

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Модернизация стенда для определения коэффициента  
аэродинамического сопротивления модели автомобиля.

Студент

Ефимов А.В.

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. 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, доцент О.М. Сярдова

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

канд. педог. наук, доцент С. А. Гудкова

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

Тольятти 2021

## Аннотация

Данный дипломный проект на тему: Модернизация стенда для определения коэффициента аэродинамического сопротивления модели автомобиля, рассматривает аэродинамические характеристики автомобиля и коэффициент аэродинамического сопротивления.

В первом разделе указывается методика эксперимента, обозначается цель работы, описание стенда, описывается проведение работы по модернизации стенда.

Во втором разделе представлена методика для проведения испытаний, с помощью которых получены результаты исследования, также представление в разделе.

В третьем разделе мы получили значения, которые помогли нам рассчитать скорость, время и путь разгона легкового автомобиля. Узнали его скоростные характеристики, а также получили графики и схемы его характеристик.

В четвертом проведена оценка возможных рисков, связанных с работой на стенде. Выявлены источники рисков, а также приняты меры по их устранению. Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности.

Представленный дипломный проект содержит 8 листов формата А1, 25 таблиц, 21 рисунок, 77 страницу пояснительной записки, которые включают в себя 5 разделов, введение, заключение и список литературы.

## **Abstract**

The title of the graduation project is «Modernization of the stand for determining the aerodynamic drag coefficient of a car model».

The aim of the work is to give some information about the aerodynamic characteristics of the car and the drag coefficient.

The graduation project consists of an explanatory note on 77 pages, introduction, including 21 figures, 25 tables, the list of references, and the graphic part on 8 A1 sheets.

The key issue of the graduation work is the influence of the aerodynamic coefficient on the axle load of the vehicle. The coefficient shows what will happen to the axle load due to its change. The work shows what was changed in the original version of the stand.

Finally, we present the work on the economic efficiency of the project and the safety and environmental friendliness of the development. Graphs and tables are presented showing the simplicity and efficiency of this for studying the topic of aerodynamics work at the stand.

The results show clearly that the project is suitable for teaching students in laboratory work at the department at the university. Students will be able to experimentally study issues related to the aerodynamics of the car.

## Содержание

Содержание.....	4
Введение.....	6
1. Состояние вопроса.....	7
1.1 Исследование научных работ по аэродинамике.....	15
1.1.1 Испытания в аэродинамической установке.....	15
1.1.2 Исследование сил и моментов.....	16
1.2 Обзор аэродинамических труб. Зарубежные аэродинамические трубы для испытаний.....	18
1.3 Понятие о коэффициенте аэродинамического сопротивления.....	22
1.4 Цель исследования.....	24
1.5 Конструкция стенда.....	25
2. Исследовательская часть.....	27
2.1 Этапы проведения испытания.....	27
2.2 Результаты исследования.....	29
3. Тягово-динамический расчет автомобиля.....	31
3.1 Исходные данные для тягового расчета.....	31
3.2 Нахождение передаточного числа главной передачи.....	36
3.3 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя.....	37
3.4 Нахождение передаточных чисел коробки передач и раздаточной коробки.....	39
3.5 Тяговый баланс автомобиля.....	42
3.6 Динамические характеристики автомобиля.....	45
3.7 Разгон автомобиля.....	46
3.8 Мощностной баланс автомобиля.....	51
3.9 Топливо-экономическая характеристика автомобиля.....	53
4. Анализ экономической эффективности проекта.....	55
4.1 Сбор данных.....	55
4.2 Расчёт сметы затрат на НИиОКР.....	59
5. Безопасность и экологичность технического объекта.....	65

5.1 Воздействие ОВФ РС и ТП при работе со стендом .....	65
Заключение .....	68
Список используемых источников.....	69

## Введение

Аэродинамика - это раздел механики, изучающий основные законы движения воздуха и других газов и их взаимодействие с движущимися твердыми телами. Аэродинамика автомобиля, в соответствии с этим, изучает явления, возникающие в результате взаимодействия автомобиля и воздушной среды.

В современных реалиях автомобильного дизайна возникают проблемы их формообразования, что позволит снизить энергозатраты двигателей на преодоление сопротивления воздуха, повысить аэродинамическую устойчивость и снизить расход топлива. Аэродинамика напрямую связана с управляемостью, устойчивостью и безопасностью, особенно при движении на высоких скоростях. Даже способность кузова пачкаться напрямую зависит от того, насколько машина продумана с точки зрения аэродинамики.

Автомобильная аэродинамика больше не выполняет одну или две задачи, а выполняет набор основных задач. Многие конструкторы работают над достижением очень низких значений сопротивления воздуха для транспортных средств. Более того, они должны следить за величиной распределения подъемной силы по осям автомобиля, потому что сейчас автомобили набирают огромные скорости и на таких скоростях некоторые самолеты начинают набирать высоту с взлетно-посадочной полосы. При этом следует учитывать, что двигатель должен получать достаточный поток воздуха для охлаждения, в автомобиле должна быть предусмотрена вентиляция для комфорта пассажиров. Правильная аэродинамика значительно снижает уровень шума в салоне, а также задачу дизайнеров направлять воздушный поток так, чтобы воздушный поток не оседал на окнах автомобиля. При высокой скорости набегающего воздушного потока качество очистки лобового стекла должно быть наивысшим. А для тестирования машину помещают в аэродинамическую трубу, о которой и пойдет речь.

## 1. Состояние вопроса

«Движение автомобиля сопровождается многочисленными процессами взаимодействия с окружающим его воздухом. Эти процессы можно объединить в три группы.

- обтекании внешних поверхностей автомобиля;
- поток внутри кузова;
- потоки внутри агрегатов». [2]

«Процессы, объединенные в первые две группы, тесно связаны друг с другом. Так, например, поле скоростей потока в моторном отсеке непосредственно зависит от поля обтекания внешней поверхности автомобиля. Оба поля должны рассматриваться совместно, они являются объектом изучения автомобильной аэродинамики. Потоки внутри двигателя и трансмиссии, напротив, не связаны с процессом обтекания автомобиля; они связаны лишь с механикой работы этих агрегатов. Такие потоки не относятся к аэродинамике автомобиля, и в данной дипломной работе они рассматриваться не будут. Указанные выше группы составляют полную аэродинамическую силу». [2]

«Полной аэродинамической силой называют равнодействующую всех элементарных аэродинамических сил, действующих на поверхность автомобиля, а иногда, пренебрегая силами трения, — результирующую нормальных сил. Результирующий момент всех действующих на автомобиль поверхностных аэродинамических сил называют полным аэродинамическим моментом». [2]

«Лобовое сопротивление  $R_x$ , при основных используемых скоростях в настоящее время, эксплуатационных скоростях автомобилей, определённым образом влияет на затраты мощности на движение и на расход топлива, также на максимальную скорость. Сила, действующая с боку  $R_y$ , возникает при действии на автомобиль бокового ветра. Если автомобиль движется, то скорость бокового ветра  $V_e$  геометрически складывается со скоростью

поступательного движения автомобиля  $V_a$  и происходит кососимметричное обтекание автомобиля воздухом со скоростью набегающего потока  $V$ , и направление этой скорости составляет угол  $\rho$  с направлением движения». [1]

«Для легкового автомобиля среднего класса доля сопротивления воздуха в суммарном сопротивлении движению при скорости  $V_p = 100$  км/ч составляет уже 75—80 %. Следовательно, уменьшая сопротивление воздуха, можно значительно улучшить экономические показатели автомобиля. Поэтому, как и прежде, главной задачей аэродинамики автомобиля является уменьшение сопротивления воздуха до минимально возможного значения, независимо от того, является ли целью проектирования повышение максимальной скорости или снижение расхода топлива». [2]

«При боковом ветре обтекающий автомобиль поток несимметричен относительно продольной осевой плоскости. За счет формообразования следует стремиться к тому, чтобы появляющиеся дополнительные силы и моменты оставались по возможности малыми, не вызывая при наличии бокового ветра значительного ухудшения курсовой устойчивости. Это объясняется тем, что чувствительность автомобиля к боковому ветру должна рассматриваться с двух точек зрения. Как правило, неизбежность реагирования на боковой ветер переменной силы и направления означает большее или меньшее ухудшение ездового комфорта; необходимость постоянной корректировки небольших отклонений от курса движения с помощью рулевого колеса ощущается водителем весьма тягостно. Только в очень редких случаях из-за бокового ветра возникает непосредственная опасность для водителя и автомобиля. Этого необходимо избегать с помощью аэродинамически удачного формообразования. Важно также за счет правильного оформления дорог и прилегающей к ним местности предотвращать ситуации, в которых участники движения теряются перед внезапными порывами бокового ветра, предъявляющими к ним повышенные требования в отношении быстроты реакции». [2]



«В зоне сопряжения капота с ветровым стеклом поток прилегает к поверхности». [1] В таких местах образуется зона избыточного давления, которая может использоваться для работы системы отопления и вентиляции салона. «На большинстве автомобилей отверстие для забора свежего воздуха располагается в центре указанной зоны. В этом месте давление зависит от скорости движения автомобиля. Поэтому с повышением скорости увеличивается объем свежего воздуха, подаваемого в салон, что сильно затрудняет поддержание удовлетворительного микроклимата внутри автомобиля. Если расположить отверстие для забора свежего воздуха в таком месте кузова, где коэффициент давления на поверхности равен нулю, то можно, для симметричного обтекания (без бокового ветра) разделить поля внутреннего потока и внешнего обтекания». [2]

«Расположение вентиляционных отверстий для выхода воздуха системы вентиляции салона также в зонах с нулевым коэффициентом давления позволит при установке приточного вентилятора достаточно больших размеров обеспечить необходимый объемный расход воздуха, не зависящий от скорости движения». [2]

«Значение имеет внутренняя аэродинамика, включающая движение воздуха через радиатор системы охлаждения двигателя, моторный отсек и потоки систем отопления и вентиляции салона. Некоторые типы автомобилей, например, гоночные автомобили, дополнительно имеют воздухопроводы охлаждения масляного радиатора и для подачи воздуха в камеры сгорания двигателя». [2]

Аэродинамическая труба - это специальное устройство, которое создает направленный воздушный поток, цель испытаний с этой установкой - изучить влияние воздушного потока на тестируемый объект.

В нынешнюю эпоху, когда автомобили развивают чрезвычайно высокие скорости, аэродинамика объекта является одним из ключевых факторов, влияющих на скорость объекта. Поэтому целью исследования может быть автомобиль, самолет, корабль, космический корабль и т. д. В

аэродинамической установке (трубе) испытания проводятся как на натуральных образцах, так и на геометрически повторяющихся макетах. Для чистоты эксперимента и получения реальных значений и данных, равных реальному движущемуся объекту, необходимо максимально исключить влияние стенок рабочей части установки и границ воздушного потока. Это единственный способ добиться равномерного распределенного обтекания модели.

Такие показатели, как топливная экономичность, скоростные и динамические свойства, конкурентоспособность во многом зависят от аэродинамики автомобиля. Чем больше автомобиль развивает скорость, тем больше ему нужна правильная аэродинамика и улучшение этого показателя. В настоящее время большинство фирм, производящих автомобили, мотоциклы, автобусы, имеют сложные аэродинамические системы для исследования и улучшения аэродинамики своей продукции. Проектируют, доводят машины до требуемых характеристик, но нужно понимать, что стоимость такого аэроклиматического комплекса очень значительна, например, у Porsche есть комплекс стоимостью 25 млн евро, а всего один час испытаний в аэродинамической трубе стоит несколько тысяч евро. Но все эти затраты нивелируются уровнем аэродинамики автомобиля, которого он позволяет достичь. Строительство таких комплексов постоянно расширяется, поскольку автомобильная техника не стоит на месте, она постоянно модернизируется, спорткары едут все быстрее, а более быстрые машины нуждаются в лучшей аэродинамике, а для ее достижения необходимо множество испытаний, настройка оборудования в современном аэродинамическом комплексе. Аэродинамический проектирование - один из принципов современной аэродинамики, поскольку именно на этом этапе улучшаются безопасность, скоростные характеристики и экономия топлива. Этот этап основан на систематической оптимизации аэродинамических характеристик. Сегодня перед инженерами стоит задача не только снизить значение коэффициента аэродинамического сопротивления, но и решить ряд задач в экономической, потребительской и экологической сферах. Это

помогает снизить аэродинамический шум, уменьшить загрязнение окружающей среды и самого автомобиля.

«Первые опыты по определению сопротивления воздуха начали проводить в XVI веке на свободно падающих телах. Проведением подобных опытов одним из первых занялся Леонардо да Винчи. Впрочем, он экспериментировал не только с падающими телами, но и с телами, движущимися в воде, и даже с плоскими поверхностями, движущимися в воздухе под углом атаки. Ему удалось найти оптимальную форму судна наименьшего сопротивления. Дело Леонардо продолжил Галилей. Бросая с наклонной Пизанской башни тяжелые и легкие шары, он установил независимость скорости падения тяжелых тел от их веса и сформулировал один из величайших физических принципов – принцип инерции: если на тело не действуют силы, то оно движется равномерно. Немаловажное значение Галилей придавал логическому объяснению результатов эксперимента, пониманию физической сущности. Еще одним великим «шаробросателем» был Ньютон, основатель физики и (совместно с Лейбницем) высшей математики. Он бросал шары в лондонском соборе святого Павла. Вопрос о сопротивлении тел был для Ньютона далеко не праздным. Он хотел доказать, что (в отличие от утверждений аристотелианцев) космическое пространство не заполнено материей. В противном случае космическая материя оказывала бы сопротивление движению небесных тел, и вся стройная механическая система мира, созданная трудами Ньютона, рассыпалась бы, как картонный домик. После «великих шаробросателей» были попытки использовать сравнительно устойчивые естественные источники ветра. Модели перемещались на гребнях гор или в продуваемых пещерах и ущельях. Но даже здесь непостоянство природы вынуждало экспериментаторов двигать модели через неподвижный воздух». [3]

«Первым, кто применил эффект вращающегося рычага и создал устройство для испытания моделей на высокой скорости по принципу центрифуги, был блестящий английский математик. Робинс. Вращение

осуществлялось с помощью груза, тянущего под своим весом веревку, намотанную на шпиндель. При этом достигались скорости несколько метров в секунду. Закрепляя на конце рычага различные предметы – пирамиду, лист металла и т.д., Робинс установил несостоятельность существующих теорий воздушного сопротивления. «Различные формы, даже если предположить, что они имеют одинаковую площадь, не всегда обладают тем же воздушным сопротивлением или обтекаемостью». До конца XIX века рычажное приспособление оставалось практически единственным устройством для исследования аэродинамики. Но ряд существующих недостатков и сложностей этой конструкции привел к появлению более совершенного инструмента – аэродинамической трубы. По литературным данным Уинхем, член Совета авиационного общества Великобритании был первым человеком, который спроектировал и провел эксперименты с аэродинамической трубой в 1871 г. Это была труба более 3,5 м длины и сечением 116 см<sup>2</sup>. Вентилятор, обдувавший модели, приводился в движение паровым двигателем. Уже первые эксперименты доказали абсолютное превосходство аэродинамической трубы (АТ) перед другими способами проведения аэродинамических тестов. В том же 1871 г. капитан Российской армии В. Пашкевич, преподаватель Артиллерийской академии, построил первую в России АТ для исследования сопротивления движению снарядов. В 1897 г. К. Циолковский при поддержке Н. Жуковского построил АТ в Калуге, где провел исследования моделей дирижаблей и самолетов в потоке, скорость которого достигала 5 м/с». [3]

«В 1902 г. под руководством Н.Е. Жуковского в механической лаборатории Московского университета строится первая в России аэродинамическая труба закрытого типа, с рабочей частью квадратного сечения 0,75 × 0,75 м и скоростью воздушного потока 9 м/с. В 1904 г. в городе Кучино под Москвой Н.Е. Жуковский основал Аэродинамический институт (ЦАГИ), в котором была сооружена аэродинамическая труба диаметром 1,2 м. В конце 1909 г. он построил новую трубу диаметром 1,6 м,

