

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 и использование трехмерной масштабной 3-д модели спортивного болида «Формула Студент» для испытаний в аэродинамической трубе.

Студент

А.Е. Савельев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент И. В. Турбин

(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. техн. наук, доцент С. А. Гудкова

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

Тольятти 2020

АННОТАЦИЯ

Тема дипломного проекта Разработка и использование трехмерной масштабной 3-д модели спортивного болида «Формула Студент» для испытаний в аэродинамической трубе.

В дипломном проекте проведен анализ 3D-печати, аэродинамических характеристик автомобиля для исследования. Для проведения исследования в аэродинамической трубе была спроектирована модель болида «Формула студент» «Пуля» в Компас-3Д и напечатана масштабная модель на 3Д-принтере. Проведены экспериментальные исследования.

Первая раздел, это основы аэродинамики автомобиля, необходимые для понимания всех сил действующих на болид во время движения через поток воздуха.

Второй раздел посвящен программе для создания 3д моделей Компас и созданию самого макета.

Третий раздел содержит обзор 3Д принтеров и принципы их работы.

В четвертом разделе выбор материала-пластика для печати макета.

Пятый раздел содержит описание используемого аэродинамического стенда.

В шестом разделе исследовательская часть. я обосновал экологичность и безопасность проекта.

Седьмой раздел являет собой тяговый расчет болида.

В восьмом разделе разработаны требования безопасности.

Девятый раздел представляет экономическую эффективность проекта.

Дипломный проект содержит 99 листов формата А1, 38 рисунков, 70 страниц пояснительной записки, которые включают в себя 9 разделов, введение, заключение и список литературы.

ABSTRACT

The theme of the diploma project Development and use of a three-dimensional scale 3-d model of a sports bolide "Formula Student" for wind tunnel tests.

In the diploma project the analysis of 3D-printing, aerodynamic characteristics of the car for research. To carry out the research in a wind tunnel was designed a model of a Formula Student car "Bullet" in the Compass-3D and printed a large-scale model on a 3D-printer. Experimental studies have been carried out.

The first section is the basics of aerodynamics of the car, necessary to understand all the forces acting on the car while driving through the air flow.

The second section is dedicated to the program to create 3D models Compass and create the model itself.

The third section contains an overview of 3D printers and principles of their work.

In the fourth section, the choice of plastic material for printing the layout.

The fifth section contains a description of the aerodynamic stand used.

In the sixth section the research part. I substantiated the environmental and safety of the project.

Section seven is the traction calculation of the car.

In section eight, the safety requirements are developed.

Section nine represents the cost-effectiveness of the project.

The diploma project contains 99 sheets of A1 format, 38 drawings, 70 pages of explanatory note, which includes 9 sections, introduction, conclusion and list of literature.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1 Основы аэродинамики автомобиля	7
1.1 Введение в аэродинамику	7
1.2 Подъемная и прижимная силы	11
Вывод по разделу:	15
2 Создание модели	16
2.1 Компас-3Д 18	16
2.2 3Д моделирование болида	18
Вывод по разделу:	22
3 3Д-Принтер	23
3.1 Принцип работы	23
3.2 Устройство 3Д принтера	24
3.3 Используемая модель	25
Вывод по разделу:	27
4 Выбор материала	28
4.1 ABS	28
4.2 PLA	29
4.3 ASA	30
4.4 PET	31
4.5 PETG	32
4.6 Поликарбонат	33
4.7 Высокоэффективные полимеры (PEEK, PEKK, ULTEM)	33
4.8 Полипропилен	35
4.9 Нейлон	35
4.10 Композиты	36
4.11 Гибридные материалы	38
4.12 Алюминий	38
4.13 Растворимые материалы	39
1.14 Гибкие материалы	41
Вывод по разделу:	41

5	Описание стенда для исследования аэродинамических характеристик	42
	Вывод по разделу:	45
6	Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик в аэродинамической трубе	46
	Вывод по разделу:	49
7	Тяговый расчет	50
	7.1 Исходные данные болида «Формула студент» 2019	50
	7.2 Аэродинамика болида.....	52
	7.3 Определение передаточного числа главной передачи.....	55
	7.4 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя.....	56
	7.5 Определение передаточного числа главной передачи.....	58
	7.6 Тяговый баланс автомобиля	59
	7.7 Динамические характеристики автомобиля.....	62
	7.8 Разгон автомобиля	64
	7.9 Время и путь разгона	67
	7.10 Мощностной баланс автомобиля	71
8	Требования безопасности при работе с 3Д-принтером.....	72
9	Расчет экономической эффективности использования 3д-моделей для определения аэродинамических параметров спортивных болидов формулы студент.....	75
	Заключение	85
	Список используемой литературы	87

ВВЕДЕНИЕ

Аэродинамические характеристики – это параметры, которые влияют на максимальную скорость, устойчивость автомобиля и расход топлива.

При передвижении воздушные потоки обтекают автомобиль и оказывают давление на его поверхность. На максимальную скорость и динамику влияет сила аэродинамического сопротивления, направленная противоположно направлению движения. Длины путей движения воздуха под автомобилем и над ним существенно разнятся, следовательно, обтекаемому сверху воздушному потоку приходится проходить его с большей скоростью, нежели потоку движущемуся внизу автомобиля. Далее вступает в действие закон Бернулли, по которому, чем больше скорость, тем меньше давление и наоборот. Поэтому внизу автомобиля создается область повышенного давления, а сверху - пониженного. В результате получаем подъемную силу.

Силу аэродинамического сопротивления и подъемную силу определяют экспериментальным методом путем продувки автомобиля или его модели в аэродинамических трубах. Меня интересует возможно ли использовать 3д печать для создания модели болида с последующей продувкой его в аэродинамической трубе.

В данной дипломной работе разработана 3д модель болида формулы студент для определения аэродинамических характеристик на стенде с аэродинамической трубой.

1 Основы аэродинамики автомобиля

1.1 Введение в аэродинамику

Каждый когда-нибудь видел, как болиды формулы 1, проносясь мимо оператора с камерой, во время дождевых гонок поднимают за собой красивые шлейфы водяного тумана. Как один болид "вешается на хвост" другому, а потом совершает резкий маневр и через несколько секунд оказывается впереди него. Как без всякой видимой причины во время ралли отрываются спойлеры и антикрылья – в эти моменты все вспоминают про аэродинамику.

Аэродинамика, как магия, наука о воздухе – о том, что скрыто от человеческого глаза, но в тоже время таит в себе большую силу. Она многолика, так как воздух окружает нас повсюду. Благодаря аэродинамике летают самолеты, а лыжники с максимальной скоростью несутся по склону горы, приняв наилучшее положение для обтекания. Но в контексте драйв 2 область наших интересов в аэродинамике ограничивается автомобилями – о них и поговорим.

Все слышали про Джереми Кларксона, (в прошлом одного из ведущих TopGear'a и на мой взгляд лучшего автомобильного журналиста), но мало кто слышал про Эдриана Ньюи, который учился в старших классах вместе с Джереми. А между тем, Эдриан Ньюи – гениальный инженер-конструктор, практически самый успешный инженер-конструктор! Спортивные автомобили, спроектированные под его руководством для различных команд и классов гонок, три раза побеждали в знаменитой гонке Индианаполис-500, в гонках Формулы-1 принесли победу в более чем 160 Гран-при, 10 чемпионских титулов и 10 Кубков Конструкторов. Его по праву считают гением аэродинамики, практически волшебником. Посмотрите на любое из его творений и

представьте, как оно врезается в стену воздуха, как своими грациозными обводами направляет поток именно туда, куда нужно.

Работа аэродинамики в чем-то напоминает работу скульптора — нужно убрать все лишнее и оставить самую суть. Посмотрите на простую каплю дождя. Это и есть идеальная форма, созданная самим воздухом. Именно так он хочет обтекать движущееся в нем тело.

Задача специалистов по аэродинамике создать такую форму, которую воздуху будет удобно обтекать, и, обтекая которую, он принесет максимум пользы. Давайте вернемся к кузову автомобиля и разберемся в том, как на него воздействует набегающий поток воздуха. Хотя по своей сути набегающий поток, это своего рода условность. Потому что на самом деле автомобиль "набегает" на неподвижный воздух. Но такую систему координат неудобно рассматривать и анализировать, поэтому свяжем ее с автомобилем. В этом случае воздух будет двигаться относительно неподвижного автомобиля.

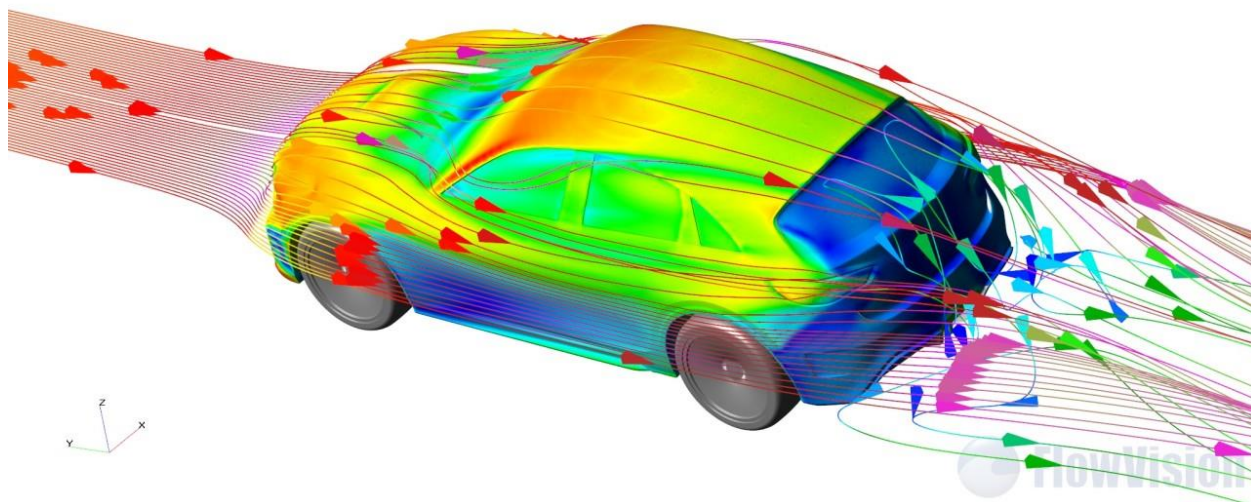


Рисунок 1.1 – Потoki воздуха

Прежде чем рассматривать взаимодействие автомобиля с потоком, необходимо ознакомиться с некоторыми основами аэродинамики, которые понадобятся нам в дальнейшем.

