}$$

$$S_5 = 29,35 \cdot (17,11 - 10,62) + 172,9 = 363,4 \text{ м}$$

$$S_6 = 35,25 \cdot (27,74 - 17,11) + 363,4 = 738,1 \text{ м}$$

$$S_7 = 41,15 \cdot (45,14 - 27,74) + 738,1 = 1454,1 \text{ м}$$

$$S_8 = 47,05 \cdot (74,65 - 45,14) + 1454,1 = 2842,5 \text{ м}$$

Таблица 4.13-Время и путь разгона

$v, \text{ м/с}$	$S, \text{ м}$	Время, с
0 – 8,69	9	2,07
0 – 14,59	29,6	3,84
0 – 20,49	76,1	6,49
0 – 26,40	172,9	10,62
0 – 32,30	363,4	17,11
0 – 38,20	738,1	27,74
0 – 44,10	1454,1	45,14
0 – 50,00	2842,5	74,65



Рисунок 4.7 – Путь разгона автомобиля

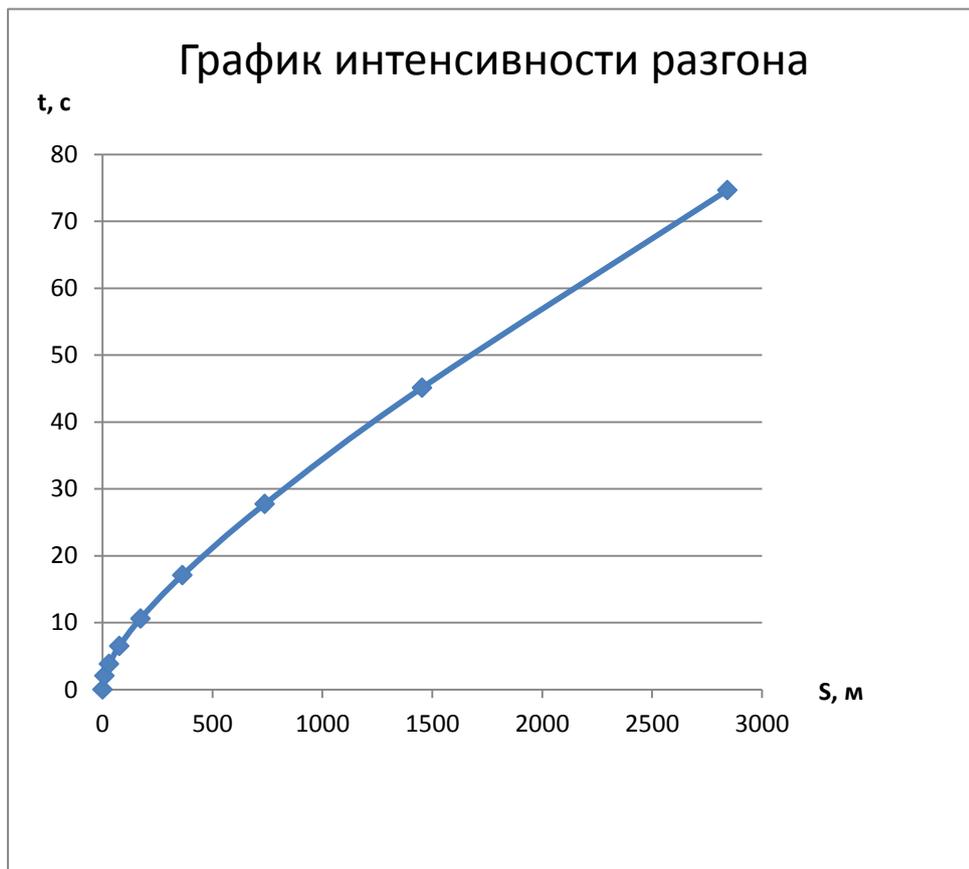


Рисунок 4.8- График интенсивности разгона

4.9 Мощностной баланс автомобиля

«Уравнение мощностного баланса рассчитываем по формуле 4.28:

$$N_T = N_e - N_{тр} = N_f + N_{п} + N_{в} + N_{и} \quad (4.28)$$

где N_T – тяговая мощность, или мощность подводимая к ведущим колесам;

$N_{тр}$ – мощность, теряемая в агрегатах трансмиссии;

$N_f = P_f \cdot V$ – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления качения колес;

$N_{\Pi} = P_{\Pi} \cdot V$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сил сопротивления подъему;

$N_{\text{В}} = P_{\text{В}} \cdot V$ – мощность, затраченная на преодоление силы сопротивления воздуху;

$N_{\text{И}} = P_{\text{И}} \cdot V$ – мощность, затраченная на преодоление силы» [5] «сопротивления инерции;

$N_{\text{Д}} = P_{\text{Д}} \cdot V = N_f + N_{\Pi}$ – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления дороги.

Составим таблицу» [5].

Таблица 4.14-Мощностной баланс

$v, \text{ м/с}$	7,14	14,29	21,43	28,57	35,72	42,86	50,00
$N_e, \text{ кВт}$	14754,72	31669,19	48646,52	63582,11	74378,62	78932,97	75145,1
$N_T, \text{ кВт}$	13574,34	29135,65	44754,80	58495,54	68428,33	72618,33	69133,49
$N_{\text{В}}, \text{ кВт}$	142,87	1171,45	3921,59	9314,48	18179,16	31415,55	49901,44
$N_{\text{Д}}, \text{ кВт}$	1272,32	2756,48	4771,05	7209,29	10602,13	14631,16	20038,08
$N_{\text{В}} + N_{\text{Д}}$	1415,18	3927,94	8692,64	16523,77	28781,29	46046,71	69939,52
$(N_{\text{В}} + N_{\text{Д}}) / N_T$	0,10	0,13	0,19	0,28	0,42	0,63	1,01