позволявшую получать скорость потока 20 м/с. В том же году была организована аэродинамическая лаборатория в МВТУ. В лаборатории было две аэродинамические трубы: прямоугольного сечения  $1,5 \times 0,3$  м и круглая диаметром 1 м». [3]

«За рубежом почти одновременно с Россией велись работы по созданию аэродинамической трубы (1903–1909 гг.). Первая аэродинамическая труба была построена в 1903 г. Стантоном в Лондоне, в 1909 г. были построены еще две трубы: Эйфелем в Париже и Прандтлем в Геттингене. С тех пор было построено большое количество аэродинамических труб, от малых до гигантских. В первую очередь аэродинамические исследования в аэродинамических трубах проводились разработчиками авиационной техники. Seriously изучались обтекаемость водных судов. Первым наземным транспортным средством, которое продули в 1899 г. в аэродинамической трубе, стал железнодорожный поезд. Автомобили начали испытывать в аэродинамических трубах только после первой мировой войны. В настоящее время комплексами для проведения аэродинамических испытаний обладают все крупнейшие автопроизводители мира». [3]

«Практика экспериментальной аэродинамики на малых скоростях продолжает развиваться и остается краеугольным камнем в разработке широкого спектра транспортных средств и других устройств, которые должны выполнять свои функции перед лицом сил, создаваемых сильными потоками воздуха или воды». [14]

«Аэродинамическая труба - это устройство, предназначенное для создания контролируемой ситуации быстро движущегося воздуха для анализа обтекания различных объектов. В то же время он также используется, чтобы определять изменения подъемной силы и сопротивления, а также сил, действующих на объекты в результате рыскания, тангажа и крена». [15]

«Аэродинамические трубы представляют собой полезную установку для исследования различных явлений потока. Преимущество использования аэродинамических труб заключается в том, что в них можно проводить эксперименты в условиях хорошо контролируемого воздушного потока по сравнению с экспериментами в среде на открытом воздухе». [13]

«Аэродинамические трубы позволяют получать следующие данные: аэродинамические силы; сопротивление, подъемная сила, боковая сила и моменты; тангаж, рыскание, крен; изменение аэродинамических сил и моментов с рысканием; распределение поверхностного давления; влияние различных деталей автомобиля на вышеперечисленное; сопротивление охлаждения автомобиля; оценка охлаждающих потоков тормозов; аэроакустические данные; влияние аэродинамических характеристик и вспомогательных средств». [16]

«Аэродинамическая труба обычно включает в себя испытательную секцию, где модель или транспортное средство можно установить и посмотреть, пока воздух либо продувается, либо, чаще всего, всасывается вентилятором или несколькими вентиляторами». [12]

В настоящее время изобретатели пытаются достичь совершенства, и в эпоху «компьютеризации» аэродинамику не обошли стороной, вместо гигантских аэродинамических труб, многомиллионных затрат на строительство, долгосрочных испытаний можно использовать компьютер, способный справиться с этой работой за несколько минут. Несомненным достоинством этого метода является его компактность и цена. Скорость проверки результатов полностью зависит от мощности процессора компьютера, а не от ловкости конструкторов и инженеров. Но, тем не менее, компьютер сегодня не может стать полноценной заменой аэродинамической трубе, а является лишь ее дополнением, поскольку даже опытные специалисты иногда удивляются результатам, которые дает аэродинамическая труба при испытаниях. Можно создать красивый автомобиль, но без аэродинамических испытаний у этого автомобиля нет

будущего. Трубы бывают трех типов: малые для модельных испытаний, натурные и аэродинамические. Последние проверяют влияние на автомобиль климатических факторов, таких как влажность, температура и др. В малогабаритных проводятся испытания масштабных моделей и аэродинамических явлений, а также физические эксперименты. В крупных испытаниях испытываются натурные образцы, натурные модели.

Важно отметить, что современные автопроизводители не ограничиваются одним типом труб, они могут быть как полномасштабными, так и небольшими, что позволяет оптимизировать и сократить время испытаний. Сама труба представляет собой установку, в которую помещается автомобиль или модель автомобиля, где она остается неподвижной, вокруг нее движется только воздушный поток, который приводит в движение огромные мощные вентиляторы. Установка состоит из сопла, из которого выдувается воздушный поток, рабочей камеры, в которой установлен объект контроля и тензометрический элемент, диффузора, в который поступает воздушный поток, весов, находящихся под объектом контроля в рабочей камере. А также вентилятор с электродвигателем и сеткой, позволяющий получить желаемый ламинарный поток для тестирования в рабочей зоне.

## **1.1 Исследование научных работ по аэродинамике**

### **1.1.1 Испытания в аэродинамической установке**

«В больших аэродинамических трубах проводятся оптимизационно-доводочные испытания натуральных легковых автомобилей, автобусов, мото и вело транспортных средств. Из-за больших габаритов испытания натуральных автопоездов в аэродинамической трубе практически невозможны, поэтому исследования ведут на их крупномасштабных макетах.

Так, известные фирмы «Вольво» и «Мерседес-Бенц» проводят доводку своих магистральных автопоездов в больших трубах на полностью подобных

натуре макетах, изготовленных в масштабе М 1:2. Перед проведением испытаний в трубе автомобиль моют, проверяют состояние его поверхности и комплектацию штатными навесными элементами. Затем подготовленный объект испытаний с выключенным двигателем устанавливают на аэродинамические весы в рабочей части трубы и фиксируется на них путем затормаживания ручным тормозом и включения задней передачи. Платформа весов имеет форму плоского диска диаметром 4–6 м и установлена заподлицо с ровным бетонным полом трубы, в котором имеется специальное круглое отверстие.

При установке на весах тщательно проверяется штатная развесовка по осям, а также вертикальное и угловое расположение кузова относительно пола трубы, соответствующие ТУ на автомобиль. При необходимости испытаний с тангажом кузова его положение меняется посредством изменения развесовки и прогиба передней и задней подвесок, также как изменение дорожного просвета осуществляется путем варьирования массы балласта на полу кузова. Испытания при различных углах натекания потока проводятся путем разворота платформы весов с установленным на ней транспортным средством.

В большой трубе, так же, как и в модельной, проводятся три вида испытаний: весовые, дренажные и визуализационные. Результаты весовых и дренажных испытаний по специальной проводной связи передаются в размещенный рядом с рабочей частью трубы компьютерный центр, откуда наблюдается визуально объект испытаний». [3]

### **1.1.2 Исследование сил и моментов**

«Важнейшей задачей при испытаниях автомобилей в аэродинамических трубах является измерение аэродинамических сил и моментов, действующих на автомобиль, при обтекании его потоком воздуха. К ним относятся: боковая сила, сила сопротивления воздуха, подъемная сила, продольный аэродинамический момент, поперечный аэродинамический момент (момент



крена) и поворачивающий аэродинамический момент (момент рыскания)».  
[2]

«Система координат при измерениях аэродинамических сил и моментов. Для однозначного определения названных выше трех сил и трех моментов необходима установленная система координат. На рисунке 1 показана система координат, которая часто применяется в настоящее время. Эта система жестко связана с автомобилем, начало координат располагается в плоскости опорной поверхности колес в точке пересечения средних линий базы и колеи автомобиля». [2]

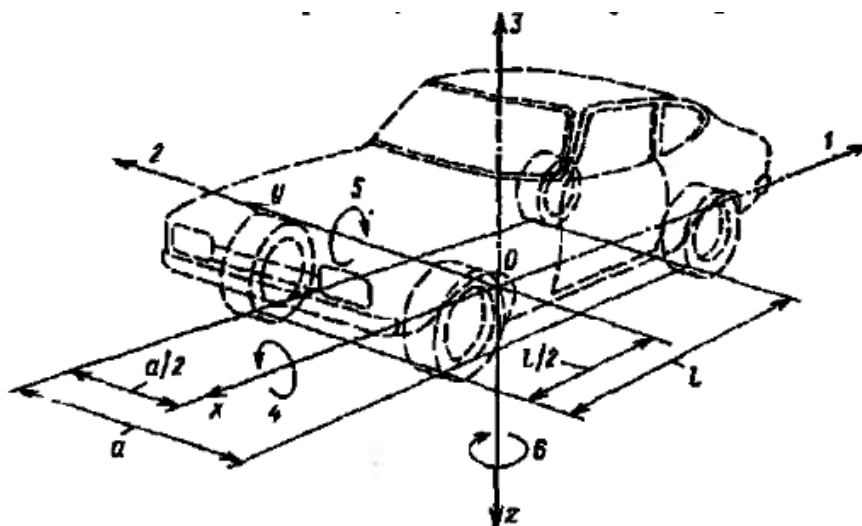


Рисунок 1 – Система координат для измерения аэродинамических сил и моментов.

«Аэродинамические весы. Для измерения трех сил и трех моментов нужны шестикомпонентные весы. Если поток набегаёт на автомобиль строго в направлении его продольной оси, то достаточно измерить силу сопротивления воздуха, продольный момент и подъёмную силу. Для таких измерений можно использовать трехкомпонентные весы». [2]

«Разложение аэродинамических сил. Для отдельного определения каждого из трех сил и каждого из трех моментов измеряемые параметры раскладываются на составляющие:

1. Испытуемый автомобиль устанавливается на платформе. Возникающие в процессе испытания силы и моменты передаются через платформу (или её подвеску) на динамометрические элементы и измеряются.

2. Колеса автомобиля стоят на четырех отдельных платформах. Силы, измеряемые на отдельных колесах параллельно осям системы координат, в последующем складываются в определяемые три силы и три момента.

3. Конструкция весов аналогична указанной выше, но непосредственно измеряются только подъемные силы на четырех колесах. Боковая сила, поворачивающий момент и сила сопротивления воздуха измеряются через «плавающую» раму, имеющую четыре платформы и установленную на опоры без трения над рамой, жестко соединенной с основанием.

4. Объект измерения подвешивается на четырех растяжках и с помощью других растяжек фиксируется в направлении осей. Измеряя силы на растяжках, можно вычислить отдельные силы.

В процессе измерения аэродинамических силы и моментов следует обратить внимание на продолжительность замера, так как возможны колебания значений из-за вибрации системы автомобиль-весы». [2]

## **1.2 Обзор аэродинамических труб. Зарубежные аэродинамические трубы для испытаний**

«В качестве примера большой аэродинамической трубы на рисунке 2 представлена аэродинамическая труба фирмы "Даймлер Бенц". Эта труба отличается высокой скоростью обдува  $V_{\max} = 270$  км/ч.»[2] Настолько высокая скорость предпочтительна при работе с динамичными автомобилями; «это позволяет изучать изменение положения автомобиля вследствие воздействия аэродинамических сил и моментов, а также обратное влияние изменения положения автомобиля на аэродинамические характеристики.»[2]

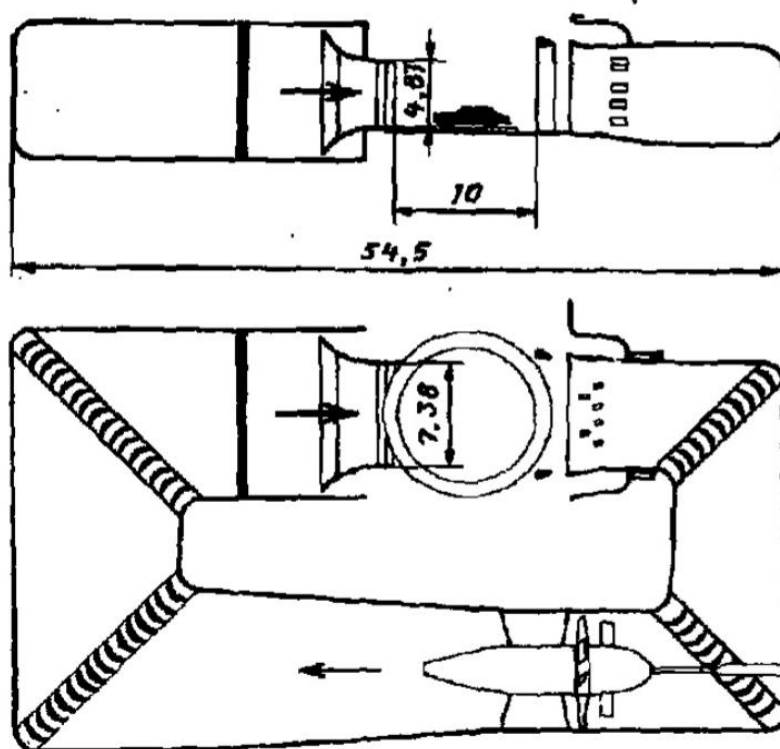
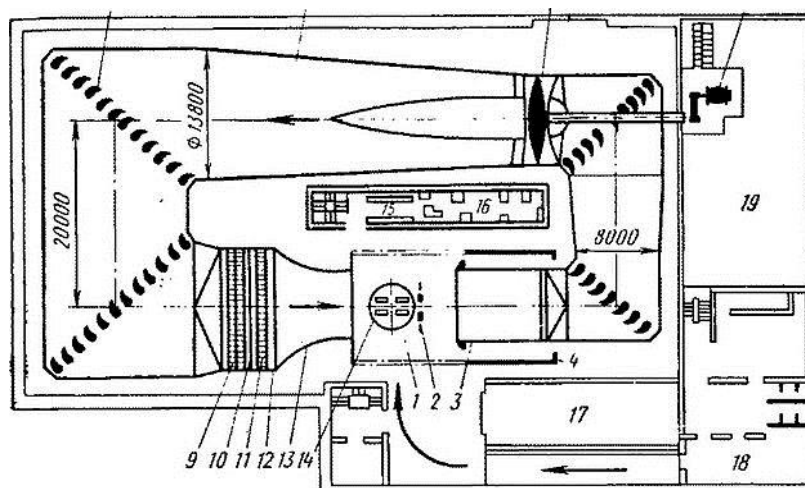


Рисунок 2 – Большая аэродинамическая труба фирмы "Даймлер Бенц"  
для испытания моделей 1:1

На рисунке 3 «показана большая аэроклиматическая труба концерна "Фольксваген" в г. Вольфсбурге. Эта труба полностью климатизирована» [2]. В такой трубе имеется возможность проводить при температурах «диапазон изменения температур от  $-35^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ » [2]. Максимальная скорость «обдува  $V_{\text{max}}$  — 180 км/ч вполне удовлетворяет запросы разработчиков легковых автомобилей и небольших автомобилей-фургонов, тем более что при таких высоких скоростях можно не опасаться влияния числа Рейнольдса, его влияние действительно отсутствует» [2].

«Аэродинамическая труба фирмы Фольксваген (рисунок 3) представляет собой систему труб четырехугольной формы, и каждое ее колено занимает одну сторону большого четырехугольного здания. В наиболее узкой части, ширина трубы 8 м, в наиболее широкой – около 14 м. Поток воздуха создается осевым вентилятором диаметром 9 м, колесо

которого имеет лопатки с переменным углом наклона. Скорость потока в открытой части трубы около 150 км/ч. Воздух, нагнетаемый вентилятором 6, попадает через два угловых отражателя 8 в антикамеру 12 диффузора, где установлен охладитель 9, позволяющий понижать температуру воздуха до  $-35^{\circ}\text{C}$ . Максимальная температура воздуха в трубе может достигать  $+45^{\circ}\text{C}$ .»[1]



«1 - место установки автомобиля; 2 и 7 - диффузоры; 3 - коллектор; 4 - шторы экспериментальной камеры; 5 - электродвигатель привода вентилятора; 6 - вентилятор; 8 - угловой отражатель; 9 - охладитель; 10 - выпрямитель; 11 - турбулентный фильтр; 12 - антикамера диффузора; 13 - аэродинамические весы; 14 - испытательный стенд; 15 - пульт управления; 16 - центр обработки результатов; 17 - мастерская; 18 - бюро; 19 – машины холодильной камеры» [2].