В аэродинамике великое множество различных формул, уравнений/зависимостей и законов. Целью данного повествования является общее ознакомление с аэродинамикой, поэтому я не буду вдаваться в это поражающее своим разнообразием обилие символов и чисел, рассмотрим только два из основных законов.

Первый мы видим каждый день. Представьте себе кран. Обыкновенный кран в ванной комнате или на кухне, из которого спокойно вытекает струя воды. Давайте взглянем на нее повнимательнее. Что мы видим? Она сужается! На самом деле все очень просто – каждая "частичка" воды, находится под действием гравитации. Значит на каждую частицу действует ускорение свободного падения, и каждая частица по мере удаления от крана падает все быстрее. Если взять и мысленно рассеять струю у самого крана и на некотором удалении от него, то мы увидим, что через полученные сечения будут двигаться частицы воды: у крана – с малой скоростью, а на отдалении – с большей. Если площадь сечений будет постоянной, то через более удаленное сечение в единицу времени будет проходить больше жидкости, чем через менее удаленное. Но откуда она возьмется, если кран у нас один и напор воды в нем постоянный? Поэтому площадь поперечного сечения струи уменьшается с ростом скорости течения и через каждое сечение проходит одно и то же количество жидкости.

Этот простой пример отражает смысл уравнения неразрывности: чем меньше площадь сечения, через которое течет жидкость, тем больше ее скорость. А причем здесь воздух, спросите вы? Оказывается, у жидкостей и газов много общего, и поведение газа при небольших

скоростях во многом повторяет поведение жидкости. Поэтому уравнение неразрывности распространяется и для газовых течений. Главное, чтобы скорости не были очень большими, поскольку в этом случае газ можно считать почти несжимаемым. При больших скоростях газ начинает сжиматься. Например, на сверхзвуке уменьшение площади сечения приведет к появлению пульсаций уплотнения и снижению скорости. Но поскольку мы не рассматриваем автомобили-ракеты, пронзающие воздух на соляных озерах в погоне за очередным земным рекордом скорости, поскольку даже безумно быстрый Bugatti Veuron в два с лишним раза медленнее скорости звука, мы смело можем брать на вооружение уравнение неразрывности.

Второе уравнение называется уравнением Бернулли и говорит о законе сохранения энергии, выраженном через давления. Давление бывает полным, статическим и динамическим. Полное давление как раз и складывается из статического и динамического давлений:


$$P_{\text{полн.}} = P_{\text{стат.}} + \frac{\rho V^2}{2}$$

ρ - это плотность газа
 V - это скорость

Рисунок 1.2 – Уравнение Бернулли

Статическое давление не зависит от скорости. То есть в движущемся с некоторой скоростью потоке для того, чтобы замерить статическое давление, необходимо двигаться со скоростью потока. В этом случае скорость потока относительно измерительного устройства (манометра) будет равно нулю.

Динамическое давление, напротив, зависит от скорости. Причем, что очень важно, не просто от скорости, а от квадрата скорости. Представьте себе неподвижный газ, находящийся в некотором объеме. Элементарные частицы газа хаотично перемещаются на микроуровне (броуновское движение). При

этом они сталкиваются друг с другом и со стенками резервуара, в котором газ находится. Вот эти вот удары о стенки сосуда и создают давление. В данном случае это будет статическое давление, которое равно полному. Другими словами – динамическая составляющая давления отсутствует. Теперь если заставить этот же газ течь по трубе с какой-либо отличной от нуля скоростью, то часть энергии элементарных частиц уйдет на движение газа на макроуровне (перемещение больших объемов). А на удары о стенки трубы, по которой движется газ, у элементарных частиц останется меньше энергии. Поэтому статическое давление уменьшится по сравнению с первым случаем на величину динамической составляющей. В принципе этот пример и иллюстрирует уравнение Бернулли.

1.2 Подъемная и прижимная силы

Воздействие набегающего на автомобиль потока воздуха сводят к аэродинамическим силам. В контексте этого нас будут интересовать сила лобового сопротивления, направленная в сторону, противоположную движению автомобиля, и подъемная сила, перпендикулярная плоскости, в которой движется автомобиль, снизу вверх (отрицательная подъемная сила называется прижимной и направлена сверху вниз) [2].

Уравнение вычисления аэродинамических сил представляет собой следующий вид:

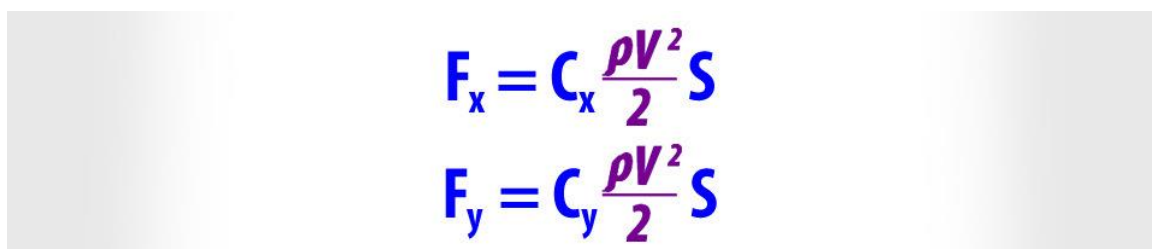

$$F_x = C_x \frac{\rho V^2}{2} S$$
$$F_y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S$$

Рисунок 1.3 – Уравнение аэродинамических сил

Всем известно из курса физики, что сила – это произведение давления на площадь. Но форма автомобиля достаточно сложна и на практике довольно трудно определить, на какую именно площадь какое давление

действует. Поэтому берут уже знакомую нам динамическую составляющую давления (которая на вышеприведенных формулах выделена фиолетовым цветом, её еще называют скоростным напором) и умножают на некоторую характерную площадь, например, на площадь поперечного сечения – так называемое миделевое сечение — (от нидерл. *middel*, буквально – средний, середина). А все особенности и нюансы учитывает одно число – аэродинамический коэффициент, который обозначается C_x или C_u . Другими словами – это коэффициент незнания. Вычислить его теоретически очень сложно, а единственный достоверный метод определения – продувки в аэродинамической трубе или компьютерное моделирование.

Встретившись с автомобилем, набегающий поток воздуха разделяется. Одна часть потока уходит вниз, под днище автомобиля, а другая обтекает его сверху. Рассмотрим сначала поток, устремившийся под автомобиль. Все, что связано с движением потока под автомобилем так или иначе связано с английским словосочетанием «граунд-эффект» (эффект земли). А смысл граунд-эффекта объясняется при помощи уравнения Бернулли. Представьте себе крыло дозвукового самолета. Основная его особенность заключается в том, что профиль (сечение) этого крыла несимметричен, и поток над крылом должен пройти больший путь, чем поток под крылом. Таким образом, поток над крылом разгоняется, а это, согласно уравнению Бернулли, приводит к уменьшению статического давления. Разница между давлением под крылом и над крылом приводит к появлению подъемной силы. Но если взять и перевернуть это крыло, то подъемная сила превратится в прижимную.

В этом и заключается граунд-эффект: если спрофилировать днище особым образом, то поток под автомобилем будет разгоняться, что приведет к формированию зоны с пониженным давлением. Сделать днище такой формы, чтобы оно повторяло профиль дозвукового крыла достаточно проблематично, поскольку при проектировании спортивного автомобиля все не сводится к одной аэродинамике: необходимо как можно ниже опустить

центр масс, обеспечить наилучшую развесовку по осям, оптимально разместить элементы подвески, трансмиссии и т.д. Кроме того, появление зоны с низким давлением под днищем неминуемо вызовет эффект пылесоса: воздух из зоны с высоким давлением устремится в зону с низким давлением, поэтому для предотвращения этого необходимо использовать боковые юбки, мешающие подсосу воздуха по бокам. Кстати, на спортивных автомобилях разрежение от действия граунд-эффекта настолько велико, что способно открыть чугунный канализационный люк, над которым проносится автомобиль.

Если заглянуть под любой среднестатистический автомобиль, то первое, что попадает нам на глаза – это элементы двигателя и трансмиссии, выхлопной и топливной систем, а так же детали подвески. Все они своими выступающими частями тормозят поток, делают течение под днищем вихревым (турбулентным), что приводит к снижению скорости потока и росту статического давления. Поэтому, если заглянуть под спортивный автомобиль, то вы увидите ровное дно с пластиковыми накладками, скрывающими отверстия и выступающие элементы.

Вспоминаем уравнение неразрывности: чтобы увеличить скорость надо уменьшить площадь канала, по которому течет газ. Область между днищем и дорожным полотном является своего рода каналом. Значит надо уменьшить клиренс. У спортивных автомобилей он настолько мал, что зачастую мы видим, как из-под дна вырываются искры, образующиеся при соприкосновении его с асфальтом. Кроме того, под автомобиль стараются пускать как можно меньше воздуха. Чем меньше воздуха попадет под дно, тем меньшее давление он сможет создать. Поэтому передний бампер спорткаров украшают массивные спойлеры, отсекающие часть воздуха, стремящегося ворваться под днище автомобиля. Цель ограничить количество воздуха, проникающего под автомобиль, преследуют и юбки по бокам, о которых уже упоминалось выше.

Неотъемлемой частью современных гоночных автомобилей стал диффузор. Диффузор – это вариация на тему профилированного дна. Спрофилировать все дно проблематично, а в ряде гоночных серий это просто запрещено регламентом. Например, в Формуле-1 дно плоское и ступенчатое (дно в области боковых понтонов выше, чем дно в центральной части, где расположена доска скольжения). Казалось бы, реализовать хоть какое-то подобие граунд-эффекта в данной ситуации невозможно. Оказывается, возможно, благодаря использованию диффузора.

Рассмотрим, что происходит в области задней части днища при отсутствии диффузора.