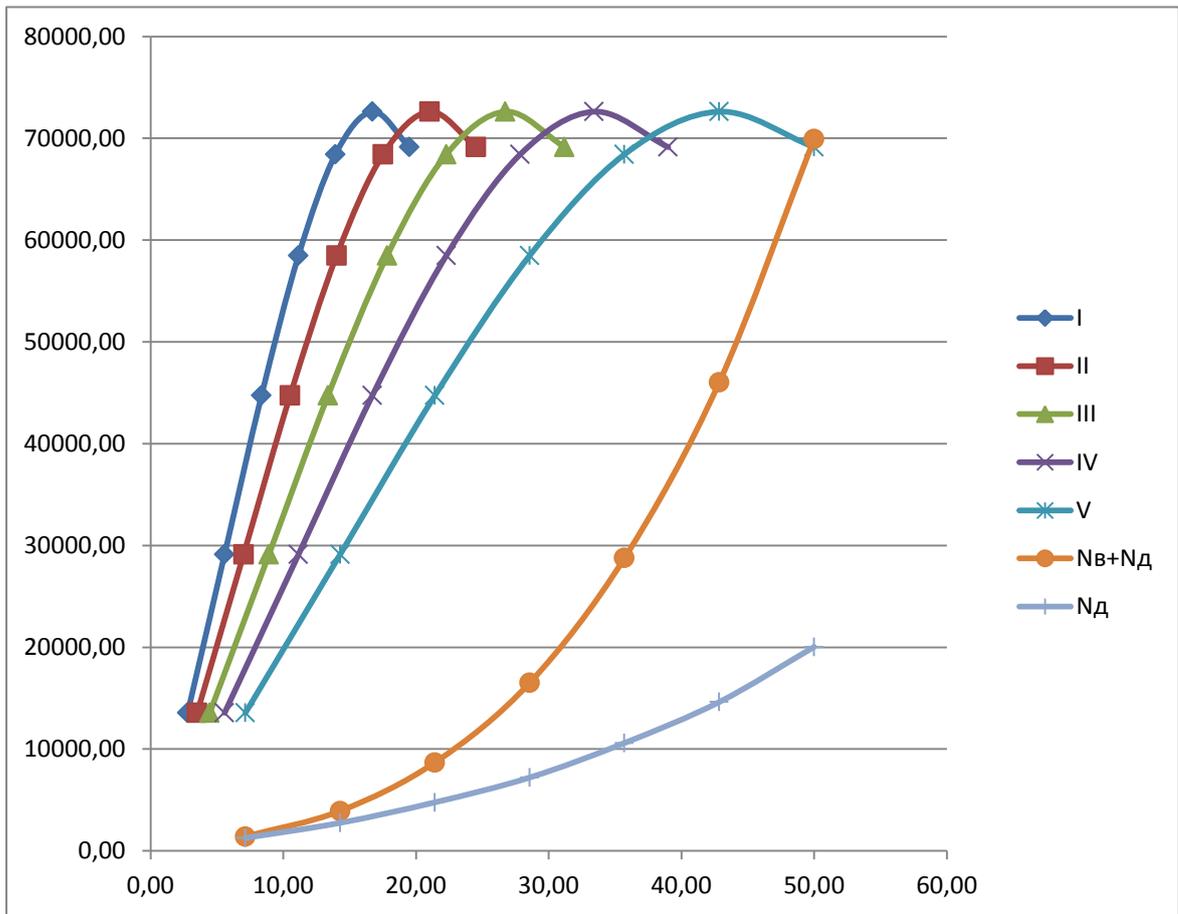


Рисунок 4.9-Мощностной баланс автомобиля

4.10 Топливо-экономическая характеристика

$$q_{\text{п}} = \frac{k_{\text{ск}} \cdot k_{\text{и}} \cdot (P_{\text{д}} + P_{\text{и}}) \cdot g_{\text{emin}} \cdot 1,1}{36000 \cdot \rho_{\text{т}} \cdot \eta_{\text{тр}}} \quad (4.29)$$

«где $k_{\text{ск}}$ – коэффициент учитывающий изменение эффективного расхода топлива в зависимости от ω ;

$k_{\text{и}}$ – коэффициент учитывающий изменение эффективного расхода топлива в зависимости от N ;

g_{emin} – минимальный эффективный расход топлива (принимаяем равным 340 г/кВт ч);

$\rho_{\text{т}}$ – плотность топлива (принимаяем равной 0,72 кг/л).

Коэффициенты $k_{ск}$ и $k_{и}$ определяем по графикам» [5]

Таблица 4.15 – Топливо-экономическая характеристика

$V, \text{ м/с}$	7,14	14,29	21,43	28,57	35,72	42,86	50,00
ω_e/ω_N	0,16	0,33	0,49	0,66	0,82	0,99	1,15
$k_{ск}$	1,12	1,03	0,99	0,97	0,96	1,01	1,11
$(N_B + N_D)/N_T$	0,10	0,13	0,19	0,28	0,42	0,63	1,01
$k_{и}$	2,50	2,45	2,00	1,55	1,25	0,95	1,00
$q_{п}$	8,70	10,88	12,60	13,64	15,17	16,17	24,35