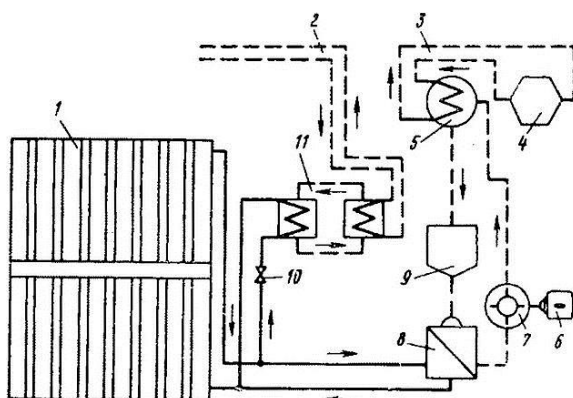
Рисунок 3 – Большая «аэродинамическая труба фирмы ”Фольксваген”

«Для измерения сил и моментов, действующих на испытываемую модель, используют самобалансирующиеся шестикомпонентные механические весы. Поворотная станина, на которой смонтированы весы, позволяет поворачивать исследуемый автомобиль на любой угол по

отношению к продольной оси трубы, т.е. к направлению воздушного потока» [1].

«Различные виды сопротивления имитируются стендом с беговыми барабанами при помощи программного устройства. Использование климатической установки и стенда с барабанами, позволяет имитировать разные климатические условия. Это позволяет исследовать не только аэродинамические характеристики кузова автомобиля, а также проанализировать возможности системы охлаждения двигателя, вентиляции и отопления» [1].

«Для проведения испытаний с понижением или повышением температуры, открытую рабочую часть трубы можно закрывать передвижной теплоизоляционной оболочкой» [1]. Схема холодильной установки (Рисунок 4).



«1 - охладитель воды; 2 - горячая вода; 3 - охлаждающая вода; 4 - холодильная башня; 5 - конденсатор; 6 - электродвигатель; 7 - компрессор; 8 - испаритель; 9 - сепаратор; 10 - клапан; 11 - теплообменник» [2].

Рисунок 4 – Установка холодильная

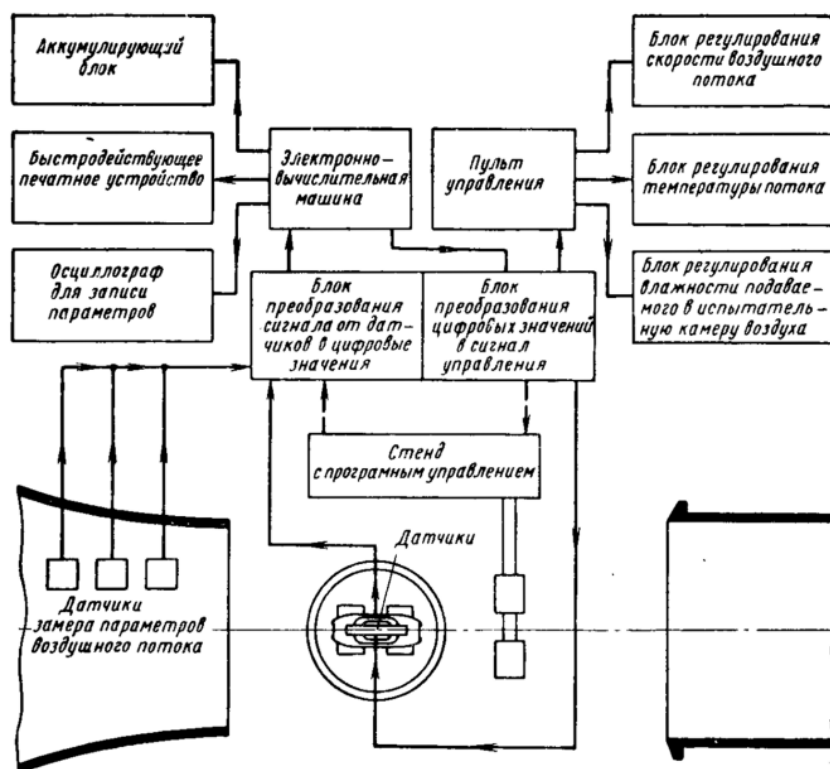


Рисунок 5 - Схема управления всей аэродинамической трубой фирмы  
 "Фольксваген"

«На рисунке 5 показано вся схема управления. Температура регулируется «двухступенчатым компрессором мощностью 2300 кВт Фреон в виде пара попадая в конденсатор сжижается. После фреон проходит «через сепаратор в испаритель, где охлаждает» циркулирующий трихлорэтилен, через охладитель, установленный в аэродинамической трубе. Пропускная способность установки составляет 2-10<sup>6</sup> ккал/ч.» [1]

### 1.3 Понятие о коэффициенте аэродинамического сопротивления

«Коэффициент аэродинамического сопротивления - безразмерная величина, равная отношению силы лобового сопротивления автомобиля  $F$  к произведению скоростного напора  $Q$ :

$$Q = \frac{\rho V_a^2}{2}, \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$v$  – скорость движения автомобиля относительно воздуха, м/с;

на площадь фронтальной проекции автомобиля  $A$ .

$$C_x = \frac{F}{QA} \quad (2)$$

Обычно обозначается как  $C_x$ .

$$C_x = \frac{2F_B}{\rho A V_a^2}, \quad (3)$$

где  $A$  – площадь фронтальной проекции автомобиля, м<sup>2</sup>;

$C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления;

$V$  – скорость объекта относительно воздуха, м/с;

$\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

$C_x$  зависит только от площади поперечного сечения, скорости потока, плотности воздуха и силы лобового сопротивления.

Чем меньше  $C_x$ , тем меньше расход топлива при равных других условиях.  $C_x$  современных серийно выпускаемых автомобилей легковых находится в пределах от 0,2 до 0,35. У грузовых тяжелых автомобилей и массивных внедорожников, из-за менее обтекаемого воздухом большого кузова — до 0,5 и более». [3]

«Коэффициент сопротивления находится экспериментальным методом продувкой макетов авто в аэродинамической трубе, либо расчётным методом с помощью компьютерного моделирования» [8].

« $C_x$  это основа аэродинамики, этот показатель выносит свой вердикт аэродинамичности исследуемого объекта. На силу сопротивления воздуха влияет скорость движения транспортного средства, причем с увеличением скорости автомобиля в два раза, сила сопротивления возрастает в 4 раза, отсюда и появляется большой расход топлива, так как двигателю приходится

тратить значительную часть мощности на преодоление этой силы» [7]. Воздух имеет достаточную плотность, чтобы препятствовать движению автомобиля, и чем ниже коэффициент  $C_x$ , тем легче «врезается» автомобиль в воздушную «преграду», затрачивая при этом минимум энергии. С увеличением скорости перед автомобилем начинает скапливаться воздушная масса, создается увеличенное давление, препятствующий разрезанию воздуха. Также за движущимся объектом создается область разряжения, которая так же мешает движению автомобиля, её причина отрыв потока от кузова. Но как бы не хотелось повлиять на плотность воздуха инженерам, сделать это невозможно, поэтому конструкторам остается либо уменьшить автомобиль, что ограничивается вместимостью салона и полезным пространством, а также конструкцией автомобиля, либо изменением формы кузова, чем и занимаются конструкторы, продувая автомобили в аэродинамических трубах. Каплевидное тело имеет наименьшее сопротивление, так как плавно разводит поток перед собой, а хвостик сводит его в конце без значительных завихрений. Получается, что капля не создает область повышенного давления перед собой, и не создает область разряжения после себя. Если бы автомобили создавались такими, то их  $C_x$  был бы минимальным, но создание такого кузова не является целесообразным, т.к. это не все элементы конструкции получится внедрить в эту форму.

#### **1.4 Цель исследования**

Целью данного исследования является модернизация стенда для определения коэффициента аэродинамического сопротивления модели автомобиля.



## 1.5 Конструкция стенда

За основу был взят стенд (рисунок 6) предыдущей выпускной квалификационной работы, который был модернизирован с целью определения влияние коэффициента аэродинамического сопротивления на нагрузку на ось автомобиля. Данная установка позволяет определять в лабораторных условиях, какая нагрузка приходится на заднюю ось модели автомобиля. Стенд состоит из приводной части, сопла и рабочей камеры.

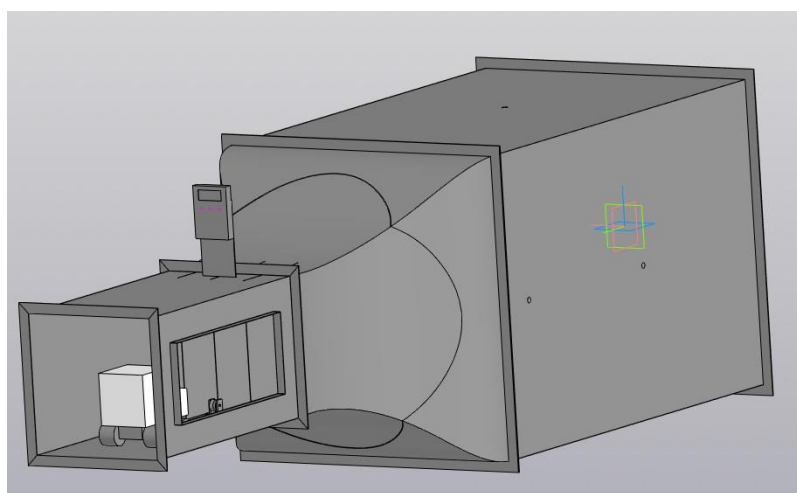


Рисунок 6 – общий вид

Чтобы обеспечить возможность измерения нагрузки, в конструкцию рабочей камеры были внесены изменения, в частности было сделано отверстие, куда устанавливается задняя ось модели автомобиля для данного исследования. Также с нижней части камеры закреплен тензометрический элемент, к которому крепится площадка, выходящая в отверстие в конструкции. Собран мост, соединяющий тензометрический элемент, усилитель и мультиметр. Мультиметр через усилитель выводит показания тензодатчиков на сжатие и разжатия в месте изгиба, когда на тензометрический элемент приходится нагрузка и он прогибается. Изменения показаны на рисунке 7.

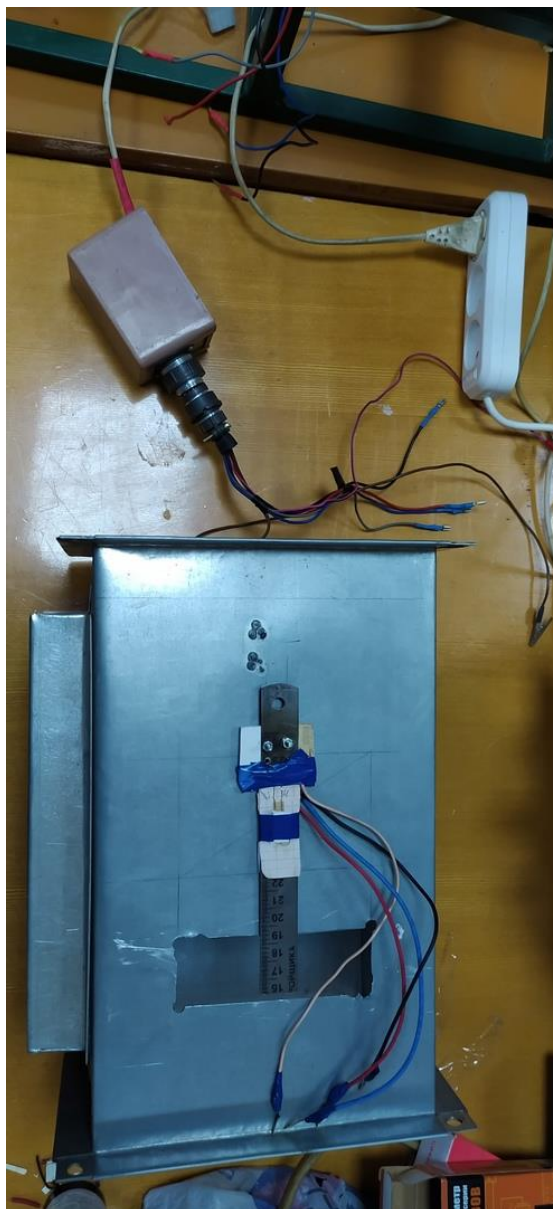


Рисунок 7 – проведенная модернизация рабочей камеры

Вывод: стенд, как и раньше, позволяет продолжать проводить лабораторные работы по измерению скорости воздушного потока, действующих сил на автомобиль под воздействием потока, а после модернизации еще нагрузку на ось под воздействием потока.

## 2. Исследовательская часть

### 2.1 Этапы проведения испытания

Испытание проводится на стенде, который показан на рисунке 8. Чтобы снять показания нужно подготовить установку к работе.



Рисунок 8 – общий вид стенда

Подготовительный этап:

1. Подключается блок питания к вентиляторам
2. Закрепляется динамометр на штанге
3. Подключается мультиметр
4. Производится тарировка тензометрической площадки

5. Устанавливается модель автомобиля тензометрическую площадку измерений
6. Модель автомобиля с помощью лески через ролик соединяется с динамометром
7. Снимается напряжение с мультиметра определяющее нагрузку на заднюю ось модели автомобиля

Этап испытаний:

1. Запускается установка
2. Снимается значение силы сопротивления с динамометра и напряжение на тензометрическом элементе с мультиметра
3. Выключается установка
4. Убирается модель автомобиля с площадки измерения
5. Устанавливается на место модели машины анемометр
6. Запускается установка
7. Снимаются значения скорости ветра с анемометра
8. Вычисляется площадь поперечного сечения модели

$$A = 0.8H_M B_M, \quad (4)$$

где А - Площадь поперечного сечения модели;

Н - Высота модели;

В - Ширина Модели.

9. По известной формуле выводится Сх:

$$F_B = \frac{C_x \rho}{2} A V_a^2, \quad (5)$$

$$C_x = \frac{2F_B}{\rho A V_a^2}, \quad (6)$$

где А– площадь фронтальной проекции автомобиля, м<sup>2</sup>;

v – скорость движения автомобиля относительно воздуха, м/с;

ρ – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;

$C_x$  – коэффициент аэродинамического сопротивления.

10. Пропорциями в процентном соотношении высчитывается увеличение нагрузки на заднюю ось от увеличения сопротивления.

## 2.2 Результаты исследования

Опыт 1 Исследования без спойлера

1. При продувке модели без спойлера значение  $F_B = 0,539$  Н,  $U_{\text{без нагрузки}} = 0,20$  В,  $U_{\text{под нагрузкой}} = 0,23$  В
2. Площадь поперечного сечения модели равна

$$A = 0.8H_M B_M, \quad (7)$$

$$A = 0.8 \cdot 0.09 \cdot 0.08 = 0.00576 \text{ м}^2.$$

3. Скорость движения воздуха измеренная с помощью анемометра  $V_a = 12$  м/с
4. Плотность воздуха принята  $\rho = 1,293$  кг/м<sup>3</sup>
5. Подставляем значения в формулу  $C_x$ :

$$C_x = \frac{2F_B \cdot \cos 60}{\rho A V_a^2}, \quad (8)$$

где  $\cos 60$  - угол под которым приложена сила.

Получаем

$$C_x = \frac{2 \cdot 0.539 \cdot \frac{1}{2}}{1.293 \cdot 0.00576 \cdot 12^2} = 0.5 \quad (9)$$

6. Высчитываем изменение напряжение в процентах  
Изменение нагрузки 0,03 В

$$0,03 \cdot \frac{100}{0,20} = 15\% \quad (10)$$

Опыт 2 Исследования со спойлером на крыше

1. При продувке модели со спойлером на крыше значение  $F_B = 0,539\text{Н}$ ,  
 $U_{\text{без нагрузки}} = 0,22\text{В}$ ,  $U_{\text{под нагрузкой}} = 0,26\text{В}$
2. Площадь поперечного сечения модели равна

$$A = 0.8H_M B_M \quad (11)$$

$$A = 0.8 \cdot 0.09 \cdot 0.12 = 0.00864\text{м}^2$$

3. Скорость движения воздуха измеренная с помощью анемометра

$$V_a = 12\text{м/с}$$

4. Плотность воздуха принята  $\rho = 1,293\text{кг/м}^3$

5. Подставляем значения в формулу  $C_x$

$$C_x = \frac{2F_B \cdot \cos 60}{\rho A V_a^2} \quad (12)$$

Получаем

$$C_x = \frac{2 \cdot 0.98 \cdot \frac{1}{2}}{1.293 \cdot 0.00576 \cdot 12^2} = 0.6 \quad (13)$$

6. Высчитываем изменение напряжение в процентах

Изменение напряжение 0,04 В

$$0,04 \cdot \frac{100}{0,22} = 18\% \quad (14)$$

Вывод: при  $C_x = 0,5$  изменение нагрузки на ось составляет 15%, а при  $C_x = 0,6$  ось нагружается на 18 % больше, чем при статической нагрузке.