За автомобилем находится зона разряжения. Когда поток, вырывающийся из-под днища, начинает взаимодействовать с этой зоной, он резко замедляется. Это можно проиллюстрировать, рассмотрев данный процесс на упрощенном микроуровне элементарных частиц. Когда частицы газа движутся под днищем, они сталкиваются, отскакивают от днища и вновь сталкиваются, передавая тем самым энергию друг другу. Одна частица может потерять энергию, подтолкнув другую, но тут же получит энергию от третьей, та от четвертой и так далее. Таким образом, скорость потока поддерживается на определенном уровне. Когда же днище кончается, частицы не могут отталкиваться от него и часть из них устремляется в зону разряжения за автомобилем. Там взаимодействие между частицами уже не столь интенсивное, как это было под днищем. Поэтому энергия рассеивается, а скорость частиц падает. В том месте, где днище заканчивается, образуется вихревая зона. В этой области поведение потока непредсказуемо, он «не знает», куда ему двигаться: то ли в прежнем направлении, то ли в зону с пониженным давлением. В вихревой зоне давление и скорость падают. В результате разгоняемый под днищем поток упирается в вихревую зону и теряет часть своей скорости, ну а последствия уже описывались: падение динамической составляющей давления, рост статической.

Диффузор представляет собой расширяющийся к концу болида участок днища. За счет того, что объем диффузора увеличивается, образуется зона разряжения. А вихри, которые образовывались без диффузора, уменьшаются. То есть диффузор как бы засасывает воздух из-под днища и оптимизирует потоки в задней части. У диффузора кроме горизонтальных иногда имеются и вертикальные элементы, «причесывающие» поток и тем самым стабилизирующие его. У современных болидов Формулы 1 порядка 40 % прижимной силы создается благодаря работе диффузора.

Вывод по разделу:

С каждым годом идёт усовершенствование машин поэтому аэродинамика одна из важнейших характеристик для автомобиля влияющая на скорость гоночного автомобиля, на его управляемость, на экономию топлива, на безопасность и комфорт при езде. Изучены основы аэродинамики, термины и явления, которые будут протекать при исследовании болида на аэродинамическом стенде.

2 Создание модели

2.1 Компас-3D 18

Возможности КОМПАС-3D для машиностроения и приборостроения

Проектирование машиностроительных и приборостроительных изделий накладывает высокие требования к используемому инструменту. КОМПАС-3D соответствует самым современным требованиям. Возможности системы обеспечивают проектирование машиностроительных изделий любой сложности и в соответствии с самыми передовыми методиками проектирования. В системе присутствуют инструменты для работы по методу «сверху-вниз» либо методике нисходящего проектирования, а также по уже привычному всем методу «снизу-вверх».

Классическое твердотельное моделирование

КОМПАС-3D позволяет работать над различными деталями и узлами с помощью твердотельного моделирования, которое прекрасно подходит для проектирования различных валов, втулок, кронштейнов и корпусов самой разной конфигурации. Базовыми командами здесь выступают операции выдавливания и вращения.

Проектирование с применением сложных поверхностей

При проектировании деталей со сложной геометрией будет полезен функционал по поверхностному моделированию. Подобные задачи встречаются и при проектировании лопаток, и при проектировании корпусов приборов, которые изготавливаются из пластика. Использование поверхностного моделирования позволит получить детали самой различной формы и тем самым обеспечить требования, выдвигаемые к данным

изделиям — будь то обтекаемость либо эргономика. Имеется множество вариантов построения сложных поверхностей:

- выдавливанием,
- вращением,
- по множеству точек,
- кинематической операцией,
- по сечениям,
- по точкам,
- по сети кривых.

Формирование электронной модели изделий

Проектируя в КОМПАС-3D, вы получаете электронную модель, которая может содержать в себе данные, необходимые для изготовления и последующих жизненных этапов вашего изделия. Созданная в КОМПАС-3D модель уже сейчас может содержать:

- свойства и наименование материала,
- размеры с учетом допуска,
- обозначение баз,
- технические требования,
- шероховатость,
- допуски формы,
- обозначение мест клеймения и маркирования.

Более того, получить документацию на такое изделие вы сможете автоматически. Спецификация формируется по 3D-модели сборочной

единицы, а создание чертежей будет заключаться в расположении на формате чертежа ассоциативных видов с 3D-модели.

Простота в освоении и использовании

Программа имеет простой и понятный интерфейс, позволяющий быстро осваивать функционал и приступать к работе. Чтобы первые шаги по работе в системе были легче, КОМПАС-3D содержит интерактивные уроки для исследования основного инструментария, которые собраны в «Азбуке КОМПАС-3D». Данная азбука поможет вам на готовых примерах разобраться с возможностями КОМПАС-3D и в кратчайшие сроки начать выполнять рабочие задачи. «Азбука КОМПАС-3D» содержит примеры:

- создания твердотельной и поверхностной модели,
- создания листовых деталей,
- создания деталей и сборочных единиц,
- коллективной работы над сборками.

2.2 3D моделирование болида

Для моделирования взят чертеж и параметры реального болида Формулы Студент в масштабе 1:10.

Построение начинается с выбора плоскости для начального эскиза. Основой послужит база, на которую будут крепиться корпус и узлы болида.

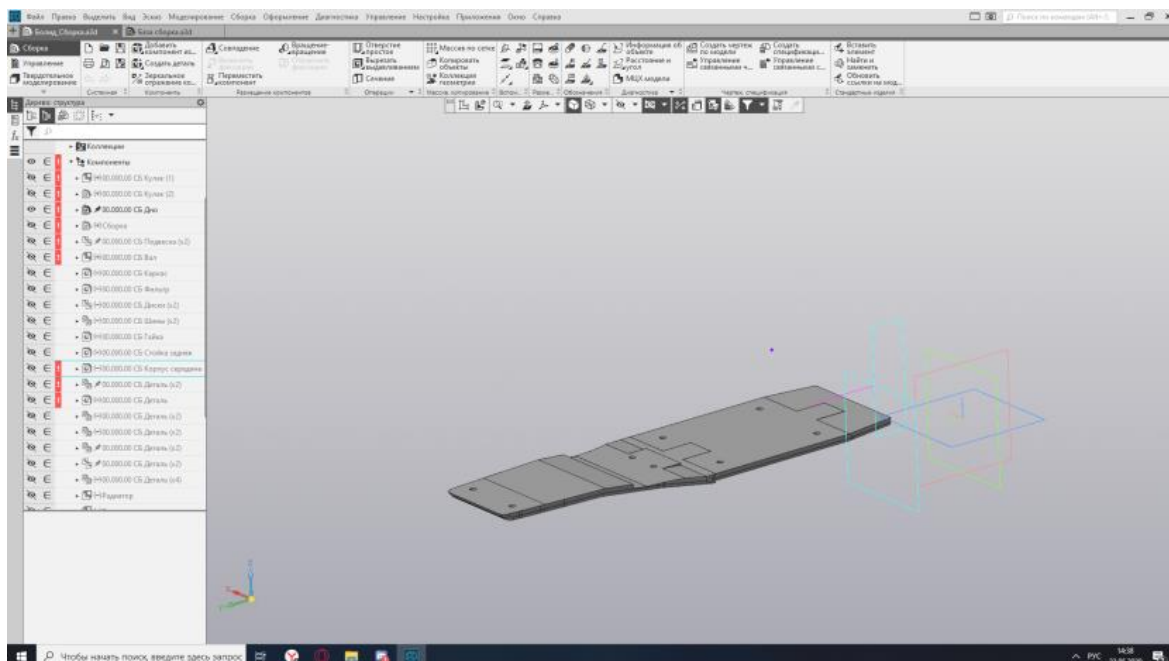


Рисунок 2.1 – База модели

Далее, по частям, создаем корпус, который будет установлен на базу.

Следует разбивать болид на части, так как крупные части либо модель целиком, принтер не распечатает. И в случае корректировки не придется перестраивать всю модель, а только нужную нам деталь. Тоже самое касается и печати. При печати мы можем выбрать только нужные нам детали, не перепечатывая остальные части, уменьшая затраты пластика.