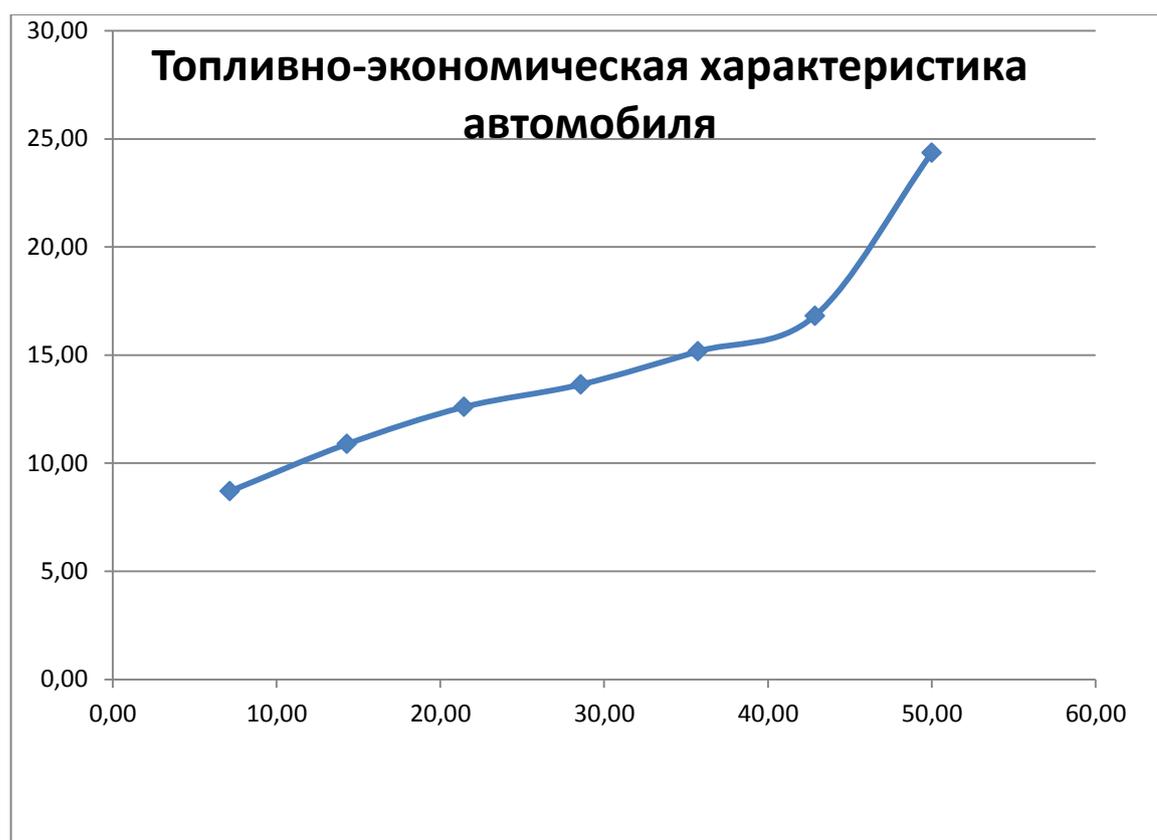


Рисунок 4.10-Топливо-экономическая характеристика автомобиля

5 Безопасность при использовании лабораторной установки

В данном проекте рассматривается определение свободных колебаний поддрессоренной массы. Для работы на лабораторной установке необходимы следующие предметы: груз для нагружения лабораторной установки, специальная бумага для регистратора.

5.1 При работе на данной лабораторной установке должны соблюдаться меры безопасности. При несоблюдении могут возникнуть травмы.

а) Лабораторная установка:

1) Перед началом работы установить лабораторную установку на ровную площадку и подготовить рабочее место.

2) Проверить исправность всех механизмов стенда и свободное перемещение движущихся частей.

3) Закрепить специальную бумагу для регистратора на барабан (она должна крепиться по всему диаметру барабану, исключая перекосы, для большей наглядности графика)

б) Подвешивание груза на лабораторную установку:

1) Подвесить груз на крюк, убедившись в том, что он находится ровно по середине крюка.

Груз должен быть хорошо зацеплен, так как при плохом зацеплении он может сорваться и нанести физическую травму.

в) проводка:

1) Проверка состояния кабеля для подключения прибора

При обнаружении повреждения кабеля работа с прибором не допускается до устранения дефектов

г) электрический двигатель для вращения барабана:

1) Проверить целостность корпуса двигателя.

2) Убедиться в легкости вращения барабана.

3) Проверить исправность электрических цепей.

Перед проведением замеров убедиться в работоспособности электрического двигателя.

5.2 Вредные и опасные производственные факторы при работе на лабораторной установке

5.2.1 При работе на лабораторной установке возможно возникновение следующих вредных и опасных производственных факторов:

- Риск травмирования
- Риск поражения электрическим током
- Физические нагрузки при подвешивании груза
- Недостаточная освещенность рабочего места

5.2.2 Для уменьшения влияния вредных и опасных производственных факторов предложены следующие мероприятия:

- Устранение острых кромок на элементах стенда
- Обеспечение надёжного крепления элементов стенда
- Регулярный контроль состояния электрических соединений
- Закрепление стенда
- Применение грузов массой до 20кг
- Увеличение освещенности рабочего места

Вывод: В рамках раздела «Безопасность при использовании лабораторной установки» мною были рассмотрены меры безопасности при

подготовке к работе лабораторной установки для измерения собственных колебаний поддресоренной массы, а так же проведен ряд мероприятий по уменьшению влияния вредных и опасных производственных факторов при работе ней.

6 Экономический раздел

«Целью данного раздела является построение и расчет параметров сетевого графика процесса проектирования данной лабораторной установки, расчет затрат на разработку и изготовление данной лабораторной установки, а также расходов по ее эксплуатации» [24].

«В состав экономического раздела входят:

- расчет и построение сетевого графика;
- расчет затрат на проведение НИР;
- расчет эксплуатационных расходов» [24];
- расчет экономического эффекта от внедрения результатов НИР.

6.1 Сетевой график проведения НИР

«В ряде организационно-экономических задач, решаемых в процессе создания устройства важное значение имеют вопросы планирования работы, предполагающие четкую постановку целей и задач и доведение их до конкретных исполнителей, взаимосвязь всей совокупности проектных работ в единый целевой комплекс, разработку путей реализации поставленных задач с наименьшими затратами.

Сетевые графики в дипломном проектировании предполагают лишь предварительное и исходное планирование. Предварительное планирование включает в себя следующие этапы:

- составление библиотеки событий;
- составление библиотеки работ;
- построение сетевого графика;
- определение трудоемкости работ;
- установление категорий и количества исполнителей по каждой работе;

- расчет продолжительности работ» [24];
- «расчет продолжительности всех путей сетевого графика и выявление критического;
- расчет временных параметров событий сетевого графика;
- расчет временных параметров работы сетевого графика» [24].

Построение сетевого графика при разработке программы начинается с составления библиотеки событий, приведенной в таблице 6.1.

Таблица 6.1 - Библиотека событий

Код события	Наименование события
00	Информация к выдаче технического задания подготовлена
01	Техническое задание получено
02	Техническое задание изучено
03	Литература подобрана и изучена
04	Аналоги изучены
05	Архитектура устройства разработана
06	Структурная схема разработана
07	Элементная база выбрана
08	Принципиальная схема разработана
09	Схема алгоритма функционирования разработана
10	Программа функционирования разработана
11	Конструкторско-технологические расчеты выполнены
12	Топология печатной платы разработана
13	Сборочный чертеж платы выполнен
14	Схема сборки разработана
15	Надежность узлов ПП исследована
16	Методика настройки узлов разработана
17	Настройка узлов завершена
18	Монтажные схемы устройства разработаны
19	Конструкторская документация на детали и узлы разработана
20	Корректировка конструкторской документации закончена
21	Оформление конструкторской документации закончено
22	Сдача устройства завершена

На основании библиотеки событий составляем библиотеку работ (таблица

Таблица 6.2).