### 3. Тягово-динамический расчет автомобиля

«Параметры и данные, заданные техническим заданием: вид авто, вместимость пассажиров, коэффициент дорожного сопротивления  $\psi_v$ , максимальное сопротивление, которое автомобиль преодолевает на первой передаче  $\psi_{\max}$ , тип двигателя, колесная формула» [10].

«Снаряженная масса автомобиля  $m_0$ , лобовая площадь  $F$ , распределение массы по осям груженого автомобиля, угловая скорость коленчатого вала  $\omega_N$  двигателя при максимальной мощности  $N_{\max}$ , механический коэффициент полезного действия (КПД) трансмиссии  $\eta_{\text{тр}}$ , коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x$ . Эти параметры задаются в зависимости от испытаний и статистических данных по существующим моделям, с учетом прогрессивного развития автомобильной техники и перспективного типажа авто» [10].

«Зависимости и данные при расчетах: максимальная мощность двигателя автомобиля  $N_{\max}$ , передаточное число главной передачи автомобиля  $U_0$ , передаточные числа коробки передач  $U_k$  и раздаточной коробки  $U_d$ , а также зависимости:

- топливно-экономическая характеристика.
- мощностной баланс автомобиля;
- внешняя скоростная характеристика двигателя;
- динамическая характеристика автомобиля;
- тяговая характеристика автомобиля и силовой баланс;
- зависимость от скорости автомобиля: ускорения, времени и пути разгона» [10].

#### 3.1 Исходные данные для тягового расчета

Для выполнения тягового расчета необходимо определить снаряженную массу автомобиля  $m_0$ . На первом этапе проектирования ее

находим ориентировочно, исходя из грузоподъемности, назначения, первоначально задуманной конструктором компоновки автомобиля на основе накопленного статистического материала, то есть опираясь на среднюю величину отношения грузоподъемности  $m_r$  к снаряженной массе  $m_0$  автомобиля.

При отсутствии подробных данных по удельной грузоподъемности можно их принять по таблице 1.

$$\eta m = m_r / m_0, \quad (15)$$

Таблица 1 – Удельная грузоподъемность автомобилей

Тип автомобилей	$\eta_m$
Легковые	%
Особо малого класса	0,32 – 0,56
Малого класса	0,28 – 0,46
Среднего класса	0,26 – 0,30
Большого класса	0,21 – 0,25
Высшего класса	0,16 – 0,18

Полная масса автомобиля находится по формуле:

$$m_a = m_0 + m_{ч}(n) + m_{\delta}, \quad (16)$$

где  $m_{ч}$  – масса человека 75 кг;

$m_0$  – масса автомобиля снаряженная, (кг);

$n$  – число пассажиров;

$m_{\delta}$  – вес багажа 10 кг на 1 пассажира.

$$m_a = 1088 + 375 + 50 = 1513 \text{ кг.}$$

«Для подбора шин необходимо знать нагрузку, приходящуюся на одно колесо, а для этого – распределение нагрузки по осям автомобиля.

У легковых автомобилей распределение нагрузки от полной массы по осям зависит в основном от компоновки: у автомобилей, имеющих



классическую компоновку, на заднюю ось приходится 52-55% нагрузки от полной массы, у автомобилей с задним расположением двигателя 56-60%, у переднеприводных 40-45%, у полноприводных 45-55%» [11].

Зная размер шин, определяем статический радиус колеса:

$$r_{ст} = 0.5 * d + \lambda_z * H, \quad (17)$$

где  $d = 14$  – диаметр посадочный

$\lambda_z = 0.86$  – коэффициент вертикальной деформации, зависящий от типа шин.

$H/V = 65$  – отношение ширины профиля шины к ее высоте, %.

$V = 0.175$  – ширина шины (профиля), м.

$H = 65 * 0.175 = 0.114$  – высота шины (профиля), м.

$$r_{ст} = 0.5 * 0.356 + 0.86 * 0.114 = 0.28 \text{ м}$$

На дорогах с твердым покрытием  $r_{ст} \approx r_d \approx r_k$ ,

где  $r_d$  – динамический радиус колеса;

$r_k$  – радиус качения колеса.

$$r_{ст} \approx r_d \approx r_k = 0.28 \text{ м.}$$

Затем выбираем параметры обтекаемости автомобиля: коэффициент аэродинамического сопротивления и лобовую площадь автомобиля.

Коэффициент аэродинамического сопротивления  $C_x$  зависит от формы и качества окраски автомобиля.  $C_x=0,34$ .

Часто применяемый в литературе коэффициент обтекаемости  $k$  связан с  $C_x$  следующей зависимостью:

$$k = C_x \cdot \rho / 2, \quad (18)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха в нормальных условиях (760 мм рт.ст.),  $\rho=1,293$ .

$$k=0,34 \cdot 1,293/2=0,2327 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4.$$

При расчетах лобовую площадь  $F$  легковых автомобилей со стандартным кузовом определяют по приближенной формуле:

$$F=0,8 \cdot B_{\Gamma} \cdot H_{\Gamma}, \quad (19)$$

где  $B_{\Gamma}$  – ширина автомобиля габаритная, м;

$H_{\Gamma}$  - высота автомобиля габаритная, м.

$$F=0,8 \cdot 1,68 \cdot 1,42=1,908 \text{ м}^2.$$

Среднее значение коэффициентов  $C_x$ ,  $k$  и площади  $F$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры обтекаемости автомобилей

Автомобили	$F, \text{ м}^2$	$C_x$	$k, \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$
Легковые	1,6 – 2,6	0,3 – 0,52	0,2 – 0,35

Механический КПД трансмиссии для всех пяти передач постоянно, так как происходящее увеличение потерь мощности на преодоление трения в зубчатых зацеплениях при включении низших передач в коробке компенсируется одновременным уменьшением гидравлических потерь в агрегатах трансмиссии.

В расчетах могут приниматься следующие средние величины КПД для автомобилей (таблица 3).

Таблица 3 – КПД трансмиссии автомобилей

Типы автомобилей	КПД
Легковые	0,92 – 0,90

«При малой скорости автомобиля (до 10-15 м/с) коэффициент сопротивления качению  $f$  можно считать постоянным. Высокая скорости

автомобиля создает энергетические потери в шине, в следствии чего коэффициент сопротивления качению возрастает» [11]. Для нахождения коэффициента качения пользуемся формулой:

$$f = f_0(1 + V^2/2000), \quad (20)$$

где  $f_0$  - коэффициент качения с малой скоростью;

$V$  – скорость автомобиля, м/с.

$$f = 0,014 \cdot (1 + 51,39^2/2000) = 0,0325.$$

При движении по мягкому грунту, песку и снегу, учитывая большое количество различных факторов, влияющих на величину коэффициента, в расчет вводят его средние значения (таблица 4).

Таблица 4 – Коэффициент сопротивлению качению

Тип и состояние дорог	f
Асфальтобетонное и цементобетонное шоссе:	-
В отличном состоянии	0,012 – 0,018
В удовлетворительном состоянии	0,018 – 0,020
Булыжная мостовая	0,023 – 0,030
Дорога с гравийным покрытием	0,020 – 0,025
Грунтовая дорога	-
Сухая укатанная	0,025 – 0,035
После дождя	0,050 – 0,15
Песок	0,10 – 0,30
Укатанный снег	0,03 – 0,05

Коэффициент сцепления в продольном направлении  $\phi$  приведен в таблице 5.

Таблица 5 – Коэффициент сцепления с дорогой

Тип дорог	Состояние поверхности	
	Сухая дорога	Мокрая дорога
Асфальтобетонное и цементобетонное шоссе	0,7 – 0,8	0,35 – 0,6
Дорога с щебеночным покрытием	0,6 – 0,7	0,3 – 0,4
Грунтовая дорога	0,5 – 0,6	0,2 – 0,4
Лед	0,1 – 0,2	0,1 – 0,2
Снег	0,2 – 0,3	0,2 – 0,3

### 3.2 Нахождение передаточного числа главной передачи

Передаточное число:

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \times \frac{\omega_{max}}{V_{max}}, \quad (21)$$

где  $\omega_{max}$  – угловая максимальная скорость коленчатого вала;

$U_k$  – передаточное число на высших передачах (дополнительные редукторы, если они есть, учитываются в знаменателе).

$$U_0 = \frac{0,28}{0,78} \times \frac{630}{51.39} = 4.34 \quad (22)$$

В дальнейшем  $U_0$  принимаем 3,8.

Заднеприводные автомобили с передним расположением двигателя имеют разновидность коробки передач, высшая передача у них бывает прямой или повышающей. У двух вальных коробок передач обычно применяют повышающую, передаточное число повышающей передачи принимается 0,6 -0,8.

При определении  $U_0$  по максимальной скорости  $V_{max}$  задаются максимальной угловой скоростью  $\omega_{max}$ . Для легковых автомобилей  $\omega_{max}=650...400$  рад/с.

Правильность выбора передаточного числа  $U_0$  определяется по мощностному балансу автомобиля, при этом  $V_{max}$  должна быть в пределах

(1,0...1,35)  $V_N$  – скорости, соответствующей максимальной мощности на ведущих колесах.

Главные передачи заднеприводных легковых автомобилей имеют передаточные числа 3,1-4,9, а переднеприводные – 3,7-5,1.

### 3.3 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя

Вначале находят мощность двигателя при максимальной скорости автомобиля  $N_v$  с учетом КПД трансмиссии (в Вт):

$$Nv = \frac{1}{\eta_{тр}} (G_a \times \psi_v \times V_{max} + \frac{c_x}{2} \times \rho \times F \times V_{max}^3), \quad (23)$$

где  $\psi_v$  – коэффициент сопротивления дороги при  $V_{max}$ .

При расчетах обычных автомобилей (легковых) коэффициент суммарного дорожного сопротивления приравнивают коэффициенту качения при  $V_{max}$ .

$$\psi_v = f = 0.0325$$

$G_a = m_a * g$  – полный вес автомобиля, Н

$\rho = 1.293$  – плотность воздуха (760 мм.рт.ст.)

$$Nv = \frac{1}{0.92} \times (1513 \times 9.81 \times 0.0325 \times 51.39 + 0.2198 \times 1.908 \times 51.39^3) \approx 88.82 \text{ кВт}$$

Максимальная мощность в зависимости от типа двигателя:

$$N_{max} = \frac{N_v}{a * \lambda + b * \lambda^2 - c * \lambda^3} \quad (24)$$

$a = b = c = 1$  – эмпирические коэффициенты для двигателей с карбюратором.

$\lambda = \omega_V / \omega_N$  – частота вращения коленчатого вала при максимальной скорости, к частоте вращения при максимальной мощности

Задаем  $\lambda = 1.11$

$$\text{Тогда, } \omega_N = \frac{\omega_V}{\lambda} = \frac{630}{1.11} = 568 \text{ с}^{-1}$$

Таблица 6 – Значения коэффициентов для расчета внешней скоростной характеристики

Тип двигателя	a	b	c
Карбюраторный	1	1	1

$$N_{\max} = \frac{88819}{1 \cdot 1.11 + 1 \cdot 1.11^2 - 1 \cdot 1.11^3} = 91146 \text{ Вт} \approx 91.15 \text{ кВт}$$

По полученным значениям  $N_{\max}$ ,  $N_v$  и формуле (11) рассчитываем внешнюю скоростную характеристику двигателя:

Эффективная мощность двигателя:

$$N_e = N_{\max} * [a \times \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right) + b \times \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^2 - c * \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^3], \quad (25)$$

где  $\omega_e$  – текущее значение частоты вращения коленчатого вала;

$N_e$  – текущее значение эффективной мощности двигателя, кВт.

Эффективный момент двигателя:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \quad (26)$$

Принимаем минимальную частоту вращения коленчатого вала  $\omega_{\min} = 100 \text{ с}^{-1}$

В дальнейшем применяем  $N_{\max} = 91 \text{ кВт}$ ,  $M_{\max} = 200 \text{ Нм}$ .

Результаты расчетов сведем в таблицу 7 и график (рисунок 9).

Таблица 7 – Результаты расчета внешнескоростной характеристики

$\omega_e,$ $c^{-1}$	100	153	206	259	312	365	418	471	524	577	630
$N_e,$ кВт	18,37 45	29,38 354	40,69 712	51,87 1	62,46 083	72,02 238	80,11 133	86,28 338	90,09 426	91,09 965	88,85 528
$M_e,$ Нм	183,7 45	192,0 493	197,5 588	200,2 74	200,1 95	197,3 216	191,6 539	183,1 919	171,9 356	157,8 85	141,0 401

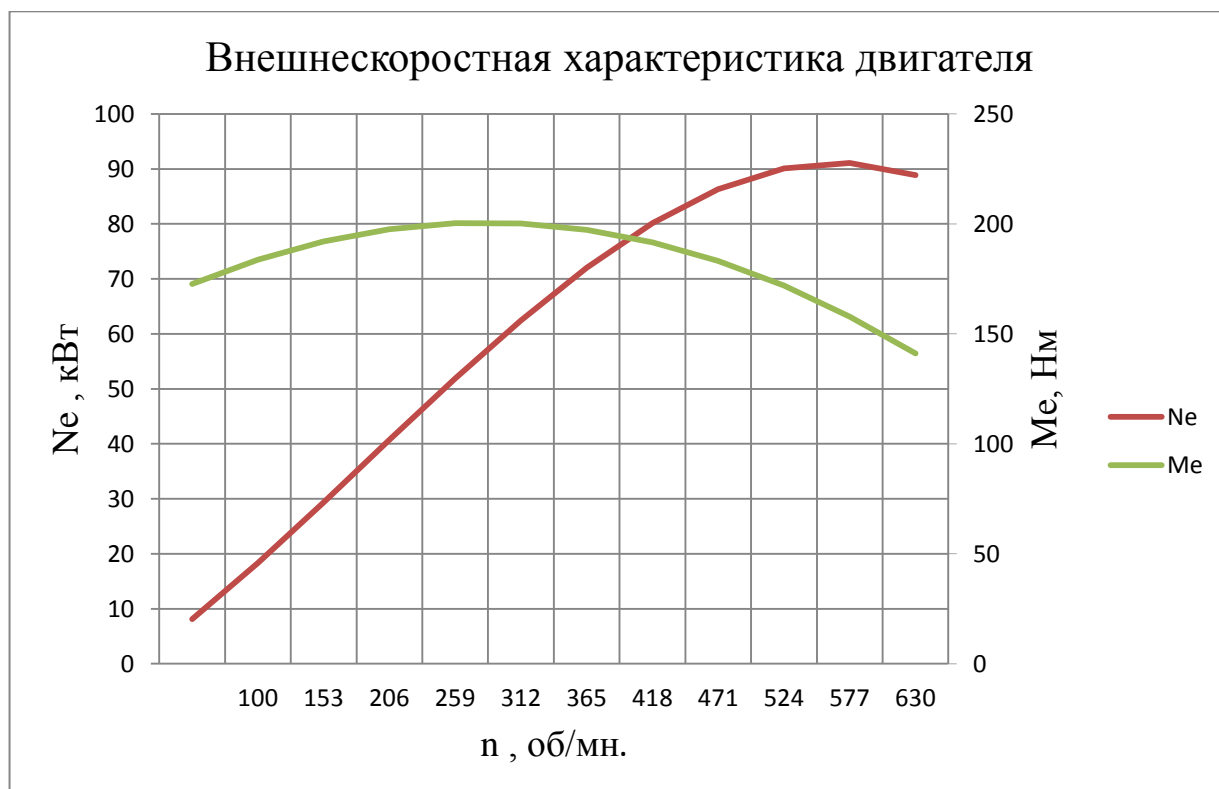


Рисунок 9 – Внешнескоростная характеристика двигателя

### 3.4 Нахождение передаточных чисел коробки передач и раздаточной коробки

«Передаточное число  $U_0$  определяется исходя из  $V_{max}$  автомобиля.