Рисунок 2.2 – Корпус с навесными узлами



Рисунок 2.3 – Навесные узлы

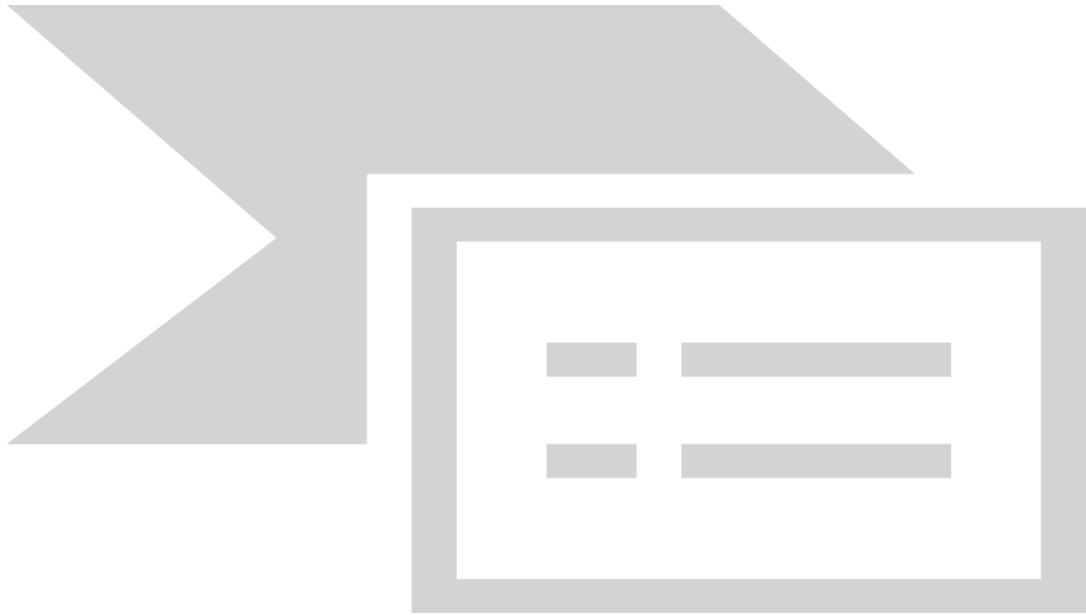


Рисунок 2.4 – Болид в сборе

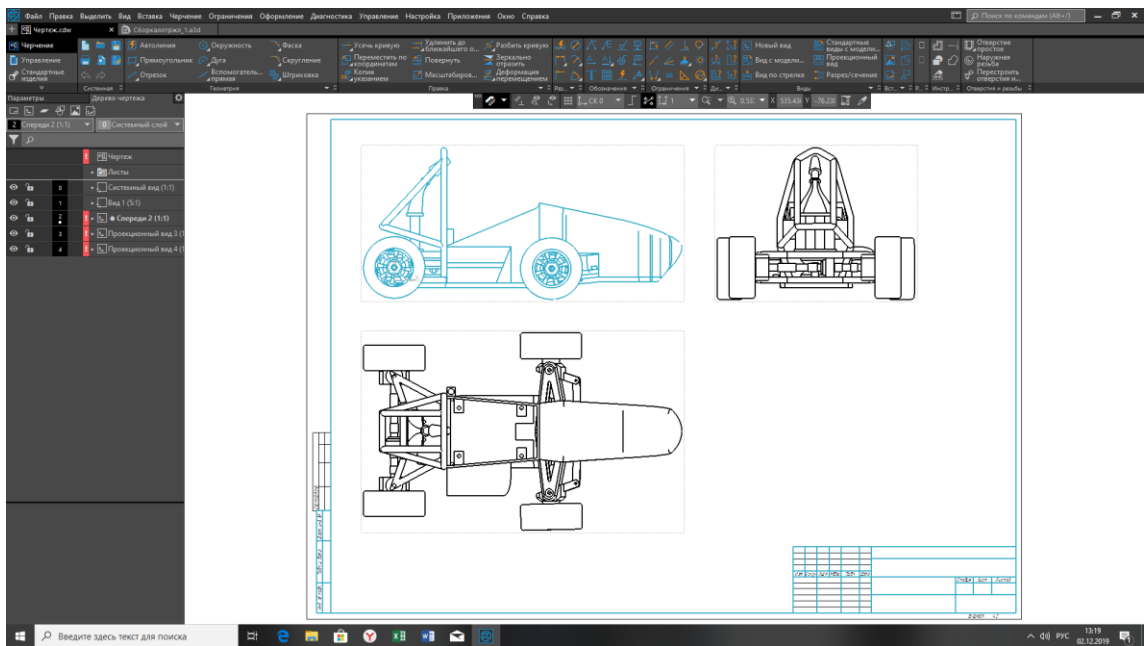


Рисунок 2.5 - Чертеж болида в 3 проекциях

Конечным этапом будет являться объединение всех деталей в одну сборку. А также создание чертежа, с модели, и снятие полученных размеров.

Вывод по разделу:

При проектировании болида нужно стремиться к минимуму деталей. Чем и будет достигаться максимальная простота конструкции, и соответственно простота последующей сборки. Исходя из того что я ограничен, в размерах детали при печати, размерами рабочей поверхности 3д принтера. Целесообразно крупные детали разделять на несколько маленьких.

3 3D-Принтер

3.1 Принцип работы

В основе работы 3d принтера заложен принцип постепенного (послойного) создания твердой модели, которая «выращивается» из определенного материала, который является по сути обычным пластиком. Преимущества 3D печати перед ручными способами построения моделей — высокая скорость, простота и небольшая стоимость.

К примеру, для создания 3D модели либо какой-либо детали вручную может понадобиться довольно много времени — от нескольких дней до месяцев. Так как сюда входит не только сам процесс изготовления, но и предварительные работы — чертежи, схемы будущего изделия, все равно не дают полного видения окончательного результата.

В итоге ощутимо возрастают расходы на разработку, растет срок от разработки изделия до его серийного производства.

3D технологии же позволяют полностью исключить ручной труд и необходимость делать чертежи и расчеты на бумаге — ведь система позволяет рассмотреть модель во всех ракурсах уже на экране, а так-же в разрезе, и устранить выявленные недостатки до процесса создания, как при ручном изготовлении, а соответственно при разработке и создать модель за несколько часов.

И возможность ошибки, присущие ручной работе, практически исключаются.

3.2 Устройство 3D принтера

Принтеры трехмерной печати состоят из одинаковых деталей и по устройству похожи на обычные принтеры. Главное отличие — 3D-принтер печатает в трех плоскостях, кроме ширины и высоты появляется глубина.



Рисунок 3.1 - Схема 3Д принтера.

Детали 3D-принтера, не считая корпуса:

- экструдер, либо головка — разогревает поверхность, отмеряет точное количество материала и выдавливает полужидкий пластик, подающееся в виде нитей;
- рабочий стол (он же рабочая платформа, либо поверхность для печати) — на нем принтер создает детали и выращивает изделия;
- линейный и шаговый двигатели — приводят в движение экструдер, отвечают за точность и скорость печати;

- фиксаторы — датчики, определяющие координаты печати и ограничивающие подвижные детали. Нужны, для того чтобы принтер не выходил за пределы рабочего стола, делают печать аккуратной;

- рама — соединяет все эти элементы.

3.3 Используемая модель

Название модели 3D принтер Zenit DUO.

ZENIT DUO – модель 3D-принтера с закрытым корпусом. Принтер работает по стандартной FDM-технологии печати. Область печати 190x215x230 мм. Благодаря закрытой камере, наличию подогреваемого стола, индикации подсветки, компактным размерам и стильному дизайну принтер подходит для применения как дома, так и в образовательных учреждениях, в архитектурных бюро, лабораториях и других промышленных организациях

Поддерживаемые материалы для 3D печати: ABS, PLA, PETG, HIPS, PVA, FLEX, NYLON, RUBBER, WOOD, PP, PND, PVD, PC, PEEK, CAST, ETERNAL, SEALANT и другие

Количество экструдеров: 2;

Максимальная температура экструдера: 260 С;

Размер области построения модели: 190x215x230 мм;

Минимальная высота слоя: 0,015 мм (15 микрон);

Точность позиционирования оси X, Y: 0,04 мм (40 микрон);

Точность позиционирования оси Z: 0,01 мм (10 микрон);

Максимальная скорость печати: 50 см³ в час (для сопла 0.3мм);

Максимальная скорость перемещения печатающей головки: 300 мм в секунду;

Диаметр сопла, установленного в принтер: 0,3 мм;

Технология печати: FDM – послойное наплавление пластика;

Программное обеспечение: RepetierHost, Slic3r;

Подключение и периферия: USB 2.0, SD-карта;

Питание от сети и потребляемая мощность: 220В, 50Гц, 350 Вт;

Габаритные размеры принтера (шхгхв): 460х360х370 мм;

Вес принтера: 20 кг;



Рисунок 3.2 – Принтер Zenit DUO

Вывод по разделу:

Рассмотренная модель принтера, подходит для моих целей. Используя печать с послойным наплавлением для создания макета. Печатает необходимыми видами пластика.

4 Выбор материала

4.1 ABS

Филамент ABS является наиболее используемым пластиком для трехмерной печати. Он используется в кузовах автомобилей, бытовой технике и для мобильных телефонов. Это термопластик, который содержит основу из эластомеров на основе полибутадиена, что делает его более гибким и устойчивым к ударам. ABS также можно найти в порошковой форме для порошковых процессов, таких как SLS, и в жидкой форме для технологий SLA и PolyJet.



Рисунок 4.1 – Катушки ABS пластика

ABS используется в трехмерной печати при нагревании в диапазоне температур от 230 до 260°C. Это прочный материал, способный легко выдерживать температуры от -20°C до 80°C. Помимо высокой прочности, он является многоразовым материалом и может свариваться с помощью химических процессов. Однако ABS не поддается биологическому разложению и сжимается при контакте с воздухом, поэтому для предотвращения деформации печатную платформу необходимо нагреть.

Кроме того, рекомендуется использовать 3D-принтер с закрытой камерой для ограничения выброса частиц при печати с использованием ABS.

4.2 PLA

Известный как полилактическая кислота, или PLA, этот материал имеет преимущество быть биоразлагаемым, в отличие от ABS. PLA производится с использованием возобновляемого сырья, такого как кукурузный крахмал. PLA является одним из самых простых материалов для печати, хотя он имеет тенденцию к небольшой усадке после трехмерной печати. В отличие от ABS, при печати в PLA не требуется платформа с подогревом. PLA также печатает при более низкой температуре, чем ABS, в диапазоне от 190°C до 230°C.



Рисунок 4.2 – Катушка PLA

С PLA сложнее манипулировать из-за высокой скорости охлаждения и застывания. Важно также отметить, что модели могут ухудшаться при контакте с водой. Тем не менее, материал устойчив, прост в использовании и поставляется в самых разнообразных цветах, что делает его пригодным для 3D-печати FDM.

4.3 ASA

ASA - это материал, обладающий свойствами, схожими с ABS, но обладающий большей стойкостью к ультрафиолетовым лучам. Как и в случае с ABS, рекомендуется печатать материал с подогреваемой платформой, чтобы предотвратить деформацию. При печати с помощью ASA используются схожие с ABS настройки печати, но при печати с закрытой камерой необходимо проявлять особую осторожность из-за выделения стирола.



Рисунок 4.3 – Результат печати пластиком ASA

4.4 PET

Полиэтилентерефталат, или PET, обычно встречается в одноразовых пластиковых бутылках. PET является идеальной нитью для любых кусочков, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. Кроме того, материал достаточно жесткий и обладает хорошей химической стойкостью. Для получения наилучших результатов при печати с помощью ПЭТФ, напечатайте при температуре 75 - 90°C. PET обычно продается как полупрозрачная нить, также продаются такие варианты, как PETG, PETE и PETT. Преимущества ПЭТФ заключаются в том, что материал не выделяет запахов при печати и на 100% пригоден для вторичной переработки.



Рисунок 4.4 – PET пластик с изделиями

4.5 PETG

PETG, или гликолированный полиэфир, является термопластом, широко используемым на рынке производства добавок, сочетая в себе как простоту PLA 3D печати, так и прочность ABS. Это аморфный пластик, который может быть на 100% переработан. Он имеет тот же химический состав, что и полиэтилентерефталат, более известный по аббревиатуре PET. Гликоль был добавлен, чтобы уменьшить его хрупкость и, следовательно, его хрупкость.