Таблица 6.2 - Библиотека работ

Шифр работ	Наименование работ	Кол-во исполн.	Трудоем. в часах
00-01	Получение технического задания	2	10
01-02	Изучение технического задания	1	24
02-03	Подбор и изучение литературы	1	72
02-04	Изучения аналогов	1	24
04-05	Разработка архитектуры устройства	24	
03-05	Фиктивная работа	0	0
05-06	Разработка структурной схемы	1	24
06-07	Выбор элементной базы	1	10
07-08	Разработка принципиальной схемы	1	72
06-09	Разработка схемы алгоритма	1	15
09-10	Разработка программы функционирования	1	24
08-11	Выполнение конструкторско-технологических расчетов	1	48
11-12	Разработка топологии ПП	1	24
10-11	Фиктивная работа	0	0
12-13	Выполнения сборочного чертежа	1	40
11-14	Разработка схемы сборки	1	24
13-14	Фиктивная работа	0	0
14-15	Исследование надежности узлов ПП	1	15
15-16	Разработка методика настройки узлов устройства	1	72
16-17	Настройка узлов устройства	1	10
15-18	Разработка монтажных схем устройства	1	10
15-19	Разработка конструкторской документации на детали и узлы	1	10
15-21	Корректировка конструкторско-технологических расчетов	2	10
17-20	Корректировка методики настройки узлов	2	10
18-20	Корректировка монтажных схем устройства	2	10
19-20	Корректировка конструкторской документации на детали и узлы	2	10
20-21	Оформление конструкторской документации	1	48
21-22	Сдача устройства заказчику	1	3
Итого суммарная трудоемкость			641

На основании библиотеки событий и библиотеки работ (таблицы 6.1 и Таблица 6.2) строится первичная модель сетевого графика (рисунок 6.1).

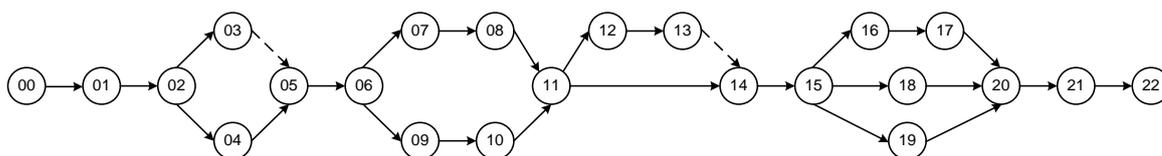


Рисунок 6.1 – Первичная модель сетевого графика

«Также на основании библиотеки событий и библиотеки работ (таблицы 6.1 и

Таблица 6.2) с помощью ЭВМ могут быть определены средняя продолжительность каждой работы, критический путь, параметры сетевого графика, временные параметры работ. Результаты расчетов, выполненных программой, приведены в таблицах 6.3 –

Таблица 6.6» [5].

Определяем продолжительность каждой работы, исходя из ее трудоемкости и количества исполнителей.

Таблица 6.3 - Расчет продолжительности работ

Шифр работ	Трудоемк. работ в час, t_{ij}	Кол – во исполн.	t_{ij}^{\max} , В ДНЯХ	t_{ij}^{\min} , В ДНЯХ	$t_{ij}^{o.жс}$, В ДНЯХ
00-01	10	2	0,63	0,50	0,55
01-02	24	1	3,00	2,40	2,64
02-03	72	1	9,00	7,20	7,92
02-04	24	1	3,00	2,40	2,64
04-05	24	1	3,00	2,40	2,64
03-05	0	0	0	0	0
05-06	24	1	3,00	2,40	2,64
06-07	10	1	1,25	1,00	1,10
07-08	72	1	9,00	7,20	7,92
06-09	15	1	1,88	1,50	1,65
09-10	24	1	3,00	2,40	2,64
08-11	48	1	6,00	4,80	5,28
11-12	24	1	3,00	2,40	2,64
10-11	0	0	0	0	0

12-13	40	1	5,00	4,00	4,40
11-14	24	1	3,00	2,40	2,64
13-14	0	0	0	0	0
14-15	15	1	1,88	1,50	1,65
15-16	72	1	9,00	7,20	7,92
16-17	10	1	1,25	1,00	1,10
15-18	10	1	1,25	1,00	1,10

Продолжение таблицы 6.3

15-19	10	1	1,25	1,00	1,10
15-21	10	2	0,63	0,50	0,55
17-20	10	2	0,63	0,50	0,55
18-20	10	2	0,63	0,50	0,55
19-20	10	2	0,63	0,50	0,55
20-21	48	1	6,00	4,80	5,28
21-22	3	1	0,38	0,30	0,33

Таблица 6.4 - Расчет продолжительности путей сетевого графика

№ пути	Продолж. работ, в днях	№ пути	Продолж. работ, в днях
1	51,9	17	44,0
2	49,3	18	41,4
3	41,9	19	34,0
4	39,3	20	31,4
5	47,5	21	39,6
6	44,9	22	37,0
7	37,5	23	29,6
8	34,9	24	27,0
9	44,0	25	37,6
10	41,4	26	35,0
11	34,0	27	27,6
12	31,4	28	25,0
13	39,6	29	33,2
14	37,0	30	30,6
15	29,6	31	23,2
16	27,0	32	20,6

Из таблицы 6.4 самый продолжительный путь – путь №1, который и является критическим.

Состав работ критического пути

00-01-02-03-05-06-07-08-11-12-13-14-15-16-17-20-21-22

«Исходя из полученных результатов, может быть составлена окончательная модель сетевого графика с учетом критического пути (рисунок 6.2)» [24].

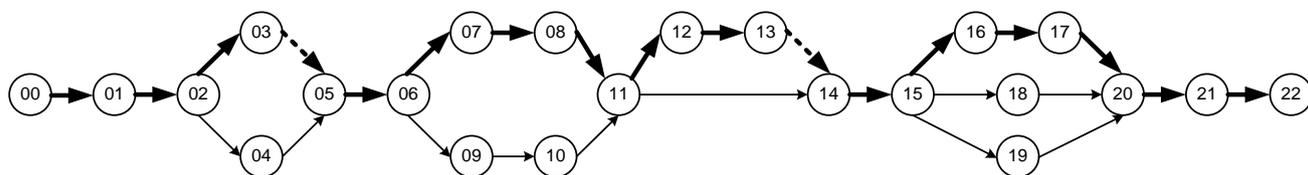


Рисунок 6.2 – Модель сетевого графика с учетом критического пути

Таблица 6.5 - Расчет временных параметров событий

Код событий	Ранний срок свершения событий, в днях, t_i^p	Поздний срок свершения событий, в днях, t_j^h	Резерв времени событий, в днях, R_i
00	0,0	0,0	0,0
01	0,6	0,6	0,0
02	3,2	3,2	0,0
03	11,1	11,1	0,0
04	5,8	8,5	2,6
05	11,1	11,1	0,0
06	13,8	13,8	0,0
07	14,8	14,8	0,0
08	22,8	22,8	0,0
09	15,4	25,4	10,0
10	18,0	28,0	10,0
11	28,1	28,1	0,0
12	30,7	30,7	0,0
13	35,1	35,1	0,0
14	35,1	35,1	0,0
15	36,7	36,7	0,0
16	44,7	44,7	0,0
17	45,8	45,8	0,0
18	37,8	45,8	8,0
19	37,8	45,8	8,0