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \times \frac{\omega_{max}}{V_{max}}, \quad (27)$$

где  $U_0$  – передаточное число главной передачи;

$\omega_{max}$  – угловая скорость коленвала максимальная.

$U_k$  – такое передаточное число высшей передачи, при которой обеспечивается максимально возможная скорость автомобиля». [11]

$$U_0 = \frac{0,28}{0,78} \times \frac{630}{51.39} = 4.34 \quad (28)$$

«Для обеспечения возможности движения автомобиля при заданном максимальном дорожном сопротивлении тяговая на ведущих колесах  $P_T$  должна быть больше силы сопротивления дороги  $P_d$ » [6], т.е.

$$U1 \geq \frac{G_a \times \psi_{max} \times r_k}{M_{max} \times \eta_{mp} \times U_0}, \quad (29)$$

где  $M_{max}$  – максимальный эффективный момент двигателя, Нм;

$\psi_{max} = a_{max} + f_0 = 0.32 + 0.014 = 0.334$  – максимальный коэффициент сопротивления дороги.

$$U1 \geq \frac{14842.5 \times 0.334 \times 0.28}{200 \times 0.92 \times 4.34} \geq 1.71$$

Для недопущения буксования колес тяговая сила на первой передаче не должна быть больше силы сцепления колес с поверхностью:

$$U1 \leq \frac{G_{сц} \times \varphi \times r_k}{M_{max} \times \eta_{mp} \times U_0}, \quad (30)$$

где  $G_{сц} = m1 * G = 0.9 * 1513 = 13358 \text{ Н}$  – вес автомобиля (сцепной).

$$U1 \leq \frac{13358 \times 0.8 \times 0.28}{200 \times 0.92 \times 4.34} \leq 4.15$$

Для автомобилей с приводом на передние и задние колеса сцепной вес автомобиля можно определить по формуле:

$$G_{сц} = m1G1, \text{ или } G_{сц} = m2G2, \quad (31)$$

где  $G1$  и  $G2$  – вес, на передней оси автомобиля и задней соответственно;



$m_1$  и  $m_2$  – соответственно коэффициент перераспределения нагрузки на передние и задние колеса.

В расчете можно принять  $m_1=0,8\dots0,9$ ;  $m_2=1,05\dots1,12$ ;  $\varphi=0,8$  (сухое асфальтированное покрытие).

Задаем  $U_1 = 3.71$  и определим передаточные числа остальных передач:

$$U_2 = 1.954$$

$$U_3 = 1.363$$

$$U_3 = 0.942$$

$$U_5 = 0.781$$

$$U_{zx} = 1.3 * U_1 = 1.3 * 3.4 = 4.823$$

Рассчитаем скорость автомобиля на разных передачах:

$$V = \frac{r_k \times \omega_g}{U_0 \times U_k}, \quad (32)$$

Заносим данные в таблицу 8.

Таблица 8 – Скорость автомобиля на разных передачах

n, об/мин	Скорость на выбранной передаче, м/с				
	1	2	3	4	5
955	1,71	3,3	4,58	6,86	8,16
1461	2,62	5,05	7,01	10,5	12,48
1967	3,53	6,8	9,44	14,13	16,8
2473	4,44	8,56	11,87	17,77	21,13
2979	5,35	10,31	14,3	21,4	25,45
3486	6,26	12,06	16,73	25,04	29,77

Продолжение таблицы 8

n, об/мин	Скорость на выбранной передаче, м/с				
	1	2	3	4	5
3992	7,17	13,81	19,16	28,67	34,1
4498	8,08	15,56	21,59	32,31	38,42
5004	8,99	17,31	24,02	35,95	42,74
5510	9,9	19,06	26,45	39,58	47,07
6016	10,8	20,81	28,88	43,22	51,39

По результатам таблицы 8 выведен график (рисунок 10).

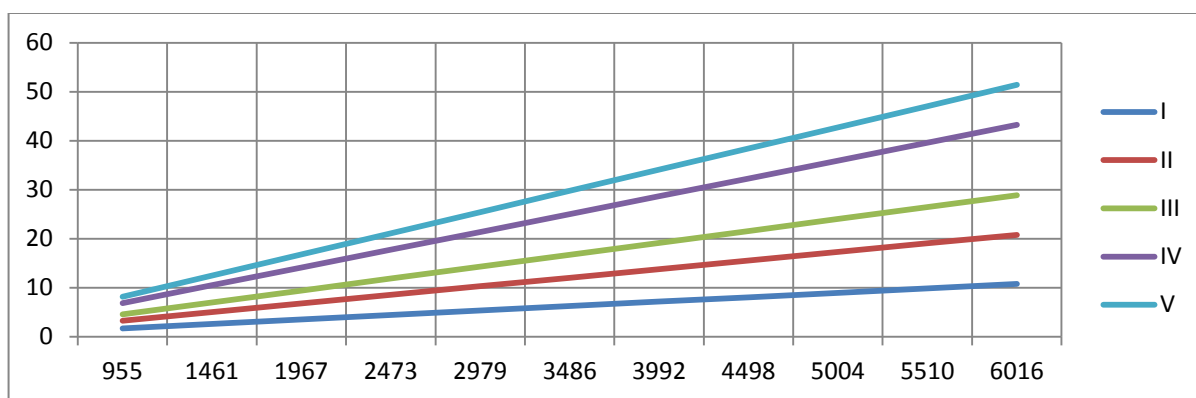


Рисунок 10 – Скорость автомобиля на разных передачах

### 3.5 Тяговый баланс автомобиля

К данному этапу расчета основные параметры автомобиля уже определены, а перед разработчиков становится задача получить наглядные графики характеристик проектируемого автомобиля, овладеть методами их анализа и проверить правильность рассчитанных параметров автомобиля. Из уравнения движения автомобиля, связывающего все силы, действующие на автомобиль во время, легко получить силового баланс (уравнение):

$$P_T = P_D + P_B + P_{\Sigma}, \quad (33)$$

где  $P_T$  – сила тяги колес;

$P_D$  – сила сопротивления дорожного;

$P_B$  – сила сопротивления воздуха;

$P_\Sigma$  – сила сопротивления автомобиля при разгоне.

На разных передачах силу тяги рассчитываются по формуле:

$$P_T = \frac{U_k \times U_0 \times M_e \times \eta_{тр}}{r_k}, \quad (34)$$

где  $U_k$  - передаточное число коробки передач;

$M_e$  – величина эффективного момента двигателя (Нм).

$$V = \frac{r_k \times \omega_B}{U_0 \times U_k}$$

При движении автомобиль приобретает силу сопротивления воздуха, которую определяют по формуле:

$$P_B = \frac{1}{2} \times C_x \times \rho \times F \times V^2 \quad (35)$$

Сопротивления качению(сила):

$$P_\partial = G_a \times \psi, \text{ где } \psi = f \quad (36)$$

Суммарная силы:

$$P_\Sigma = P_B + P_D \quad (37)$$

Таблица 9 – Тяговая сила на ведущих колесах

n, об/мин	Тяговая сила на ведущих колесах на передаче, Н					Сила сопротивления на 5 передаче, Н		
	1	2	3	4	5	$P_B$	$P_D$	$P_\Sigma$
955	9857,023	5117,511	3687,358	2464,26	1906,62	27,93	184,04	211,97
1461	10302,48	5348,782	3853,997	2575,62	1992,79	65,34	191,98	257,32
1967	10598,04	5502,228	3964,561	2649,51	2049,86	118,4	203,25	321,65
2473	10743,7	5577,849	4019,049	2685,92	2078,06	187,3	217,87	405,17
2979	10739,45	5575,647	4017,462	2684,86	2077,27	271,71	235,79	507,5
3479	10585,31	5495,62	3959,8	2646,33	2047,49	371,79	257,04	628,83

Продолжение таблицы 9

n, об/мин	Тяговая сила на ведущих колесах на передаче, Н					Сила сопротивления на 5 передаче, Н		
	1	2	3	4	5	$P_B$	$P_D$	$P_{\Sigma}$
3996	10281,27	5337,769	3846,062	2570,32	1988,62	487,8	281,66	769,46
4498	9827,325	5102,093	3676,249	2456,83	1900,87	619,23	309,56	928,79
5004	9223,482	4788,593	3450,36	2305,87	1784,03	766,31	340,79	1107,1
5510	8469,738	4397,269	3168,397	2117,43	1638,2	929,44	375,42	1304,86
6016	7566,094	3928,12	2830,358	1891,52	1463,49	1107,88	413,3	1521,18

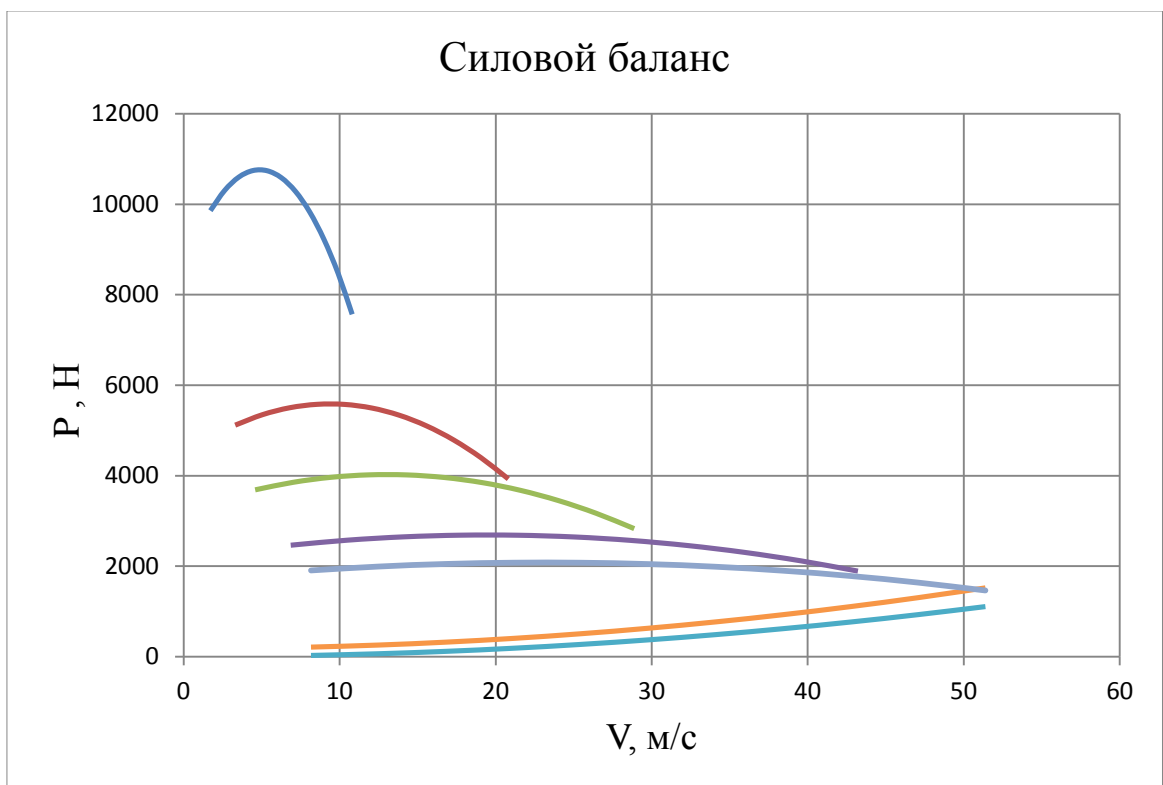


Рисунок 11 – Силовой баланс

Таблица 10 – Силовой баланс

I		II		III		IV		V	
V, м/с	P <sub>B</sub>	V, м/с	P <sub>B</sub>	V, м/с	P <sub>B</sub>	V, м/с	P <sub>B</sub>	V, м/с	P <sub>B</sub>
1,71	1,23	3,3	4,57	4,58	8,8	6,86	19,74	8,16	27,93
2,62	2,88	5,05	10,7	7,01	20,61	10,5	46,25	12,48	65,34
3,53	5,23	6,8	19,4	9,44	37,38	14,13	83,76	16,8	118,4
4,44	8,27	8,56	30,74	11,87	59,11	17,77	132,47	21,13	187,3
5,35	12,01	10,31	44,59	14,3	85,78	21,4	192,12	25,45	271,71
6,26	16,44	12,06	61,01	16,73	117,42	25,04	263,03	29,77	371,79
7,17	21,57	13,81	80,01	19,16	154	28,67	344,82	34,1	487,8
8,08	27,39	15,56	101,57	21,59	195,54	32,31	437,93	38,42	619,23
8,99	33,9	17,31	125,7	24,02	242,04	35,95	542,17	42,74	766,31
9,9	41,12	19,06	152,4	26,45	293,49	39,58	657,18	47,07	929,44
10,8	48,93	20,81	181,67	28,88	349,89	43,22	783,62	51,39	1107,88

### 3.6 Динамические характеристики автомобиля

«D – динамический фактор, находится как отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу авто:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a} \quad (38)$$

Данные и формула силового баланса помогают рассчитать и построить характеристику автомобиля динамическую, которая является графическим изображением зависимости D от скорости движения при различных передачах и при максимальной загруженности автомобиля». [11]

Таблица 11 – Динамические характеристики

n, об/мин	D на передаче					Коэффициент сопротивления $f$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
955	0,664	0,3445	0,2478	0,1647	0,1266	0,033	0,033	0,033	0,033	0,034
1461	0,6939	0,3596	0,2583	0,1704	0,1299	0,033	0,033	0,033	0,034	0,035
1967	0,7137	0,3694	0,2646	0,1729	0,1301	0,033	0,033	0,034	0,036	0,037
2473	0,7233	0,3737	0,2668	0,172	0,1274	0,033	0,034	0,035	0,038	0,04
2979	0,7228	0,3726	0,2649	0,1679	0,1216	0,033	0,034	0,036	0,04	0,043
3486	0,7121	0,3662	0,2589	0,1606	0,1129	0,033	0,035	0,037	0,043	0,047
3992	0,6912	0,3542	0,2487	0,1499	0,1011	0,033	0,036	0,038	0,046	0,051
4498	0,6603	0,3369	0,2345	0,136	0,0863	0,034	0,036	0,04	0,049	0,056
5004	0,6191	0,3142	0,2162	0,1188	0,0686	0,034	0,037	0,042	0,053	0,062
5510	0,5679	0,286	0,1937	0,0984	0,0478	0,034	0,038	0,044	0,058	0,068
6016	0,5065	0,2524	0,1671	0,0746	0	0,034	0,04	0,046	0,063	0,075

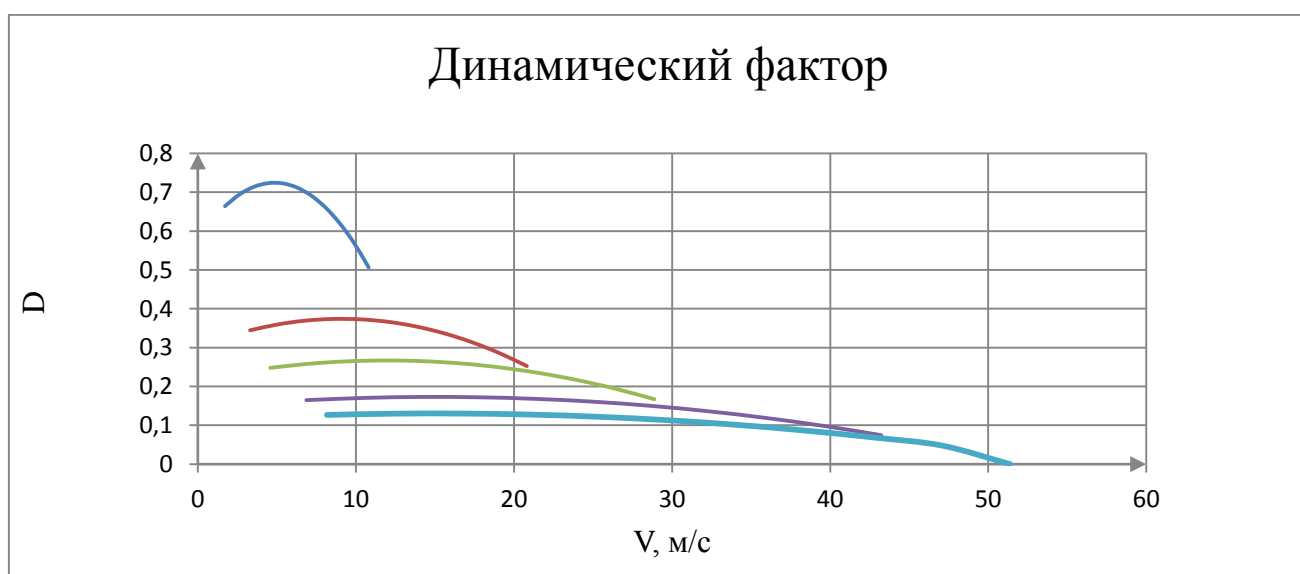


Рисунок 12 – Динамический фактор

### 3.7 Разгон автомобиля

«Ускорение во время разгона определяют для случая движения автомобиля по горизонтальной дороге с твердым покрытием хорошего

качества при максимальном использовании мощности двигателя и отсутствия буксования ведущих колес». [11] Ускорение находят:

$$J = \frac{(D-f) \times g}{\delta_{вр}}, \quad (39)$$

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{(I_M \times \eta_{mp} \times U_{mp} + I_k) \times g}{G_a \times r_k^2}, \quad (40)$$

где  $I_M$  – момент инерции вращающихся деталей двигателя;

$U_{mp} = U_0 * U_k$  – трансмиссионное передаточное число;

$I_k$  – суммарный момент инерции ведущих колес.