Рисунок 4.5 – Изделие из PETG

4.6 Поликарбонат

Поликарбонат (ПК) - высокопрочный материал, предназначенный для инженерных приложений. Материал обладает хорошей термостойкостью, способен выдерживать любые физические деформации до 150°C. Тем не менее, ПК склонен к поглощению влаги из воздуха, что может повлиять на производительность и устойчивость к печати. Поэтому ПК необходимо хранить в герметичных контейнерах. Компьютер высоко ценится в АМ промышленности за его прочность и прозрачность. Он имеет гораздо меньшую плотность, чем стекло, что делает его особенно интересным для проектирования оптических частей, защитных экранов или декоративных предметов.



Рисунок 4.6 – Пример печати поликарбонатом

4.7 Высокоэффективные полимеры (PEEK, PEKK, ULTEM)

Эволюция технологий 3D-печати привела к обширным исследованиям в области печатных материалов, позволившим разработать целый ряд высокоэффективных нитей с механическими характеристиками, схожими с характеристиками металлов. Существует несколько типов

высокопроизводительных 3D-пластиков, таких как PEEK, PEKK или ULTEM - они отличаются такими семействами, как полиэфиркетоны (PAEK) или полиэфиримиды (PEI). Эти нити обладают очень высокой механической и термической прочностью, очень прочны и в то же время намного легче некоторых металлов. Эти свойства делают их очень привлекательными в аэрокосмической, автомобильной и медицинской отраслях.



Рисунок 4.7 – Изделия из высокоэффективных полимеров

Из-за своих характеристик высокоэффективные полимеры не могут быть напечатаны на всех машинах FDM, представленных на рынке. Действительно, 3D-принтер должен иметь нагревательную пластину, способную достигать температуры не менее 230°C, экструзионную при температуре 350°C и закрытую камеру. Сегодня около 65% этих материалов печатаются по технологии FDM, но они также встречаются в виде порошка, совместимого с технологией SLS.

4.8 Полипропилен



Рисунок 4.8 – Бутылка из полипропилена напечатанная 3д

Полипропилен является еще одним термопластом, широко используемым в автомобильной промышленности, профессиональном текстиле, а также в производстве сотен предметов быта. Полипропилен известен своей устойчивостью к истиранию и способностью поглощать удары, а также относительной жесткостью и гибкостью. Однако недостатками материала являются его устойчивость к низким температурам, а также чувствительность к ультрафиолетовым лучам, которые могут вызвать его расширение. В связи с этим несколько производителей разработали альтернативные типы ПП, симили-пропиленов, которые являются более прочными как физически, так и механически.

4.9 Нейлон

Предметы, изготовленные из полиамидов (нейлона), обычно создаются из тонкого белого гранулированного порошка по технологии SLS. Однако существуют некоторые варианты материала, такие как нейлон, которые также доступны в нитях, используемых при моделировании плавного осаждения (FDM). Благодаря своей биосовместимости, полиамиды могут

использоваться для создания деталей, контактирующих с пищевыми продуктами (за исключением пищевых продуктов, содержащих алкоголь).



Рисунок 4.9 – Сложная деталь из нейлона

Нейлоны, состоящие из полукристаллических структур, обладают хорошим балансом химических и механических характеристик, которые обеспечивают хорошую стабильность, жесткость, гибкость и ударопрочность. Эти преимущества означают, что материал имеет множество применений в различных отраслях и обеспечивает высокий уровень детализации. Благодаря высокому качеству полиамиды используются в производстве зубчатых передач, деталей для аэрокосмического рынка, автомобильного рынка, робототехники, медицинских протезов и пресс-форм для инъекций..

4.10 Композиты

Композиты чрезвычайно полезны при изготовлении легких, но прочных деталей. Волокна добавляют прочность детали без добавления веса,

поэтому мы также называем композиты армированными волокнами материалами. Существует два типа армирования - короткое волокно или непрерывное волокно. В первом случае измельченные волокна, состоящие из сегментов длиной менее миллиметра, смешиваются с традиционными пластмассами 3D-печати для повышения жесткости и в меньшей степени прочности компонентов. Измельченные волокна можно смешивать с термопластами, такими как нейлон, ABS или PLA.



Рисунок 4.10 – Катушка с армированной углеродным волокном нити

Кроме того, волокна могут непрерывно добавляться в термопласты для получения более прочной части. Основным волокном, используемым в секторе 3D-печати, является углеродное волокно, но есть и другие волокна, такие как стекловолокно или кевлар.

4.11 Гибридные материалы



Рисунок 4.11 - 3D нити на основе дерева

Существуют различные гибридные материалы, которые смешивают базовые пластмассы с порошками для придания им нового цвета, отделки или дополнительных свойств материала. Часто на основе PLA эти материалы обычно изготавливаются из 70% PLA и 30% гибридного материала. Например, имеются древесные нити, начиная от бамбука, пробки, древесной пыли и заканчивая другими. Эти древесные материалы, смешанные с PLA, придают гибридной нити более органическую текстуру. Кроме того, некоторые гибридные материалы включают в себя металлические порошки для работы с FDM-технологиями, чтобы придать деталям металлическую отделку. Они могут быть на основе меди, бронзы, серебра и многого другого.

4.12 Алюминий

Объекты из алюминиевого пластика изготавливаются из комбинации полиамидов и алюминиевого порошка по технологии SLS. Материал имеет большую, слегка пористую поверхность и зернистый, зернистый внешний вид, что обеспечивает большую прочность и хорошую термостойкость (до

172°C). Тем не менее, необходимы некоторые постобработки, такие как шлифовка, шлифовка, нанесение покрытия или фрезеровка.



Рисунок 4.12 – Детали напечатанные алюминием

Алюминий используется для сложных моделей, конструктивных элементов или для мелкосерийного производства функциональных моделей, которым необходима высокая жесткость и внешний вид, похожий на алюминий. Эта технология включает в себя несколько геометрических ограничений.

4.13 Растворимые материалы

Растворимые материалы - это материалы, напечатанные с намерением быть растворенными на будущей стадии производственного процесса. Двумя наиболее распространенными растворимыми нитями являются HIPS (полистирол высокого давления) и PVA (поливинилацетат). HIPS ассоциируется с ABS и может растворяться с лимонной кислотой, в то время как PVA ассоциируется с PLA и может растворяться только водой.

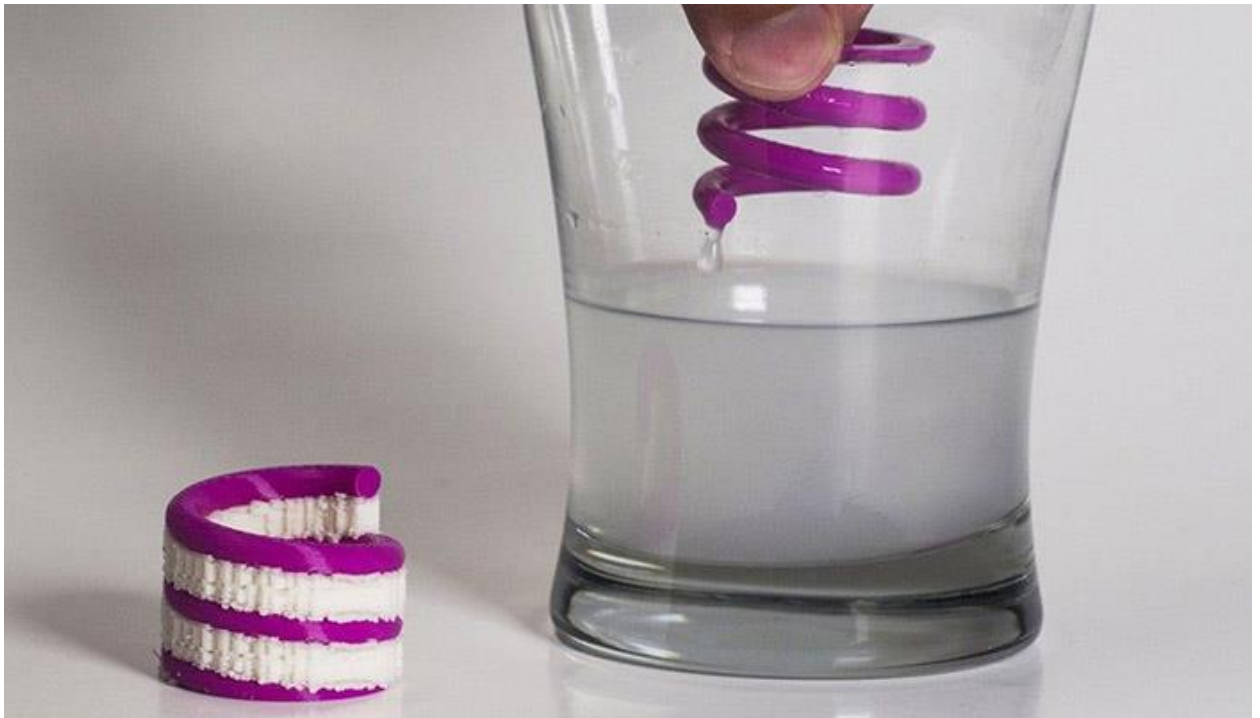


Рисунок 4.13 – Пример растворения PVA

Все большую популярность приобретают также нити BVON, особенно в принтерах с двойным экструдером. Это связано с тем, что материал растворим в воде и, по мнению специалистов, имеет более высокую растворимость, чем PVA.