Код событий	Ранний срок свершения событий, в днях, t_i^p	Поздний срок свершения событий, в днях, t_j^n	Резерв времени событий, в днях, R_i
20	46,3	46,3	0,0
21	51,6	51,6	0,0
22	51,9	51,9	0,0

Таблица 6.6 - Расчет временных параметров работ

Шифр работ	Ранний срок начала работ, в днях, t_{ij}^{pn}	Ранний срок окончан. работ, в днях, t_{ij}^{po}	Поздний срок начала работ, в днях, t_{ij}^{nn}	Поздний срок окончан. работ, в днях, t_{ij}^{nn}	Полный резерв времени работ, в днях, R_{ij}^n	Коэффициент напряж. работ, K_{ij}^n
00-01	0,00	0,55	0,00	0,55	0,00	1,00
01-02	0,55	3,19	0,55	3,19	0,00	1,00
02-03	3,19	11,11	3,19	11,11	0,00	1,00
02-04	3,19	5,83	5,83	8,47	2,63	0,67
04-05	5,83	8,47	8,47	11,11	2,63	0,67
03-05	11,11	11,11	11,11	11,11	0,00	1,00
05-06	11,11	13,75	11,11	13,75	0,00	1,00
06-07	13,75	14,85	13,75	14,85	0,00	1,00
07-08	14,85	22,77	14,85	22,77	0,00	1,00
06-09	13,75	15,40	23,76	25,41	10,0	0,30
09-10	15,40	18,04	25,41	28,05	10,0	0,30
08-11	22,77	28,05	22,77	28,05	0,00	1,00
11-12	28,05	30,69	28,05	30,69	0,00	1,00
10-11	18,04	18,04	28,05	28,05	10,0	0,30
12-13	30,69	35,09	30,69	35,09	0,00	1,00
11-14	28,05	30,69	32,45	35,09	4,40	0,38
13-14	35,09	35,09	35,09	35,09	0,00	1,00
14-15	35,09	36,74	35,09	36,74	0,00	1,00
15-16	36,74	44,66	36,74	44,66	0,00	1,00
16-17	44,66	45,76	44,66	45,76	0,00	1,00
15-18	36,74	37,84	44,66	45,76	7,92	0,17
15-19	36,74	37,84	44,66	45,76	7,92	0,17
15-21	36,74	37,29	51,04	51,59	14,30	0,04
17-20	45,76	46,31	45,76	46,31	0,00	1,00
18-20	37,84	38,39	45,76	46,31	7,91	0,17
19-20	37,84	38,39	45,76	46,31	7,91	0,17
20-21	46,31	51,59	46,31	51,59	0,00	1,00

Шифр работ	Ранний срок начала работ, в днях, t_{ij}^{pn}	Ранний срок окончан. работ, в днях, t_{ij}^{po}	Поздний срок начала работ, в днях, t_{ij}^{nn}	Поздний срок окончан. работ, в днях, t_{ij}^{nn}	Полный резерв времени работ, в днях, R_{ij}^n	Коэффициент напряж. работ, K_{ij}^n
21-22	51,59	51,92	51,59	51,92	0,00	1,00

6.2 Расчет затрат на проведение НИР

«Затраты на проведение НИР представляют собой стоимостную оценку использованных в процессе разработки сырья, материалов, расходов на приобретение специального оборудования, оплату труда занятых разработкой схем и выбора элементной базы.

Затраты на разработку устройства могут быть рассчитаны по следующей формуле:

$$Z_{РЭУ} = M + П_{ок} + P_{об} + Z_o + Z_d + O_{сн} + P_{пр} + P_n, \text{ (руб.)} \quad (6.1)$$

где М - стоимость сырья и материалов, руб.;

П_{ок} - стоимость комплектующих и полуфабрикатов, руб.;

P_{об} - расходы на приобретение специального оборудования, руб.;

Z_о и Z_д - основная и дополнительная заработная плата разработчиков МДСК, руб.;

O_{сн} - отчисления на социальные нужды, руб.;

P_{пр} - прочие прямые расходы, руб.;

P_н - накладные расходы, руб.» [24].

6.2.1 Расчет стоимости сырья, материалов

«В расходы по этой статье включается стоимость используемых в процессе проведения НИР сырья и материалов, необходимых для исследований, экспериментов, опытов, испытаний и т.д.

Стоимость сырья и материалов рассчитывается по следующей формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n Q_i \cdot C_i \cdot K_{Ti}, (\text{руб.}), \quad (6.2)$$

где i - наименование соответствующего вида сырья материалов;

n - количество видов используемых материалов;

Q_i - расход на разработку материалов i -го наименования в соответствующих единицах измерения;

C_i - цена приобретения единицы материала i -го наименования, (руб.);

K_{Ti} - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы при приобретении материалов i -го наименования (оплата услуг транспорта, комиссионных посредникам и др.).

Расчет стоимости используемых материалов представлен в таблице 6.7» [24].

Таблица 6.7 - Расчёт стоимости сырья, материалов

Наименов. Материала	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Расходы на разраб.	Коэффициц. K_{Ti}	Сумма, руб.
Барабан пла- стиковый	шт.	0,30	500	1,1	165,00
Гиря	шт.	20,00	10	1,1	220,00
Вал пластико-	шт.	7,00	3	1,1	23,10

Наименов. Материала	Единица измерения	Цена за единицу, руб.	Расходы на разраб.	Коэффициц. КТ _i	Сумма, руб.
вый					
Пишущее устройство	шт.	8,5	2	1,1	18,70
Карандаш	шт.	7,00	1	1,1	7,70
Пружина	шт.	9,00	1	1,1	9,90
Итого:					444,40

Стоимость сырья и материалов для разработки устройства составила М = 444,40 (руб.)

6.2.2 Расчет основной заработной платы разработчиков

«В состав основной заработной платы включаются выплаты за фактически выполненную работу в соответствии с окладами, тарифными ставками и расценками всему персоналу, принимающему участие в разработке данного механизма: научных работников, инженерно-технических работников, лаборантов и служащих исследовательских и проектных подразделений и др.

В общем виде основная заработная плата разработчиков узла (Z_0 , руб.) может быть рассчитана по формуле:

$$Z_0 = \sum_{i=1}^n T_i \cdot l_i^ч \text{ (руб.)}, \quad (6.3)$$

где i - наименование категории разработчиков;

n - количество категорий разработчиков;

T_i - трудоемкость проектных работ, выполненных разработчиком i -ой категории;

$l_i^ч$ - часовая тарифная ставка разработчика i -ой категории.