Если точное значение  $I_M$  и  $I_k$  неизвестно то,  $\sigma_{вр}$  определяют по формуле:

$$\delta_{вр} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 * U_{2к}); \quad (40)$$

где  $U_k$  – передаточное число коробки передач на данной передаче

$\delta_1$  – коэффициент учета вращающихся масс колес

$\delta_2$  – коэффициент учета вращающихся масс двигателя:

$$\delta_1 = \delta_2 = 0.03 - 0.05$$

Данные расчетов коэффициентов учета вращающихся масс на всех передачах:

1 передача  $\delta_{вр} = 1.741$

2 передача  $\delta_{вр} = 1.241$

3 передача  $\delta_{вр} = 1.141$

4 передача  $\delta_{вр} = 1.0931$

5 передача -  $\delta_{вр} = 1.081$

Таблица 13 – Ускорение автомобиля

n, об/ми н	Ускорение на передачи $m/c^2$ :					Величина, обратная ускорению на передаче, $c^2/m$ :				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
955	3,564	2,477	1,843	1,187	0,855	0,281	0,404	0,543	0,842	1,17
1461	3,733	2,597	1,932	1,238	0,884	0,268	0,385	0,518	0,808	1,131
1967	3,845	2,675	1,986	1,26	0,886	0,26	0,374	0,504	0,794	1,129
2473	3,899	2,709	2,005	1,252	0,862	0,256	0,369	0,499	0,799	1,16
2979	3,896	2,701	1,989	1,215	0,809	0,257	0,37	0,503	0,823	1,236
3486	3,836	2,65	1,938	1,15	0,73	0,261	0,377	0,516	0,87	1,37
3992	3,718	2,554	1,85	1,054	0,623	0,269	0,392	0,541	0,949	1,605
4498	3,543	2,417	1,729	0,929	0,489	0,282	0,414	0,578	1,076	2,045
5004	3,311	2,237	1,572	0,775	0,328	0,302	0,447	0,636	1,29	3,049
5510	3,022	2,013	1,38	0,592	0,139	0,331	0,497	0,725	1,689	5,3
6016	2,675	1,746	1,152	0,378	-0,295	0,374	0,573	0,868	2,646	-3,39

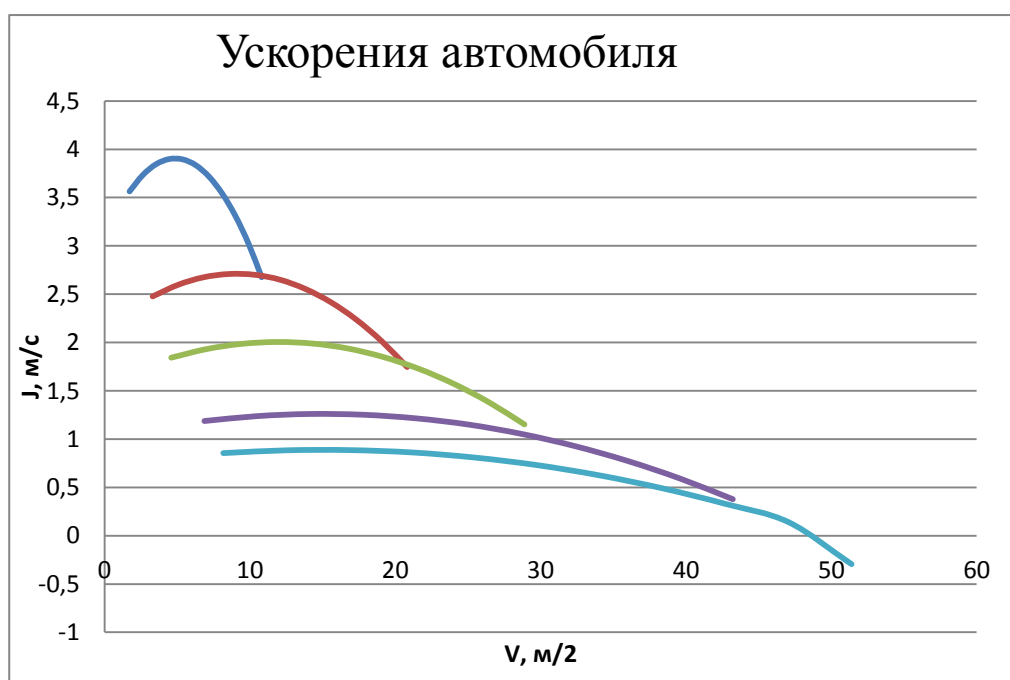


Рисунок 13 – Ускорение автомобиля



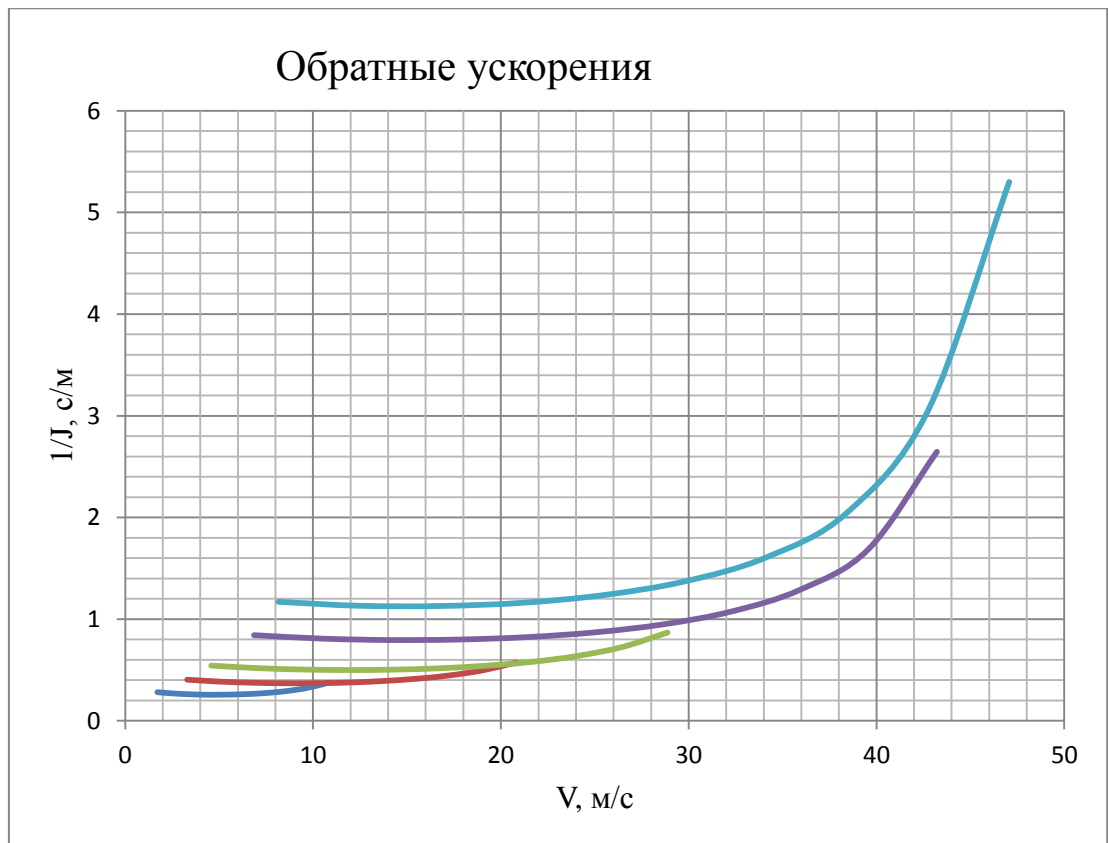


Рисунок 14 – Обратное ускорение

Графоаналитическим способом определяется время и путь разгона.

$$\Delta t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{1}{j} \times dV \approx \left( \frac{1}{j_{cp}} \right)_2 \times (V_2 - V_1) \quad (41)$$

Результаты расчетов приведены в таблицу 15 и сведены в графики (рисунки 15, 16, 17).

Таблица 15 – Время разгон автомобиля

V	t	1/J	$\Delta S$	S
0	0	0	0	0
1,4	1,472	0,32	1,0304	1,0304
6	3,122	0,33	6,105	7,1354
11	5,122	0,4	17	23,105
16	7,672	0,51	34,425	51,425
21	9,792	0,53	39,22	73,645
25	13,092	0,66	75,9	115,12
30	18,542	1,09	149,875	225,775

Продолжение таблицы 15

V	t	1/J	$\Delta S$	S
35	25,042	1,3	211,25	361,125
40	33,442	2,1	315	526,25
44	43,442	2,5	420	735
48	55,642	3,05	561,2	981,2
52	67,842	6,1	610	1171,2

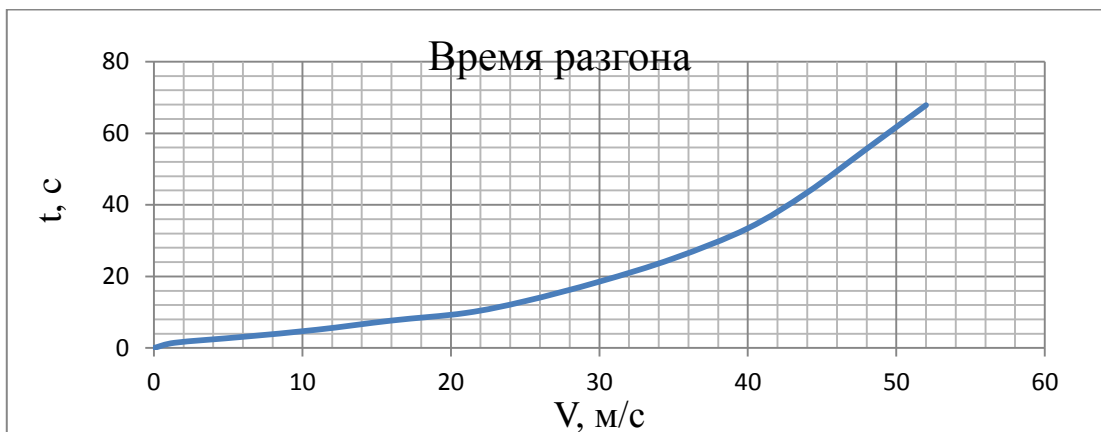


Рисунок 15 – Время разгона

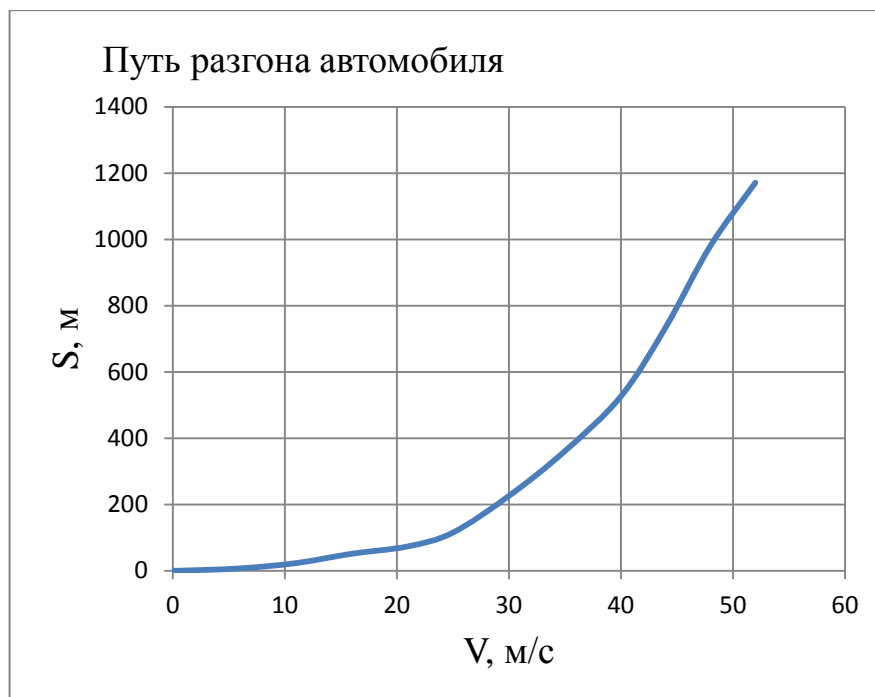


Рисунок 16 – Путь разгона автомобиля

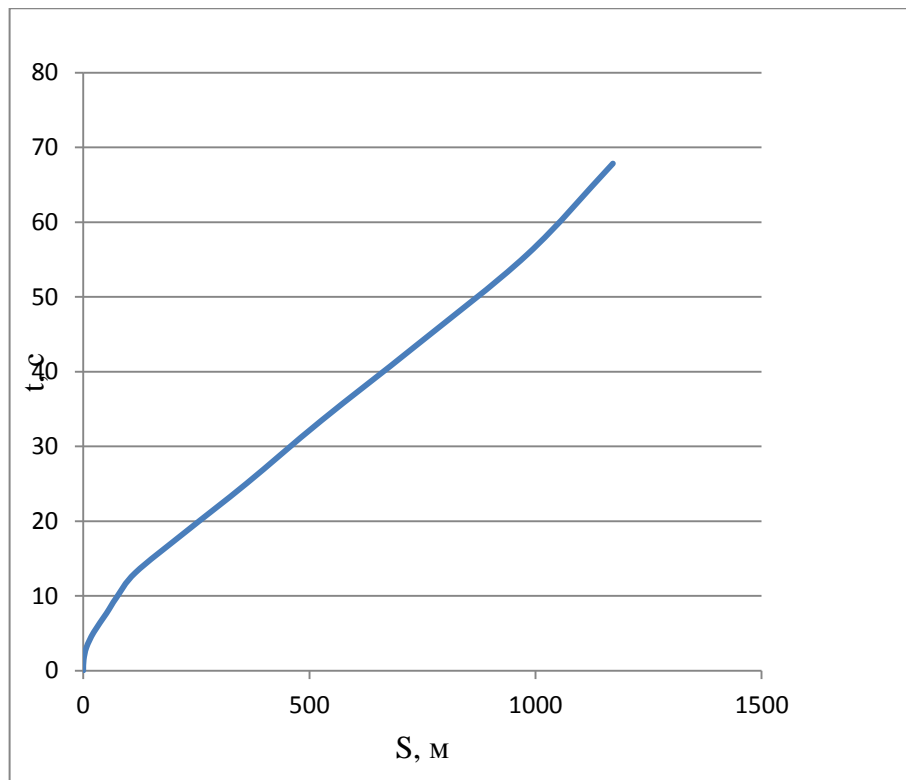


Рисунок 17 – Время пути втомобилѣ

### 3.8 Мощностной баланс автомобиля

$$NT = Ne - N_{mp} = Nf + Nn + Nv + Nu, \quad (42)$$

где  $Nm = Ne * \eta_{mp}$  – тяговая мощность, или мощность, подаваемая к ведущим колесам;

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

$Nf = Pn * V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления качению колес;

$Nn = Pn * V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления подъему;

$Nv = Pv * V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления воздуха;

$Nu = Pu * V$  – мощность, затраченная на преодоление силы инерции автомобиля;

$N_{\partial} = P_{\partial} * V = N_f + N_n$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления дороги.