1.14 Гибкие материалы

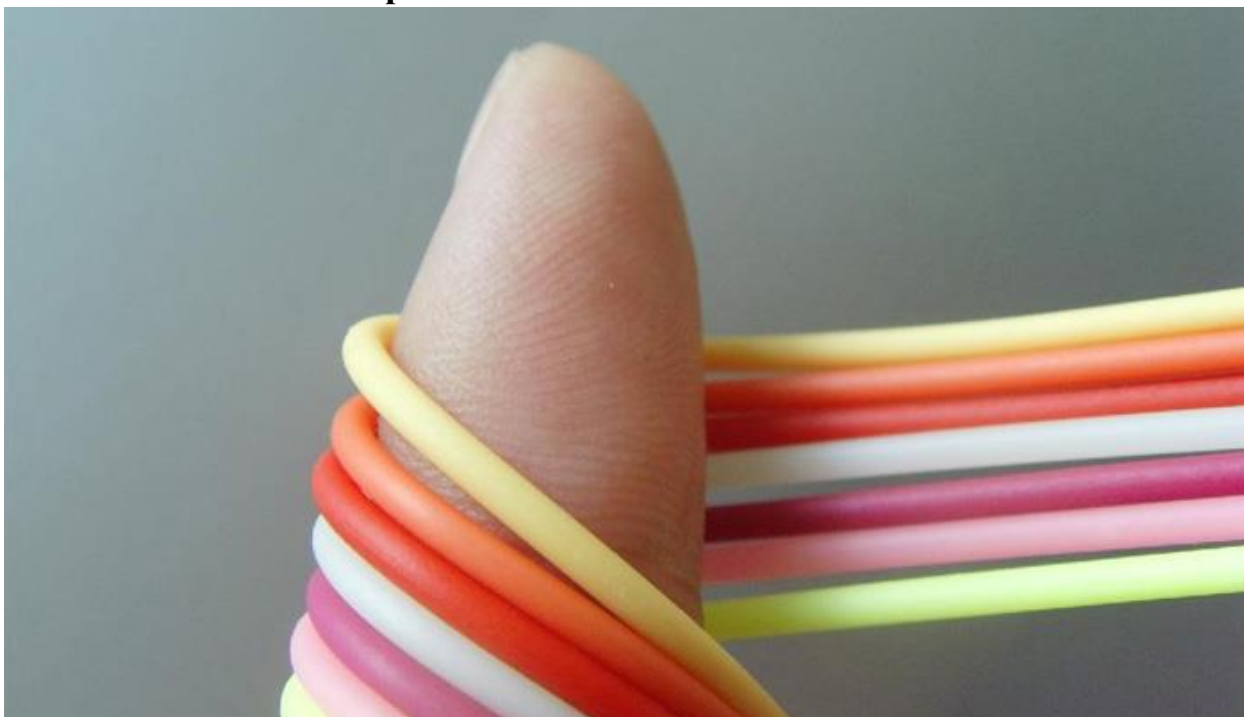


Рисунок 4.14 – Гибкий пластик

Более новым типом нитей, и одним из наиболее успешных, являются гибкие нити. Они похожи на PLA, но обычно изготавливаются из TPE или TPU. Преимущество использования этих нитей для 3D печати заключается в том, что они позволяют создавать деформируемые объекты, широко используемые в индустрии моды. Как правило, эти гибкие нити обладают теми же печатными характеристиками, что и PLA, хотя они бывают в различных диапазонах в зависимости от их жесткости. Стоит выяснить, какой тип экструдера лучше всего подходит для материала, чтобы избежать застреваний при трехмерной печати.

Вывод по разделу:

Так как на макет не будут оказываться механические нагрузки, а также он не будет находиться в высоких температурах, то целесообразно выбрать самый дешевый из пластиков, отвечающий техническим требованиям. ABS пластик, имеет множество расцветок, и подходит для исследования.

5 Описание стенда для исследования аэродинамических характеристик

Первый отдел представляет собой квадратный профиль, внутри которого установлена труба и электромоторы с крыльчатками. Длина трубы 310 мм, радиус 159,5 мм. Фиксируется труба со стороны сопла стальными прутьями диаметром 5 мм (ГОСТ 2590-2006), а с входной стороны пластиной плотно прилегающей к квадратному профилю.

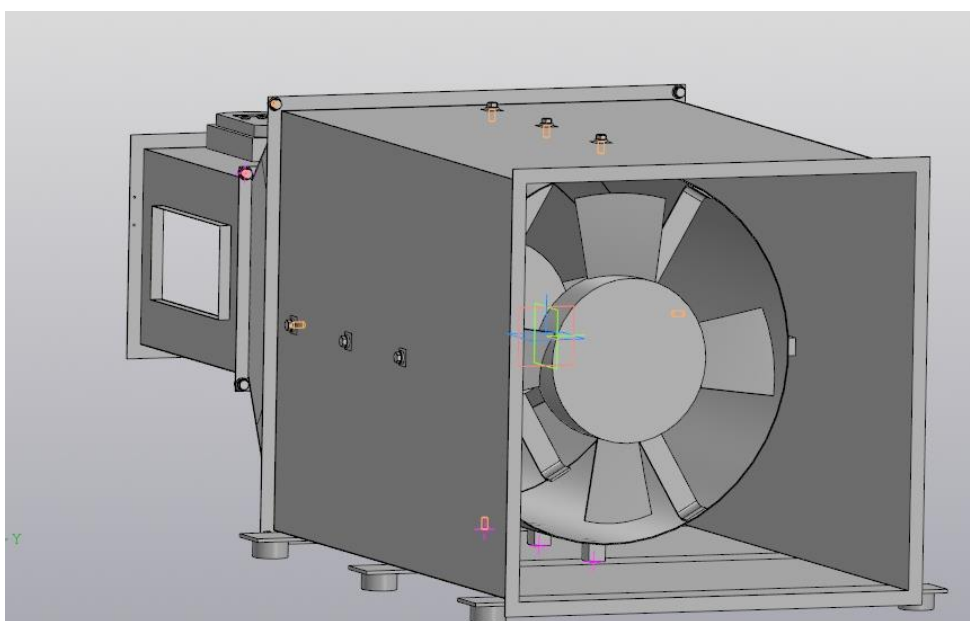


Рисунок 5.1 - Труба и электромоторы с крыльчатками.

Привод – воздушный поток в системе обеспечивается двумя электромоторами с четырех лопастными крыльчатками. Электромоторы приводятся в движение импульсным блок питания.

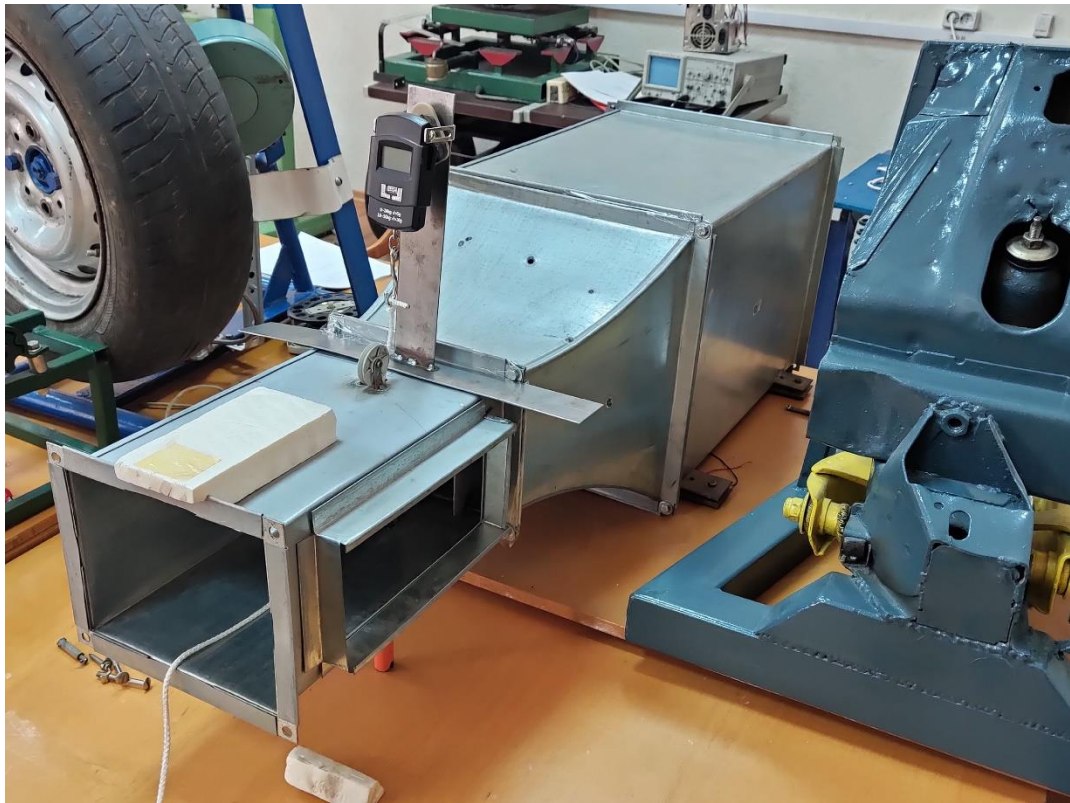


Рисунок 5.2 – Фотография стенда

Для привода крыльчаток используются электродвигатели постоянного тока МЭ-272 с возбуждением от постоянных магнитов, четырех щеточный, восьмиполюсный. Характеристики электродвигателя приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики электромотора МЭ-272

Номинальная мощность	110 Вт
Номинальное напряжение	12 В
Максимальный ток	15А
Номинальная частота вращения	2600 об мин ⁻¹

Для работы электродвигателей было принято решения использовать импульсный блок питания S-500-12. Характеристики блока питания

позволяют подключить к нему сразу 2 электромотора МЭ-272 и обеспечить их работу на полную мощность.

Таблица 1 - Характеристики блока питания S-500-12

Номинальная мощность	500 Вт
Максимальный входной ток	41 А
Рабочее напряжение	170-240 В
Выходное напряжение	12 В

Сопло – это часть аэродинамической трубы, которая обеспечивает требуемый воздушный поток за счет сужающегося выходного сечения. В данном стенде оно имеет различное сечение – на входе круглое (большое), а на выходе прямоугольное (малое). Сопло выполнено следующим способом: в трапециобразную конструкцию устанавливается часть трубы, с одной стороны выполнены вырезы для плотного прилегания трубы к конструкции, с другой для предотвращения потерь напора воздуха наклеены резиновые уплотнители, закрывающие зазор между секциями труб.