В разработке узла ввода в условиях дипломного проектирования принимают участие разработчики двух категорий:

- консультант (руководитель дипломного проекта);
- инженер-конструктор (дипломник).

Часовая тарифная ставка определяется по формуле:

$$l_i^ч = \frac{ЗП_{мес.i}}{F_{мес}} \text{ (руб./час)}, \quad (6.4)$$

где $ЗП_{мес.i}$ - месячный оклад разработчика i -ой категории, руб.;

$F_{мес}$ - месячный фонд времени работы разработчика в часах.

Для данных расчетов примем $F_{мес} = 168$ час.

Месячный оклад консультанта 35000 руб.

Стипендия разработчика 2500 руб.

Тарифная часовая ставка консультанта составляет (6.4)» [24]:

$$l_{конс.}^ч = \frac{35000}{168} = 208,33 \left(\frac{\text{руб.}}{\text{ч}} \right)$$

Часовая тарифная ставка инженера-программиста составляет (6.4):

$$l_{разраб}^ч = \frac{2500}{168} = 14,88 \left(\frac{\text{руб.}}{\text{ч}} \right)$$

«Расчет основной заработной платы осуществляется на основе исходных данных трудоемкости проектных работ из сетевого графика и тарифных ставок исполнителей. Расчет основной заработной платы приведен в таблице 6.8» [24].

Таблица 6.8 - Расчёт основной заработной платы разработчиков

№ п/п	Шифр работ	Инженер-программист			Консультант			Всего по работе, руб.
		T, ч	L, руб./ч	Сумма, руб.	T, ч	L, руб./ч	Сумма, руб.	
1	00-01	5	14,88	74,40	5	208,33	1 041,65	1 116,05
2	01-02	24	14,88	357,12		208,33		357,12
3	02-03	72	14,88	1 071,36		208,33		1 071,36
4	02-04	24	14,88	357,12		208,33		357,12
5	04-05	24	14,88	357,12		208,33		357,12
6	03-05	0	14,88	0,00		208,33		0,00
7	05-06	24	14,88	357,12		208,33		357,12
8	06-07	10	14,88	148,80		208,33		148,80
9	07-08	72	14,88	1 071,36		208,33		1 071,36
10	06-09	15	14,88	223,20		208,33		223,20
11	09-10	24	14,88	357,12		208,33		357,12
12	08-11	48	14,88	714,24		208,33		714,24
13	11-12	24	14,88	357,12		208,33		357,12
14	10-11	0	14,88			208,33		0,00
15	12-13	40	14,88	595,20		208,33		595,20
16	11-14	24	14,88	357,12		208,33		357,12
17	13-14	0	14,88			208,33		0,00
18	14-15	15	14,88	223,20		208,33		223,20
19	15-16	72	14,88	1 071,36		208,33		1 071,36
20	16-17	10	14,88	148,80		208,33		148,80
21	15-18	10	14,88	148,80		208,33		148,80
22	15-19	10	14,88	148,80		208,33		148,80

Продолжение таблицы 6.8

23	15-21	4	14,88	59,52	6	208,33	1 249,98	1 309,50
24	17-20	4	14,88	59,52	6	208,33	1 249,98	1 309,50
25	18-20	4	14,88	59,52	6	208,33	1 249,98	1 309,50
26	19-20	4	14,88	59,52	6	208,33	1 249,98	1 309,50
27	20-21	48	14,88	714,24		208,33		714,24
28	21-22	3	14,88	44,64		208,33		44,64
ИТОГО:				9 136,32			6 041,57	15 177,89

6.2.3 Расчет дополнительной заработной платы разработчиков

«В состав дополнительной заработной платы включаются все виды выплат, надбавок и доплат из фонда заработной платы за проработанное время.

Дополнительная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Зд = Зо \frac{K_d \%}{100 \%} \text{ (руб.)}, \quad (6.1)$$

где $Зо$ - основная заработная плата, разработчиков (руб.);

K_d - коэффициент дополнительной заработной платы (%).

Следовательно, из (6.1) величина дополнительной заработной платы равна:

$$Зд = Зо \cdot \frac{K_d \%}{100 \%} = 15177.89 \cdot \frac{20 \%}{100 \%} = 3035.58 \text{ (руб.)} \gg [24].$$

6.2.4 Расчет отчислений на социальные нужды

«Отчисления на социальные нужды рассчитываются по формуле:

$$Осн = (Зо + Зд) \frac{K_{сн} \%}{100 \%} \text{ (руб.)}, \quad (6.2)$$

где $K_{сн}$ - коэффициент отчислений на социальные нужды (%).

$K_{сн}$ в настоящее время составляет 30,2% и включает в себя:

- отчисления в пенсионный фонд – 22%;

- отчисления на социальное страхование – 2,9%;
- отчисления в фонд обязательного медицинского страхования – 5,1%;
- отчисления в ФСС - 0,2%» [24].

Следовательно, из (6.2) величина отчислений на социальные нужды равна:

$$O_{cn} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{K_{cn} \%}{100 \%} = (15177.89 + 3035.58) \cdot \frac{30.2\%}{100 \%} = 5500.47 \text{ (руб.)}$$

6.2.5 Расчет прочих прямых расходов

«В состав расходов по этой статье включаются затраты, непосредственно связанные с разработкой данного объекта техники (аренда или прокат оборудования, вычислительной техники, транспорта, приобретение специальной научно-технической литературы и т. Д.) по их фактической стоимости. Статьи расхода и расчет общей суммы прямых расходов приведены в таблице 6.9» [24].

Таблица 6.9 – Прочие прямые расходы

Наименование статьи расхода	Стоимость за единицу потребления	Потребленное количество, ч	Сумма, руб.
Аренда оборудования	30 руб. / час	200	6000
Итого			6000

6.2.6 Расчет накладных расходов

«В состав накладных расходов включаются затраты, которые не вошли в состав предыдущих расходов и могут быть рассчитаны прямым путем.

К ним относятся амортизация, ремонт, содержание зданий и других основных производственных фондов общего назначения.

Они рассчитываются по формуле:

$$P_n = Z_0 \frac{K_n \%}{100 \%} \text{ (руб.)}, \quad (6.3)$$

где K_n – коэффициент накладных расходов (%).