Результаты расчетов сводим в таблицу 16 и графики (рисунки 18 и 19).

Таблица 16 – Мощностной баланс автомобиля

Наименование	V max	8,161	12,483	16,8	21,13	25,45	29,77	34,1	38,42	42,74	47,07	51,39
	Ne	18,371	29,381	40,7	51,87	62,46	72,02	80,11	86,28	90,09	91,1	88,86
	Nt	16,91	27,031	37,44	47,72	57,46	66,26	73,7	79,38	82,88	83,81	81,75
	Nв	0,222	0,811	1,98	3,95	6,91	11,06	16,63	23,79	32,75	43,7	56,93
	Nд	1,502	2,391	3,41	4,6	6	7,65	9,6	11,89	14,56	17,6	21,23
	Nв+Nд	1,723	3,211	5,40	8,56	12,91	18,72	26,23	35,68	47,31	61,4	78,17
	$\frac{(N_{в+N_{д}})}{N_t}$	0,11	0,111	0,14	0,17	0,22	0,28	0,35	0,44	0,57	0,73	0,95

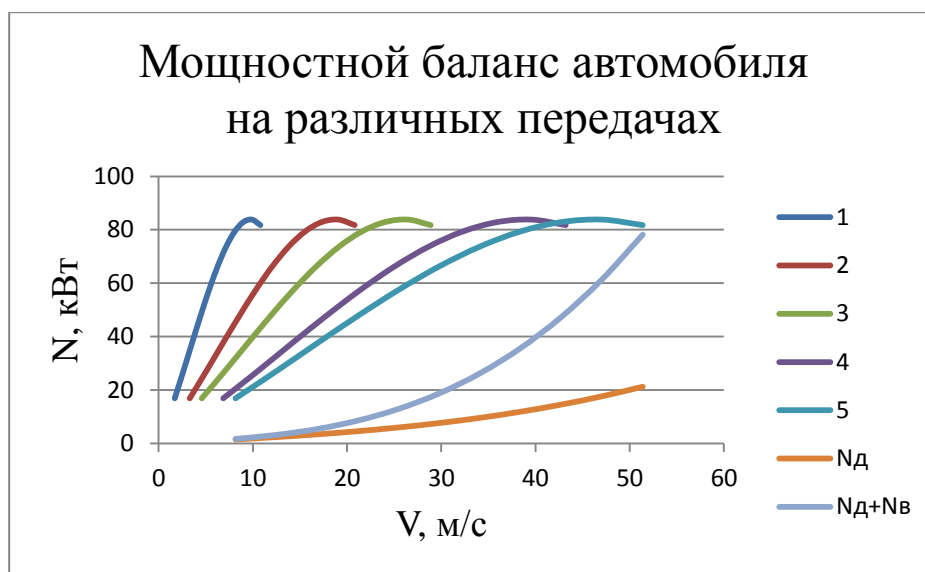


Рисунок 18 – Мощностной баланс автомобиля на разных передачах

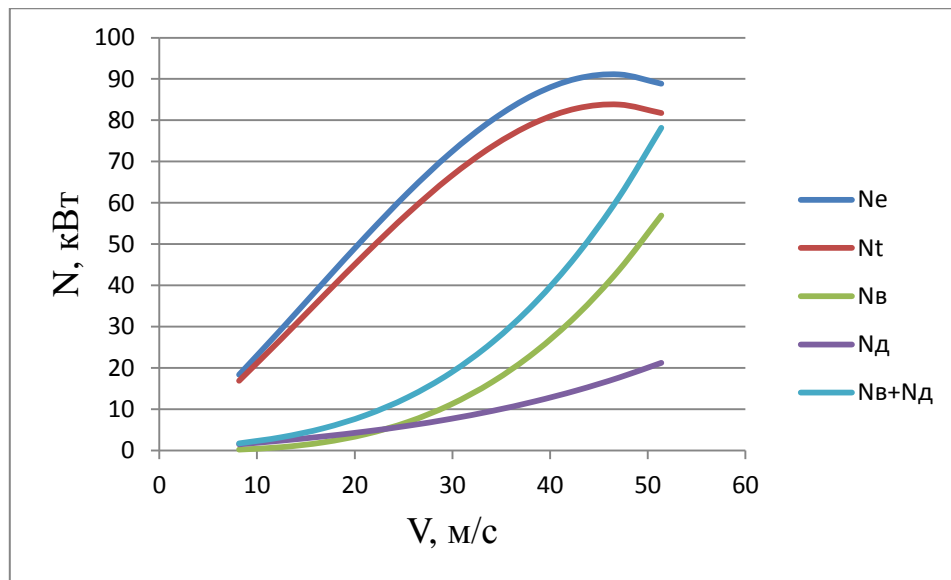


Рисунок 19 – Мощностной баланс автомобиля

### 3.9 Топливоно-экономическая характеристика автомобиля

«Для расчета этого раздела, нужно рассчитать предварительно какой расход топлива автомобиля будет при прямолинейном движении на высшей передаче с постоянной скоростью от минимальной до максимальной.

Путевой расход топлива:

$$q_n = \frac{k_{ск} \times k_u \times (P_d + P_e) \times g_{e \min} \times 1.1}{36000 \times \rho_\tau \times \eta_{mp}}, \quad (43)$$

где  $k_{ск}$  – коэффициент, учитывающие соответственно изменения эффективного расхода топлива в зависимости от  $\omega_e$ ;

$k_u$  – коэффициент, учитывающие соответственно изменения эффективного расхода топлива в зависимости от N двигателя;

$g_{e \min} = 340$  г/кВт\*ч – удельный эффективный расход топлива;

$\rho_\tau = 0.73$  кг/л – плотность топлива.» [11]

Расчитанные данные сводим в таблицу 17 и строим график (рисунок 20).

Таблица 17 – Топливо-экономическая эффективность автомобиля

V	16,8	21,13	25,45	29,77	34,1	38,42	42,74
$k_H$	1,35	1,3	1,2	1,12	1	0,98	0,8
I	0,14433	0,179406	0,22478	0,28253	0,35602	0,449535	0,570915
$k_{CK}$	1,1	0,95	0,88	0,8	0,79	0,8	0,9
$\omega_e/\omega_N$	0,362676	0,455986	0,549296	0,64261	0,73592	0,829225	0,922535
$g_n$	7,388707	7,740387	8,290073	8,71565	9,40311	11,26398	12,33042

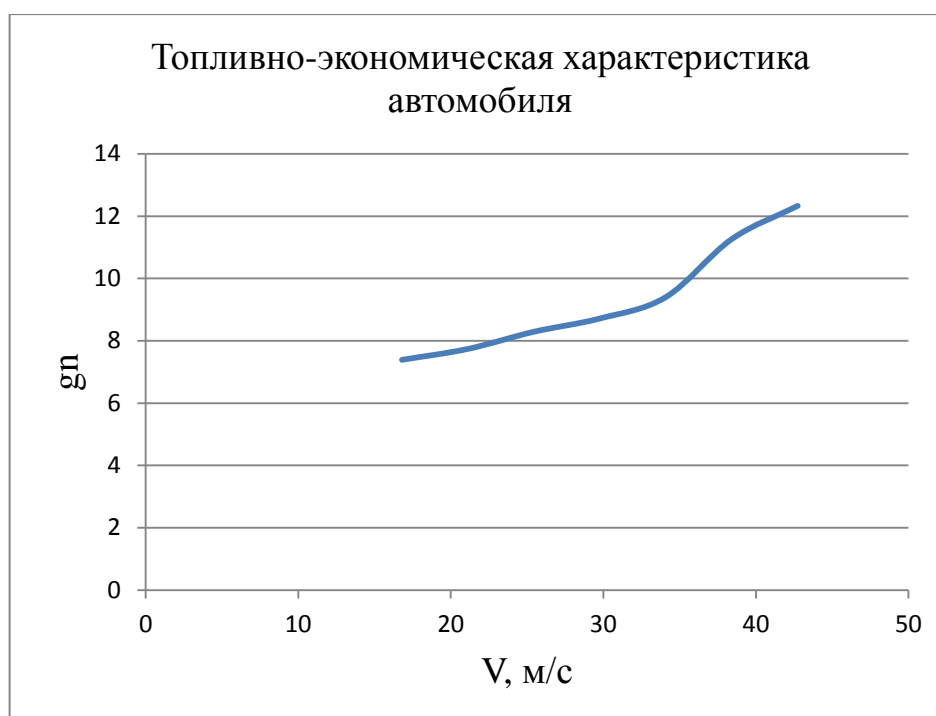


Рисунок 20 – Топливо-экономическая характеристика автомобиля

Выводы: мы получили значения, которые помогли нам рассчитать скорость, время и путь разгона легкового автомобиля. Узнали его скоростные характеристики, а также получили графики и схемы его характеристик.

## 4. Анализ экономической эффективности проекта

### 4.1 Сбор данных

Составление плана НИиОКР «Модернизация стенда для определения коэффициента аэродинамического сопротивления модели автомобиля».

«Предполагаемые в процессе исследования работы разбиваются на укрупненные стадии – этапы» [5] и сводятся в таблицу 18.

Таблица 18 – Перечень стадий и этапов выполнения НИиОКР

Наименование работ	Трудоемкость, дн.		Должность исполнителя	Кол-во исполнителей	Применяемое оборудование	
	Tmin	Tmax				
1. Маркетинговые исследования						
1.1	Сбор информации и анализ рынка	2	3	Инженер III	1	Компьютер
1.2	Оценка эффективности использования результатов прогноза	1	2	Инженер III	1	Компьютер
2. Патентные исследования						
2.1	Проведение патентного поиска и проверка патентной чистоты	3	5	Инженер III	1	Компьютер
2.2	Анализ и выбор технического решения	1	2	Инженер III	1	Компьютер
3. Конструкторская подготовка						
3.1	Разработка методики проведения испытания	4	5	Инженер III, Ведущий инженер	2	Компьютер
3.2	Исследование влияния аэродинамического коэффициента	2	4	Инженер III	1	Усилитель, самописец, стенд

Продолжение таблицы 18

Наименование работ		Трудоемкость, дн.		Должность исполнителя	Кол-во исполнителей	Применяемое оборудование
3.3	Обработка результатов исследования и построение графиков и таблиц	3	4	Инженер III	1	Компьютер
4. Оформление результатов НИиОКР						
4.1	Расчет экономической эффективности от проведения испытаний	3	4	Инженер III	1	Компьютер
4.2	Непредвиденные работы	1	2	Инженер III	1	

Определяем ожидаемую трудоемкость выполнения каждой работы и каждого этапа по следующей формуле:

$$t_{ож.і} = (3t_{min} + 2t_{max})/5 \quad (44)$$

где « $t_{min}$ » -оптимистическая оценка трудоемкости выполнения работы в чел./дн.,

$t_{max}$  -пессимистическая оценка трудоемкости выполнения работы в чел./дн.

«Зная ожидаемую трудоемкость по этапам и численность исполнителей, необходимо определить длительность каждого этапа, суммарную длительность НИиОКР, удельный вес каждого этапа и нарастание технической готовности по этапам по следующим формулам:

Длительность работы или этапа определяем:



$$T_{\text{эmi}} = t_{\text{ожi}}/P_i \quad (45)$$

где  $P_i$  - численность исполнителей, чел». [5]

Суммарная длительность НИиОКР:

$$T_{\Sigma} = \sum T_{\text{эmi}} \quad (46)$$

«Удельный вес каждого этапа определяется в %, принимая  $T_{\Sigma}$  за 100» [17] %, т.е.

$$U_{\text{дэmi}} = T_{\text{эmi}}/T_{\Sigma} * 100\% \quad (47)$$

Результаты расчётов длительности выполнения работ сведём в таблицу 19.

Таблица 19 – Результаты расчёта длительности выполнения НИиОКР.

№ Этапа	Численность исполнителей			Тож	Т□	Удэги	□%
	Ведущий инженер	Инженер III	Всего				
1.1	-	1	1	2,4	22,2	10,8108	10,8108
1.2	-	1	1	1,4		6,3063	17,1171
2.1	-	1	1	3,8		17,1171	34,2342
2.2	-	1	1	1,4		6,3063	40,5405
3.1	1	1	2	4,4		9,9099	50,4504
3.2	-	1	1	2,8		12,6126	63,063
3.3	-	1	1	3,4		15,3153	78,3783
4.1	-	1	1	3,4		15,3153	93,6936
«4.2	-	1	1	1,4		6,3063	100,0000

«После определения продолжительности выполнения каждого этапа строится линейный график процесса проектирования и разработки новой

математической модели, определяется графическим путем общая продолжительность выполнения работ» [7]. График выполнения НИиОКР представлен на рисунке 21.

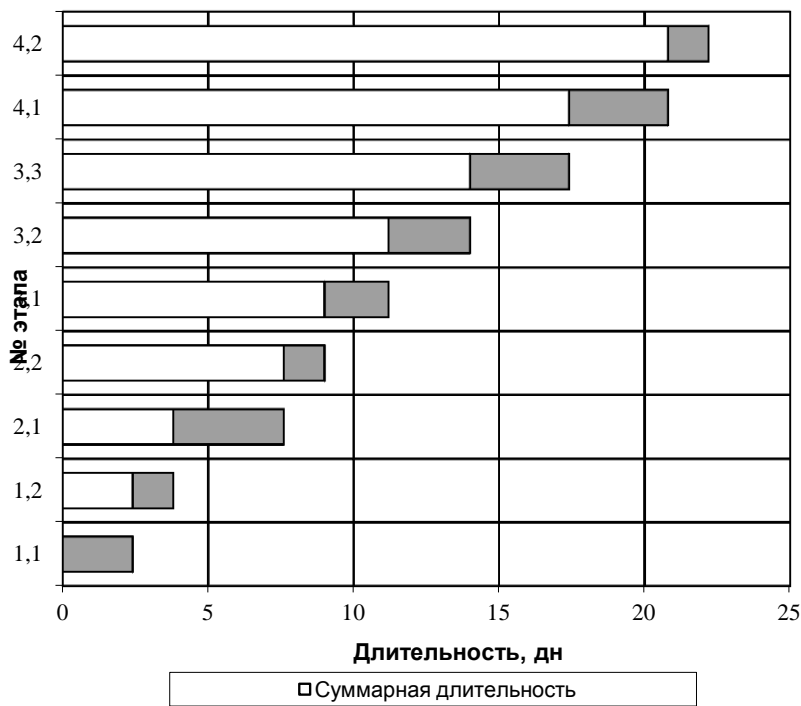


Рисунок 21 – График выполнения НИиОКР

Затем составляем таблицу 20, используя линейный график выполнения НИиОКР и исходные данные.

Таблица 20 – Табелирование работ НИиОКР

№ этапа	Исполнители	
	Ведущий инженер	Инженер III
1.1	-	2,4
1.2	-	1,4
2.1	-	3,8
2.2	-	1,4
3.1	2,2	2,2
3.2	-	2,8
3.3	-	3,4
4.1	-	3,4
4.2	-	1,4
Всего:	2,2	22,2

## 4.2 Расчёт сметы затрат на НИиОКР

«Сметы затрат составляются для сравнения базовой и проектной технологии внедрения образца новой техники в производство» [19] «и для расчета себестоимости изготовления новой техники, определения цены» [19].

Исходные данные для расчёта затрат на создание и разработку математической модели сведены в таблицу 21.