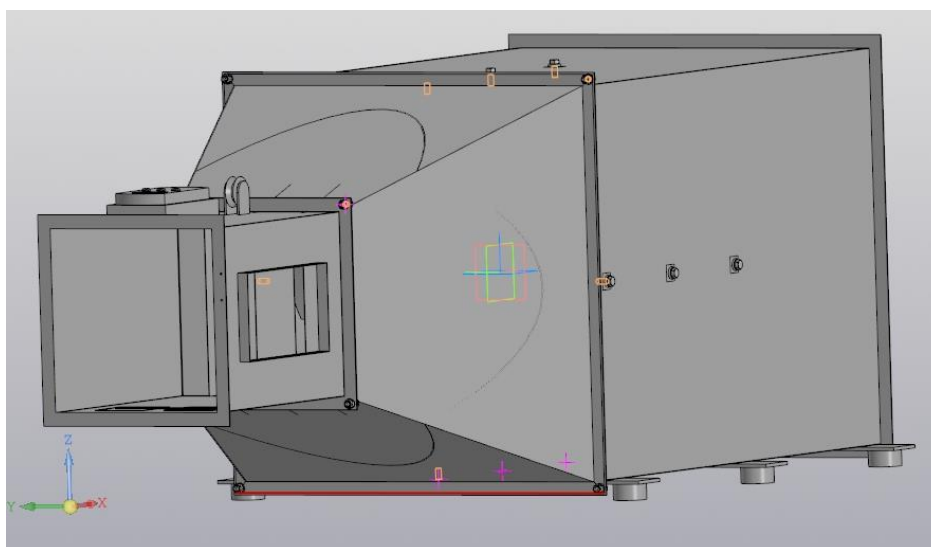


Рисунок 5.3 - Рабочая часть стенда.

Рабочая часть рисунок 40 – это секция, в которой устанавливается испытываемая модель. Данная секция имеет форму параллелепипеда, рабочая площадь квадратного сечения составляет $0,0270\text{м}^2$, на боковой стенке имеется окошко для наблюдения за экспериментом размером 150×80 , Длина самой секции составляет 300мм. Такие размеры обусловлены размером испытываемой модели. На верхней части секции имеется отверстие и пластина, на которую установлены весы 2.11, электронные весы WH-A8. Диапазон измерения весов: 0-10кг (шаг 5 грамм), 10-50кг (шаг 10 грамм).

Вывод по разделу:

Данный стенд, соответствует тем требованиям, которые были предъявлены в техническом задании. Учитывая малую мощность привода, и небольшую скорость воздушного потока - стенд будет использоваться в учебных целях. У данного стенда есть плюсы и минусы. Плюсом является его компактность, стоимость и экономичность.

6 Экспериментальное исследование аэродинамических характеристик в аэродинамической трубе

Методика проведения испытания Подготовительный этап:

- 1) Подключается блок питания к вентиляторам;
- 2) Закрепляется динамометр на штанге;
- 3) Устанавливается модель автомобиля на площадку измерения;

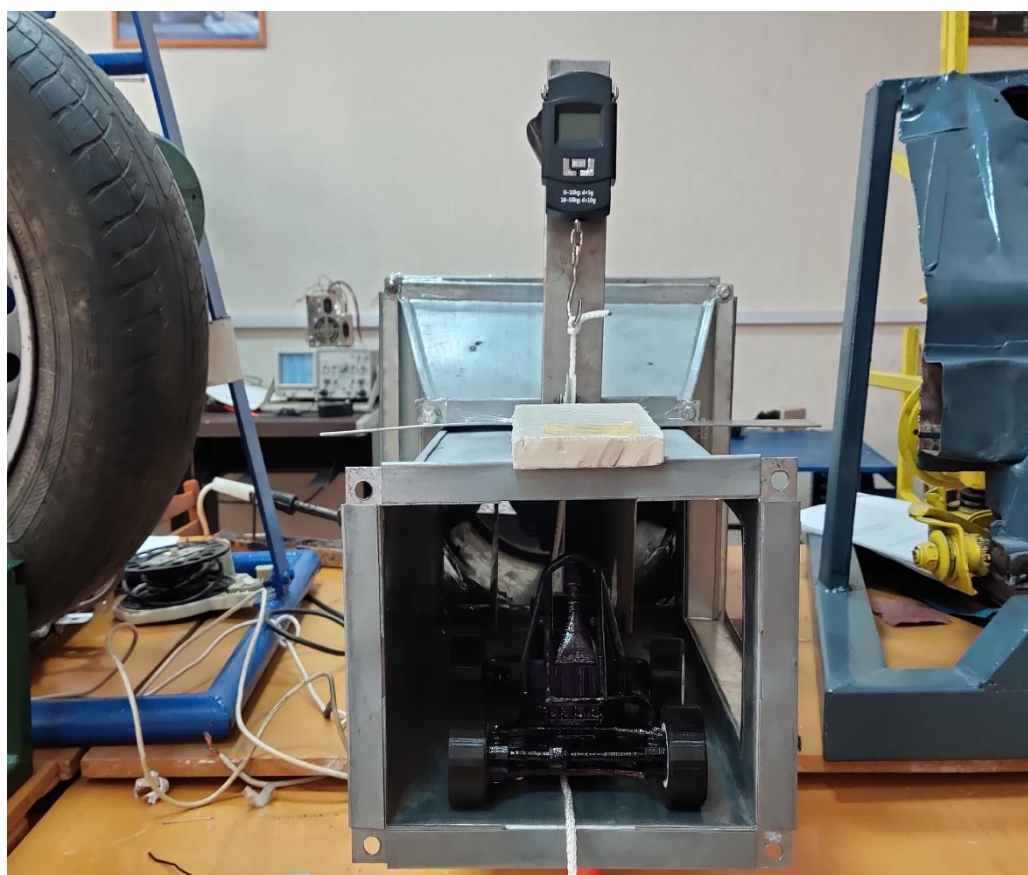


Рисунок 6.1 – Установка макета на стенд

- 4) Модель автомобиля с помощью гибкой сцепки, через ролик, соединяется с динамометром.

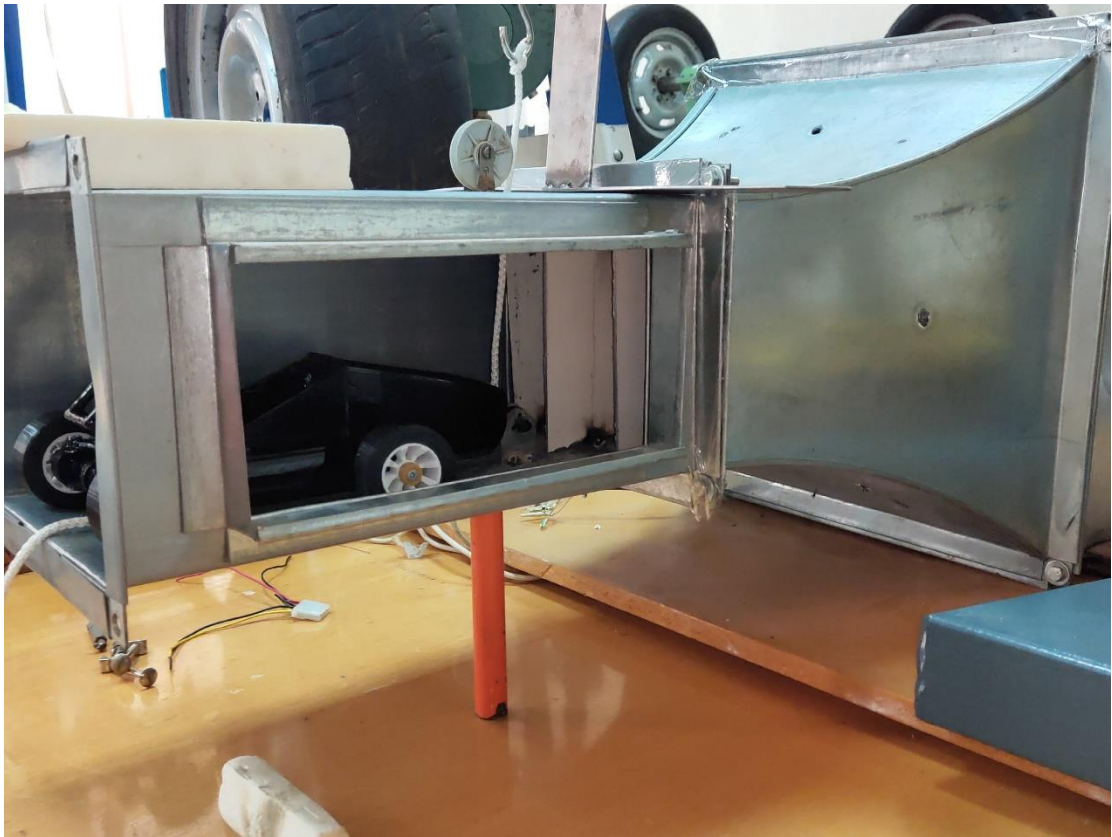


Рисунок 6.2 – Крепление макета к динамометру

Этап испытаний:

- 1) Запускается установка,
- 2) Снимается значение силы сопротивления с динамометра,
- 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,

$$A=0.8HmBm$$

A - Площадь поперечного сечения модели, H - Высота модели, B -
Ширина Модели,

- 9) По формуле находится C_x :

$$F_B=C_x\rho 2AVa^2 ,$$

где A – площадь фронтальной проекции автомобиля, м; v – скорость движения автомобиля относительно воздуха, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; c_x – коэффициент аэродинамического сопротивления.

10) Делается вывод о значении C_x для испытуемой модели автомобиля

11) При необходимости опыт повторяется. С пункта 1.

Перед продуванием модели болида в трубе снимаются данные для дальнейших расчетов:

1. Габаритную высоту болида, $H_b = 7.4$ см,
2. Габаритную ширину болида, $H_{ш} = 15.6$ см,
3. Скорость потока воздуха в аэродинамической трубе = 12 м/с,
4. Направление от машины до динамометра = 40°,

После получения данных модель устанавливается на рабочую площадь и фиксируется веревкой. Фиксирующая веревка закрепляется на динамометре, а сам динамометр закрепляется в неподвижном положении. Когда подготовка закончилась к стенду подается питание.

После подачи питания с динамометра снимается сила сопротивления воздуха. Испытание проходит до момента получения максимальной силы на дисплее динамометра.