Для расчета накладных расходов в данном дипломном проекте K_n берется равным 65%.» [24],

Следовательно, из (6.3):

$$P_n = Z_0 \cdot \frac{K_n \%}{100 \%} = 15177.89 \cdot \frac{65 \%}{100 \%} = 9865.63 \text{ (руб.)}$$

6.2.7 Расчет затрат на проведение НИР

Все расчеты затрат сведены в таблицу 6.10, в которой определяется общая сумма затрат на разработку.

Таблица 6.10 - Общие затраты на проведение НИР

№ п/п	Наименование статьи расходов	Сумма, руб.	Удельный вес, %
1	Материалы	444,40	1,11
3	Основная заработная плата разработчиков	15 177,89	37,92
4	Дополнительная заработная плата разработчиков	3 035,58	7,58
5	Отчисления на социальные нужды (единый социальный налог)	5 500,47	13,74
Продолжение таблицы 6.10			
6	Прочие прямые расходы	6 000,00	14,99
7	Накладные расходы	9 865,63	24,65
	ИТОГО:	40 023,97	100,00

«Следовательно, затраты на проведение НИР составят 40 023,97 руб.

Рассчитаем показатели экономической эффективности от результатов проведения НИР» [24].

6.3 Расчет капитальных вложений

«Единовременные затраты включают предпроизводственные затраты K_T и капитальные вложения в производственные фонды завода-изготовителя $K_{пф}$:

$$K = K_m + K_{пф} \text{ (руб.)}. \quad (6.4)$$

Предпроизводственные затраты определяются по формуле

$$K_{пф} = Z_{НИОКР} + K_{осв} \text{ (руб.)}, \quad (6.5)$$

где $Z_{НИОКР}$ — сметная стоимость научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ;

$K_{осв}$ — затраты на освоение производства и доработку опытных образцов.

Капитальные вложения в производственные фонды рассчитываются по формуле 6.10» [24]

$$K_{п.ф.} = K_{о.ф.} + K_{о.с.} + K_{проч} \text{ (руб.)}, \quad (6.6)$$

«где $K_{о.ф.}$ — стоимость всех видов основных производственных фондов, непосредственно связанных с изготовлением проектируемого изделия. При этом если изготовление новых изделий возможно на имеющемся оборудовании, должна быть учтена среднегодовая остаточная стоимость основных производственных фондов изготовителя; $K_{о.с.}$ - пополнение оборотных средств. В состав оборотных средств включаются запасы сырья, материалов, топлива и полуфабрикатов, а также

незавершенное производство; $K_{\text{проч}}$ — прочие капитальные вложения, связанные с предотвращением отрицательных социальных, экологических и других последствий, созданием социальной инфраструктуры» [24].

«Капиталовложение в освоение производства возьмем в размере 100% от себестоимости проведения НИР:

$$K_{\text{осв}} = 40023.97 \cdot \frac{100\%}{100\%} = 40023.97 \text{ (руб.)}. \quad (6.11)$$

Предпроизводственные затраты рассчитываются согласно (6.5):

$$K_m = 40023.97 + 40023.97 = 80047.94 \text{ (руб.)}. \quad (6.12)$$

Капиталовложения в основные фонды с учетом того, что производство идет на имеющемся оборудовании, приблизительно оценены в 10000 руб. ($K_{\text{о.ф.}} = 10000$ руб.).

Оборотные средства возьмем в размере 150% от себестоимости проведения НИР:

$$K_{\text{о.с.}} = 1.5 \cdot 40023.97 = 60035,96 \text{ (руб.)}. \quad (6.13)$$

Прочие капиталовложения принимаем 20% от $K_{\text{о.ф.}} + K_{\text{о.с.}}$:

$$K_{\text{проч}} = 0,20 \cdot (10000 + 60035,96) = 14007,19 \text{ (руб.)}. \quad (6.14)$$

Капиталовложения в производственные фонды определяются по (6.6)

$$K_{\text{нф}} = 10000 + 60035,96 + 14007,19 = 84043,15 \text{ (руб.)}.$$

Полные капиталовложения — по (6.4)

$$K = 80047.94 + 84043.15 = 164091,09 \text{ (руб.)} \gg [24].$$

6.4 Расчет общих экономических показателей

«Чистые денежные поступления получают как разность валовой прибыли Π_v и налога на прибыль НП, с учетом амортизационных отчислений A , которые являются частью прибыли, не облагаемой налогом» [24]:

$$\Pi = (\Pi_v - A) \cdot \left(1 - \frac{НП}{100}\right) + A \text{ (руб.)}. \quad (6.7)$$

Амортизационные отчисления можно упрощенно вычислить по формуле:

$$A = \sum_{f=1}^{\Phi} K_f \cdot \frac{a_f}{100} \text{ (руб.)}, \quad (6.8)$$

«где $f = 1.. \Phi$ — перечень основных производственных фондов;
 K_f — стоимость f -го производственного фонда;
 a_f — норма амортизационных отчислений по f -му основному фонду» [24].

Налог на прибыль в настоящее время установлен в размере 20%.

«Годовые амортизационные отчисления вычислим исходя из того, что стоимость основных производственных фондов $K_{o.ф.} = 10000$ руб. и норма амортизационных отчислений для всех видов производственных фондов равна 10%» [24].

$$A = 10000 \cdot \frac{10}{100} = 1000 \text{ (руб.)}.$$

«Чистые годовые денежные поступления от реализации разработки вычисляются по (6.7)

$$P_{z1,z2} = (40023.97 \cdot 3 - 1000) \cdot \left(1 - \frac{20}{100}\right) + 1000 = 96257,53 \text{ (руб.)}$$

Аналитическое выражение для определения чистого дисконтированного дохода имеет следующий вид:

$$ЧДД = -K + \frac{P_{z1}}{(1+E)} + \frac{P_{z2}}{(1+E)^2} + \dots + \frac{P_{zn}}{(1+E)^n} \text{ (руб.)}, \quad (6.17)$$

где K - инвестиции, необходимые для реализации проекта;

P_{z1} P_{z2} , ..., P_{zn} - чистые денежные поступления, получаемые по отдельным годам от реализации проекта» [24];

« E — норматив приведения затрат к единому моменту времени (норма дисконта).

Чистый дисконтированный доход по (6.17) при норме дисконта $E = 0,2$ составит

$$ЧДД = \sum_{m=1}^2 \frac{P_m}{(1+0,2)^m} - K = \frac{96257,53}{1+0,2} + \frac{96257,53}{(1+0,2)^2} + \frac{96257,53}{(1+0,2)^3} - 164091,09 = 38673,61$$

(руб.)» [24].

«Поскольку чистый дисконтированный доход больше 0, можно говорить об эффективности проекта» [24].