Таблица 21 – Исходные данные для расчёта затрат на создание и разработку математической модели

Наименование показателей	Единицы изм.	Абсолютная величина
1	2	3
Коэффициент накладных расходов, К <sub>накл.</sub>	%	25
Взносы в страховые фонды, в том числе:	%	30
Стоимость 1 кВт электроэнергии, С <sub>эл.</sub>	руб.	4.32
Годовая норма амортизационных отчислений, Нам.	%	20
Режим работы предприятия:	-	-
Продолжительность рабочего дня, q	час.	8
Количество экспериментов, n	Шт	72
Количество выходных дней в году, В	дни	104
Количество праздничных дней в году, П	дни	12
Количество нерабочих часов в предпраздничные дни, Н <sub>пр.</sub>	час	5

«Расчет эффективного годового фонда рабочего времени:

$$F_{эф} = (365 - П - В)q - Н_{пр} , \quad (48)$$

где П - праздничные дни;

$B$  - выходные дни;

$q$  - количество часов в смену;

$H_{np}$  - количество нерабочих часов в предпраздничные дни» [20].

$$F_{эф} = (365 - 12 - 104) * 8 - 5 = 1987 \text{ ч}$$

«Расчет среднего количества рабочих дней в месяц (округляется до ближайшего большего целого числа):

$$D = F_{эф} / 12q, \quad (49)$$

$$D = 1907 / 12 * 8 = 19,86 \text{ дней.}$$

Расчет времени работы  $i^{\text{ого}}$  исполнителя:

$$K_{исп.i} = Fi / D, \text{ мес.}, \quad (50)$$

где  $Fi$  – количество отработанных дней  $i$ -м исполнителем (берется из табеля учета рабочего времени).

$$\text{Инженер III: } K_{исп} = 22,2 / 20 = 1,11 \text{ мес}$$

$$\text{Вед.инженер: } K_{исп} = 2,2 / 20 = 0,11 \text{ мес} \text{» [20].}$$

«Расчет заработной платы исполнителей с должностными окладами:

$$Z_{итр.} = K_{исп.i} \cdot \text{Окл.} \cdot N, \quad (51)$$

где  $K_{исп.i}$  – время работы  $i$ -го исполнителя, мес.

$\text{Окл.}$  – должностной оклад  $i$ -го исполнителя, руб.

$N$  – количество исполнителей, чел.

Расчет заработной платы исполнителей с должностными окладами сведен в таблицу 2» [17].

Таблица 22 – Заработная плата исполнителей

Должность исполнителя	Кол-во исполнителей, чел.	Среднемесячный оклад, руб.	Время работы, месяцы	Заработная плата, руб.
1. Ведущий инженер	1	48000	0,11	5280
2. Инженер III	1	34000	1,11	37740
Итого				42820

Расчет заработной платы всех исполнителей:

$$Z_{исп.} = Z_{имп.} = 29200 \text{ руб.} \quad (52)$$

«Расчет отчислений на страховые взносы в фонды:

$$C_{соц.} = Z_{исп.} \cdot K_{соц.}/100 = 34000 \cdot 30/100 = 10200 \text{ руб.}, \quad (53)$$

где  $K_{соц.}$  - коэффициент отчислений в страховые фонды, %.

Расчет затрат на электроэнергию:

$$C_{эл.} = N_y \cdot K_{исп.} \cdot K_{загр.} \cdot D_i \cdot q \cdot \Pi_{эл. \cdot \text{э.}}, \quad (54)$$

где  $N_y$  - мощность оборудования;

$K_{исп.}$  - коэффициент использования;

$K_{загр.}$  - коэффициент загрузки;

$D_i$  - время работы  $i^{\text{ого}}$  оборудования (определяется из ленточного графика).

Расчёт затрат на электроэнергию сведён в таблицу 23» [17].

Таблица 23 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	$N_y$ , кВт	$K_{заг}$	$K_{исп.}$	$D$ , дни	$C_{эл.}, руб.$	$C_{эл}, руб.$
1. Компьютер	0,4	0,91	0,8	18	4,32	126,64
2. Усилитель	0,25		0,3	2,8		4,62
3. Самописец	0,2		0,3	2,8		3,69
Итого:						134,95

Расчет амортизационных отчислений.

«Затраты на амортизацию определяются только в том случае, если оборудование используется в дальнейшем для других НИиОКР. Если же приобретенное или изготовленное оборудование используется только для данной НИиОКР, то их полная стоимость относится к капитальным затратам и целиком «включается в затраты на НИиОКР».

$$\sum C_{ам} = \frac{C_{об.} \cdot N_{ам.} \cdot \sum t_{м.}}{F_{обор.} \cdot 100}, \text{ руб.} \quad (55)$$

где  $F_{обор.}$  – годовое эффективное время работы оборудования» [17],  
равное:

$$F_{обор.} = (365 - П - В) \cdot q \cdot n \cdot K_{загр}, \quad (56)$$

$$F_{обор.} = (365 - 12 - 104) \cdot 8 \cdot 0,91 = 1812,72$$

$N_{ам}$  – норма амортизационных отчислений;

$K_{загр.}$  – коэффициент загрузки  $i$ -го оборудования;

$t_{м}$  – общее время работы оборудования, равное.

$$t_{м} = D_{обор.i} \cdot q \cdot n \cdot K_{исп.}, \quad (57)$$

где  $D_{обор.i}$  – время работы  $i$ -го оборудования;

$n$  – количество экспериментов;

$K_{исп.}$  – коэффициент использования  $i$ -го оборудования;

$C_{об}$  - первоначальная стоимость оборудования.

Компьютер:  $t_m = 18 \cdot 8 \cdot 0,8 = 115,2$  час.

Усилитель:  $t_m = 2,8 \cdot 8 \cdot 0,3 = 6,72$  час.

Самописец:  $t_m = 2,8 \cdot 8 \cdot 0,3 = 6,72$  час.

Расчёт затрат на амортизацию сведен в таблицу 24.

Таблица 24 – Затраты на амортизацию

Наименование оборудования	$C_{об}$ , Руб.	$K_{загр.}$	$K_{исп.}$	$N_{ам}$	$\Sigma t_m$ , час	Фобор., Час.	$C_{ам}$ , Руб.
1. Компьютер	30000	0,91	0,8	20	115,2	1812,72	381,31
2. Усилитель	10000		0,3	20	6,72		7,41
3. Самописец	7500		0,3	20	6,72		5,56
Итого:							394,28

«Расчет накладных расходов:

$$C_{накл.} = Z_{исп.} \cdot K_{накл.} / 100 = 8095 \cdot 30 / 100 = 2428,5, \text{ руб.}, \quad (58)$$

где  $K_{накл.} = 30$  - коэффициент накладных расходов, %

$Z_{исп.}$  - заработная плата исполнителей.

Расчёт затрат на основные материалы с учетом транспортно-заготовительных расходов» [17]:

$$M = \sum C_{M_i} \cdot V_{M_i} (1 + K_{мзр} / 100), \text{ руб.} \quad (59)$$

где  $C_{M_i}$  - оптовая цена материала  $i$ -го вида, руб.,

$V_{M_i}$  - норма расхода материала  $i$ -го вида, кг, м.

$K_{мзр}$  - коэффициент транспортно-заготовительных расходов, %

$K_{\text{вот}}$  – коэффициент возвратных отходов» [17], %.

Капитальных вложений по данной НИР не планируется.

Спредпр=Ктек

Результаты расчетов сводятся в таблицу 24.

Таблица 24 – Смета затрат на проектирование выполнение НИР

№	«Статьи	Обозначение	Сумма, руб.
-	1. Текущие затраты, Ктек.	-	-
1.	Материальные затраты, в т. ч.:	-	-
-	- сырье и материалы	М	360,5
-	- полуфабрикаты	-	-
-	- энергоносителей	Сэл	134,95
-	и т. д.	-	-
2.	Фонд оплаты труда исполнителей	Зисп	29200
3.	Страховые взносы в фонды	Ссоц	7592
4.	Амортизационные отчисления	Сам	394,28
5.	Накладные расходы	Снакл	2428,5
-	Предпроизводственные затраты, Всего Спредпр.:	-	13428,56» [6].

Вывод: была рассчитаны экономическая эффективность проекта по модернизации аэродинамического стенда. На основании анализа полученных экономических данных можно рекомендовать к внедрению нашу установку.



## 5. Безопасность и экологичность технического объекта

### 5.1 Воздействие ОВФ РС и ТП при работе со стендом

Таблица 25 – индикатор ОВФ РС и ТП

Опасные и вредные факторы, воздействующие на оператора стенда, а также травмоопасность	Источник	Принятые меры
1. Шум	Два работающих вентилятора нагнетающих воздух, 60 дБ	Не требуются
2. Электроопасность	Электрооборудование стенда (Электродвигатели, провода, блок питания)	Изоляция электрооборудования, защитное заземление
3. Механические повреждения	Движущиеся лопасти вентилятора	Инструктаж оператора и табличка предупреждающая об опасности
4. Пожаропасность	Электрооборудование	Средства пожаротушения, средства индивидуальной защиты

В таблице 25 соотнесены опасные и вредные факторы с мерами безопасности, позволяющих избежать травм.

1. При работе со стендом на оператора влияет аэродинамический шум, создаваемый в аппарате при высоких скоростях воздуха. Сильный шум негативно влияет на организм, он может проявляться в виде повреждения органа слуха, нарушениях работы органов и систем организма, снижении производительности труда, повышении уровня травм. Сниженный фокус. «Допустимые шумовые характеристики рабочих мест регламентируются ГОСТ 12.1.003-83 «Шум, общие требования безопасности» и Санитарными нормами допустимых уровней шума на рабочих местах (СН 2.2.4 / 2.1.8.562-96)». [19] Помимо требований безопасности, максимальный уровень прерывистого шума на рабочем месте не должен превышать 110 дБ. «Зоны с

уровнем звука или эквивалентным уровнем звука выше 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности по ГОСТ 12.4.026 \*. Оператор, работающий в этих условиях, должен быть оборудован средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.051». [19]

При замере работы стенда шумомером было получено значение 60 дБ, что соответствует норме акустического комфорта человека.

2. Электрический ток, проходящий через тело, оказывает на него биологическое, термическое и электролитическое действие.

«Термический эффект проявляется в ожогах, нагревании и повреждении сосудов, перегреве сердца, мозга и других органов, что вызывает в них функциональные нарушения. Электролитический эффект проявляется в разложении органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом». [19]

Биологический эффект выражается преимущественно в нарушении внутренних биоэлектрических процессов, присущих нормально функционирующему организму и тесно связанных с его жизненно важными функциями.

Виды травм: поражение электрическим током, поражение электрическим током. Безопасность электрооборудования регламентируется ГОСТ 12.2.007.0-75.

В стенде используется электрическое оборудование, которое может привести к травмам. Чтобы защитить оператора от поражения электрическим током, были приняты меры по изоляции проводов и изоляции источника питания, поместив его на диэлектрическую поверхность.

3. Наиболее частым и распространенным видом травм является механическая травма, среди которой преобладают травмы тупыми твердыми предметами. Механические повреждения — это результат взаимодействия человеческого тела и различных объектов окружающей среды при перемещении рядом друг с другом.

Высокая скорость вентиляторов стенда может привести к травмам при неправильной эксплуатации и несоблюдении правил безопасности. ГОСТ 12.4.280-2014 регулирует системы стандартов безопасности труда.

Во избежание механических травм при работе со стойкой оператор должен быть проинструктирован о мерах безопасности, а также проинформирован о последствиях несоблюдения.

4. Короткое замыкание в электрическом оборудовании может вызвать пожар и создать большую опасность. Для тушения пожара необходимо использовать средства пожаротушения. Действие средств пожаротушения на очаг пожара может быть различным: некоторые охлаждают горящее вещество, изолируют его от реакции с воздухом, удаляют концентрацию кислорода и горючих веществ. Другими словами, средства пожаротушения действуют на факторы, вызывающие процесс горения.

«Способы тушения горения.

Изоляция источника горения от воздуха или снижение концентрации кислорода негорючими газами до значения, при котором воспламенение исключено:

1. Охлаждение очага горения ниже определенных температур;
2. Интенсивное торможение скорости химической реакции в пламени;
3. Механическое удаление пламени струей газа или воды;
4. Создание условий для противопожарных преград». [19]

В нашем случае по ГОСТ 12.1.004-91 в помещении должен быть установлен углекислый огнетушитель ОУ-2 для ликвидации очага возгорания.

Вывод: в разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» выявлены риски, связанные с работой на стенде. Выявлены источники рисков, а также приняты меры по их устранению. Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности.

## Заключение

Актуальность изучение аэродинамики автомобиля не проходит уже несколько лет. С каждым годом в машиностроении инженеры пытаются сделать невозможное, что на автомобиль действовал воздушный поток так, чтобы у автомобиля было больше возможностей своей реализации.

В данном дипломном проекте была проведена модернизация стенда, позволяющая определять влияния коэффициента аэродинамического сопротивления на нагрузку на ось автомобиля. Выявлено, что при  $C_x = 0,5$  увеличение нагрузки на заднюю ось автомобиля составляет 15%, а при  $C_x = 0,6$  ось нагружается на 18 % больше, чем при статической нагрузке.

Произведены расчеты экономической эффективности автомобиля, предполагающие использование данного стенда на кафедре «Проектирование и эксплуатация автомобилей».

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта» выявлены риски, связанные с работой на стенде. Выявлены источники рисков, а также приняты меры по их устранению. Разработаны средства, методы и меры обеспечения пожарной безопасности.

Стенд, на котором была проведена работа, будет использован в учебном процессе на кафедре «Проектирование и эксплуатация автомобилей» института машиностроения Тольяттинского Государственного Университета. Студенты смогут экспериментальным путем изучать влияние аэродинамического коэффициента, что позволит лучше понимать зависимость между коэффициентом и нагрузкой на ось, когда на автомобиль при движении действует воздушный поток.

По результатам проведенной работы подготовлены тезисы, для опубликования в сборнике «Дни студенческой науки ТГУ» под названием «Модернизация стенда для определения коэффициента аэродинамического сопротивления модели автомобиля». Автор: А.В. Ефимов, научный руководитель Л.А. Черепанов.

## Список используемых источников

1. Бернацкий В.В., Острцов А.В. Исследования аэродинамики автомобиля / Бернацкий В.В., Острцов А.В.– Инфра-М: 2017. – 257 с.
2. Гухо В.Г, Юниковой Н. А, Загородникова. С. П — М.: Машиностроение, 1987. — 424 с.
3. Евграфов А. Н Аэродинамика автомобиля – МГИУ ,2010. – 6 с.
4. Иванов, Н.М. Модернизация стенда для исследования работы пневматической подвески автомобиля, / Иванов Н.М / М.: Транспорт, 2003.-87с.
5. Корнишин, А.П. Модернизация стенда рулевого управления для легкового автомобиля 2-го класса, / А.П. Корнишин - Тольятти, 2017.- 78с.
6. Кравец, В.Н. Теория автомобиля / В.Н. Кравец – М.: Машиностроение, 2007. – 273 с.
7. Краснов Н.Ф. Прикладная аэродинамика. – м.: Высш. шк., 1974. – С. 732.
8. Михайловский Е.В. Аэродинамика автомобиля — М.: Машиностроение, 1973. — 224 с.
9. Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 478с.
10. Финченко, Н.И. Испытание автомобилей и тракторов / Н.И. Финченко – М.: Машиностроение, 2017. – 173 с.
11. Черепанов, Л.А. Тяговый расчет автомобиля, / Л.А. Черепанов - Тольятти, 2001.
12. Automotive Wind Tunnels. [Электронный ресурс] URL: <https://www.autoevolution.com/news/automotive-wind-tu..>
13. Björn Lindgren, Arne V. Johansson Design and Evaluation of a Low-Speed Wind-Tunnel with Expanding Corners - Technical Reports from

- Royal Institute of Technology Department of Mechanics SE-100 44  
Stockholm, Sweden, 2002 – 47.
14. Jewel B. Barlow, William H. Rae, Alan Pope Low-Speed Wind Tunnel Testing. – Wiley: 1999. – 713.
  15. Jordan Michael Towels High Speed Subsonic Wind Tunnel Design - San Jose State University, 2014 – 62.
  16. Joseph Katz, Race Car Aerodynamics: Designing for Speed (Engineering and Performance)/ Joseph Katz - USA, 1995 - 279 p.
  17. URL: <http://bibliofond.ru>
  18. URL: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/46>
  19. URL: <https://dspace.tltsu.ru>
  20. URL: <https://www.autoevolution.com/news/automotive-wind-tu>.