«Рассчитаем также срок окупаемости капиталовложений с учетом дисконтирования. Величины дисконтированных годовых эффектов по годам расчетного периода равны» [24]:

$$\mathcal{E}_1 = \frac{96257,53}{1+0,2} = 80214.61 \text{ (руб.)};$$

$$\mathcal{E}_2 = \frac{96257,53}{(1+0,2)^2} = 66845.51 \text{ (руб.)}.$$

$$\mathcal{E}_3 = \frac{96257,53}{(1+0,2)^3} = 55704.59 \text{ (руб.)}.$$

За 3 года: $\sum \mathcal{E} = 202764.70$ (руб.), что больше величины полных капиталовложений.

Тогда срок окупаемости найдется как:

$$T_{ок.р.} = 2 + \frac{164091.09 - 147060.12}{55704.59} = 2.31 \text{ (года)}.$$

Сравним рассчитанный срок окупаемости с нормативным, который при норме дисконта 0,2 составит:

$$T_{ок.норм.} = \frac{1}{0,2} = 5 \text{ (лет)}.$$

Из полученных расчетов видно, что расчетный срок окупаемости не превышает нормативного. Из этого следует, что проведение НИР можно считать целесообразным.

Заключение

В настоящем дипломном проекте была спроектирована и создана лабораторная установка по определению собственных колебаний подрессоренной массы. Проведены аналитическое и экспериментальное исследования выше указанных колебаний, которые показали хорошую

сходимость по частоте колебаний, а так же наглядно представлены этапы проведения данного экспериментального исследования.

В разделе «Безопасность при использовании стенда» были рассмотрены меры безопасности при работе на лабораторной установке для измерения собственных колебаний поддрессоренной массы, выявлены вредные и опасные факторы, а также предложены мероприятия для уменьшения их влияния на человека.

В разделе «Экономический раздел» происходит построение и расчет параметров сетевого графика процесса проектирования данной лабораторной установки, расчет затрат на разработку и изготовление данной лабораторной установки, а также были определены расходы по эксплуатации представленной лабораторной установки. Эти расчеты доказали, что разработка данной установки целесообразна, так как расчетный срок окупаемости не превышает нормативного.

По результатам проделанной работы написаны тезисы для опубликования в сборники «Дни студенческой науки ТГУ» под названием «Разработка лабораторной установки по определению собственных колебаний поддрессоренной массы». Авторы: Н.С. Кучеров, Д.С. Дроздов, научный руководитель Л.А. Черепанов.

Данная установка будет использоваться в учебных целях при изучении дисциплины «Теория автомобиля» на кафедре «Проектирование и эксплуатация автомобилей» института машиностроения Тольяттинского Государственного Университета.

Список используемой литературы

1. Цимбалин В.Б. Испытание автомобилей / В.Б. Цимбалин – М.: Машиностроение, 1978. – 199 с.
2. Гришкевич А.И. Испытание автомобилей / А.И. Гришкевич – М.: Машиностроение, 1991. – 161 с.

3. Балабин И.В. Испытание автомобилей / И.В. Балабин, Б.А. Куров – М.: Машиностроение, 1988. – 192 с.
4. Финченко Н.И. Испытание автомобилей и тракторов / Н.И. Финченко – М.: Машиностроение, 2017. – 173 с.
5. Кравец В.Н. Теория автомобиля / В.Н. Кравец – М.: Машиностроение, 2007. – 273 с.
6. Иларионов В.А. Теория и конструкция автомобиля / В.А. Иларионов – М.: Машиностроение, 1992. – 416 с.
7. Цимбалин В.Б. Атлас конструкций. Шасси автомобиля / В.Б. Цимбалин – М.: Машиностроение, 1977. – 411 с.
8. Балабин И.В. Испытания автомобилей / И.В. Балабин – М.: Машиностроение, 1988. – 203 с.
9. Раймпель Й. Шасси автомобиля. Конструкция подвесок / Й. Райпель – М.: Машиностроение, 1989. – 215 с.
10. Журавлев В.Н. Машиностроительные стали / В.Н. Журавлев – М.: Машиностроение, 1968. – 170 с.
11. Оsepчугов В.В. Автомобили: Анализ конструкций элементов расчета / И.В. Балабин – М.: Машиностроение, 1989. – 165 с.
12. Вахламов В.К. Автомобили. Основы конструкции / В.К. Вахламов – М.: Машиностроение, 2004. – 186 с.
13. Куклин Н. Г. Детали машин / Н.Г. Куклин – М.: Машиностроение, 1999. – 391 с.
14. Черепанов Л.А. Определение передачи вибрации на кузов автомобиля / Л.А. Черепанов – М.: Машиностроение, 1979. – 89 с.
15. Черепанов Л.А. Улучшение виброакустических свойств кузова легкового автомобиля / Л.А. Черепанов – М.: Машиностроение, 2009. – 311 с.
16. Wittel H., Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung - Lehrbuch und Tabellenbuch / H. Wittel, D. Muhs, D. Jannasch. - Vieweg+Teubner Verlag, 2011. - p. 810

17. Mikell P., Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems / P. Mikell. - John Wiley & Sons, 2010. - p. 1024. 47
18. Niemann G., Maschinenelemente: Band 1: Konstruktion und Berechnung von Verbindungen, Lagern, Wellen / G. Niemann, H. Winter. - 2005.Springer, - p. 903.
19. Werner E. Schmierungstechnik / E. Werner. - 1976. – p. 134.
20. König R. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering [Электронный ресурс]. - Electronic text data. - [Б. м.] : John Wiley & Sons, Inc., 1998 - (Ulrich). URL: <http://eu.wiley.com> (publisher's website). : [http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/\(ISSN\)1099-047X](http://onlinelibrary.wiley.com/journal/10.1002/(ISSN)1099-047X) (journal link (full text - НТО-3)). - ISSN 1096-4290. Schmieretechnik 1963. - Nr. - 3. - 1964. - Nr. – 1 (дата обращения 05.06.2018 г.).
21. Яблонский А.А. Курс теории колебаний / А.А. Яблонский Курс теории колебаний – М.: Высш. Школа, 1975. – 248 с.: с ил.
22. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля / В.П. Тарасик Теория движения автомобиля – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478с.: ил.
23. Черепанов Л.А. Теория автоматического управления / Л.А. Черепанов Теория автоматического управления – Тольятти.: ТГУ, 2010. – 124с.
24. Азовская О.Н. Экономика. Курс лекций в схемах, графиках, таблицах / О.Н. Азовская – Тольятти : ТГУ, 2010. – 216с.