Сняв данные стенд выключается и рассчитывается коэффициент аэродинамического сопротивления C_x :

$$F = \frac{C_x \rho}{2} A V_a^2$$

Из уравнения выражаем C_x :

$$C_x = \frac{2F}{\rho A V_a^2},$$

где F - сила лобового сопротивления; A - площадь болида; ρ - плотность воздуха; V_a - скорость болида.

Для того чтобы рассчитать C_x нужно найти недостающие значения, а именно площадь болида A и силу лобового сопротивления F .

$$A = 0.8 \times H_b \times H_{ш} = 0.8 \times 0.074 \times 0.156 = 0.0092 \text{ м}^2$$

$$F = \cos \alpha \times F_b \times g = \cos 40^\circ \times 0.065 \times 9.8 = 0.49 \text{ Н},$$

где F_b - сила сопротивления воздуха, снимаемая с динамометра; g - ускорение свободного падения.

Подставляю в выраженную ранее формулу значения:

$$C_x = \frac{2 \times 0.49}{0.0092 \times 1.293 \times 12^2} = \frac{0.98}{1.71} = 0.57$$

Вывод по разделу:

В процессе исследования я выяснил, что мощности стенда недостаточно для достижения необходимой скорости воздуха. Точность определения коэффициента аэродинамического сопротивления зависит от детализации макета. Чем детализирование и ближе по форме макет болида к оригиналу, тем точнее будут результаты.

7 Тяговый расчет

7.1 Исходные данные болида «Формула студент» 2019

Параметры	Значения
Колесная формула	4*2
Компоновочная схема автомобиля	Заднеприводный
Ширина, мм	2695
Высота, мм	1138
Снаряженная масса m_0 , кг	235
Шины	200/75/R13
Коэффициент сопротивления качению f_0	0,02
Коэффициент аэродинамического сопротивления C_x	0,3
Передаточное число главной пары	3,46
Передаточное число коробки передач	2,5; 1,75; 1,33; 1,095; 0,95; 0,87
$N_{e\max}$, кВт	43
$M_{e\max}$, Нм	52,2
Максимальная скорость V_{\max} , км/ч (м/с)	200 (55,56)
Количество мест	1
Максимальная частота вращения коленчатого вала – $\omega_{e\max}$	838 с^{-1} (8000 об/мин)
Величина максимального преодолеваемого уклона i	0,34
КПД трансмиссии $\eta_{тр}$	0,91

«Полная масса автомобиля находится по формуле» [2]:

$$\langle m_a = m_0 + m_q(n) + m_\delta \rangle [2],$$

«Где m_0 – снаряженная масса автомобиля, (кг)» [2];

« m_q – 75 кг масса человека» [2];

« n – число пассажиров, включая водителя» [2];

« m_δ – вес багажа» [2].

$$\langle m_a = 235 + 75 * 1 = 310 \text{ кг} \rangle [2].$$

«Полный вес автомобиля» [2]:

$$G_a = m_a * g = 310 * 9.81 = 3059,7 \text{ Н}$$

«Вес, действующий на передние колеса» [2]:

$$G_1 = 0,46 * G_a = 0,46 * 3059,7 = 1407,5 \text{ Н}$$

«Вес, действующий на задние колеса» [2]:

$$G_2 = 0,54 * G_a = 0,54 * 3059,7 = 1652,2 \text{ Н}$$

«Для подбора шин необходимо знать нагрузку, приходящуюся на одно колесо, а для этого – распределение нагрузки по осям автомобиля» [2].

«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%» [2].

«Зная размер шин, определяем радиус качения колеса» [2]:

$$r_k = 0.5 * d + \lambda_z * H \quad (2)$$

$d = 13$ – посадочный диаметр, дюймы (= 0.33 м)

$\lambda_z = 0.85$ – коэффициент вертикальной деформации, зависящий от типа шин

$H = 0.12$ – высота профиля шины, м

$$r_k = 0.5 * 0.33 + 0.8 * 0.12 = 0.267 \text{ м}$$

7.2 Аэродинамика болида

«Затем выбираем параметры обтекаемости автомобиля: коэффициент аэродинамического сопротивления и лобовую площадь автомобиля» [2].

«Коэффициент аэродинамического сопротивления C_x зависит от формы и качества окраски автомобиля. $C_x=0,3$ » [2].

«Часто применяемый в литературе коэффициент обтекаемости k связан с C_x следующей зависимостью» [2].

$$k=C_x \cdot \rho/2 \quad , \quad (4)$$

«где ρ – плотность воздуха в нормальных условиях (760 мм рт.ст.), $\rho=1,293$ » [2].

$$k=0,3 \cdot 1,293/2=0,193 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4.$$

«При расчетах лобовую площадь F легковых автомобилей со стандартным кузовом определяют по приближенной формуле» [2].

$$F=0,8 \cdot B_r \cdot H_r \quad (5)$$

где B_r – габаритная ширина автомобиля, м;

H_r - габаритная высота автомобиля, м.

$$F=0,8 \cdot 2,695 \cdot 1,138=2.453 \text{ м}^2$$

«Механический КПД всей трансмиссии может приниматься постоянным для всех передач, 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» [2].

«При малой скорости автомобиля (до 10-15 м/с) коэффициент сопротивления качению f можно считать постоянным. При движении автомобиля с большой скоростью он возрастает вследствие энергетических потерь в шине. Для определения коэффициента сопротивления качению в зависимости от скорости пользуются эмпирической формулой» [2].

$$f = f_0(1+V^2/2000) , \quad (6)$$

где f_0 - коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля с малой скоростью;

V – скорость автомобиля, м/с.

$$f = 0,02 \cdot (1+55,56^2/2000)=0,0508$$

«При движении по мягкому грунту, песку и снегу, учитывая большое количество различных факторов, влияющих на величину коэффициента, в расчет вводят его средние значения (таблица 1.4)» [2].

Таблица 1.4 Коэффициент сопротивления 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

Продолжение таблицы 1.4

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 φ для различных типов дорожного покрытия приведен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 Коэффициент сцепления колес с дорогой

Тип дорог	Состояние поверхности	
	Сухая	Мокрая
Асфальтобетонное и цементобетонное шоссе	0,7 – 0,8	0,35 – 0,6
Дорога с щебеночным покрытием	0,6 – 0,7	0,30 – 0,40
Грунтовая дорога	0,5 – 0,6	0,20 – 0,40
Лед	0,1 – 0,2	0,10 – 0,20
Снег	0,2 – 0,3	0,20 – 0,30

7.3 Определение передаточного числа главной передачи

«Передаточное число главной передачи U_0 определяется, исходя из максимальной скорости автомобиля:» [2].

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \times \frac{\omega_{\max}}{V_{\max}}, \quad (7)$$

«Где ω_{\max} – максимальная угловая скорость коленчатого вала двигателя;» [2].

« U_k – передаточное число высшей передачи в коробке передач, на которой обеспечивается максимальная скорость автомобиля (передаточное число дополнительных редукторов, если они есть, учитываются в знаменателе)» [2].

$$U_0 = \frac{0,2755}{0,78} \times \frac{630}{47,22} = 4,77 \quad (8)$$

В дальнейшем U_0 принимаем 4.77.

«Высшая передача в коробке передач заднеприводных автомобилей с передним расположением двигателя бывает прямой либо повышающей. Для двухвальных коробок передач переднеприводных автомобилей и у заднеприводных с задним расположением двигателя обычно применяют повышающую передачу. Передаточное число повышающей передачи принимается 0,65-0,8» [2].

«При определении U_0 по максимальной скорости V_{\max} задаются максимальной угловой скоростью ω_{\max} . Для легковых автомобилей $\omega_{\max}=650\dots400$ рад/с» [2].

«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» [2].

«Главные передачи заднеприводных легковых автомобилей имеют передаточные числа 3,1-4,9, а переднеприводные – 3,7-5,1» [2].

7.4 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя

«Первоначально определяют мощность двигателя при максимальной скорости автомобиля N_v (в Вт) по формуле мощностного баланса с учетом КПД трансмиссии» [2]:

$$N_v = \frac{1}{\eta_{тр}} (G_a \times \psi_v \times V_{max} + \frac{c_x}{2} \times \rho \times F \times V_{max}^3) \quad (9)$$

«где ψ_v – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля» [2];

«Для легковых автомобилей коэффициент суммарного дорожного сопротивления назначают равным коэффициенту качения при максимальной скорости» [2].

$$\psi_v = f = 0.0296$$

$$G_a = 3059.7 \text{ Н}$$

$$\rho = 1.293 \text{ – плотность воздуха в нормальных условиях (760 мм.рт.ст.)}$$

$$N_v = \frac{1}{0.92} \times (1525 \times 9.81 \times 0.0296 \times 47.22 + 0.278 \times 2,04 \times 47,22^3) =$$

$$= 66936 \text{ Вт} \approx 66,9 \text{ кВт}$$

$$N_v = N_{max} * (a\lambda + b\lambda^2 - c\lambda^3) \quad (10)$$

$a = b = c = 1$ – эмпирические коэффициенты для карбюраторного двигателя.

« $\lambda = \omega_{max} / \omega_N$ – отношение частот вращения коленчатого вала при максимальной скорости к частоте вращения коленчатого вала при максимальной мощности» [2].

$$\lambda = \frac{\omega_{max}}{\omega_N} = \frac{838}{733} = 1.14$$

$$N_v = 43000 * (1.14 + 1.14^2 - 1.14^3) = 41196 \text{ Вт}$$

«По полученным значениям N_{\max} , N_v и формуле (11) рассчитываем внешнюю скоростную характеристику двигателя» [2]:

Эффективная мощность двигателя:

$$N_e = N_{\max} * [a * \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right) + b * \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^2 - c * \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^3] \quad (11)$$

ω_e – текущее значение частоты вращения коленчатого вала

N_v – текущее значение эффективной мощности двигателя, кВт

Эффективный момент двигателя:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e}$$

Результаты расчетов сведем в таблицу 1.7

Таблица 1.7			
n_e , об\мин	ω_e , об\мин	N_e , кВт	M_e , Н*м
3000	314	14	45,8
3500	366,5	17	46,3
4000	419	19,5	47,3
5000	523,6	29,6	57,23
5500	576	35	62,3
6000	628	37,6	61
6500	681	41,4	62
7000	733	43	59,5
8000	838	43	52

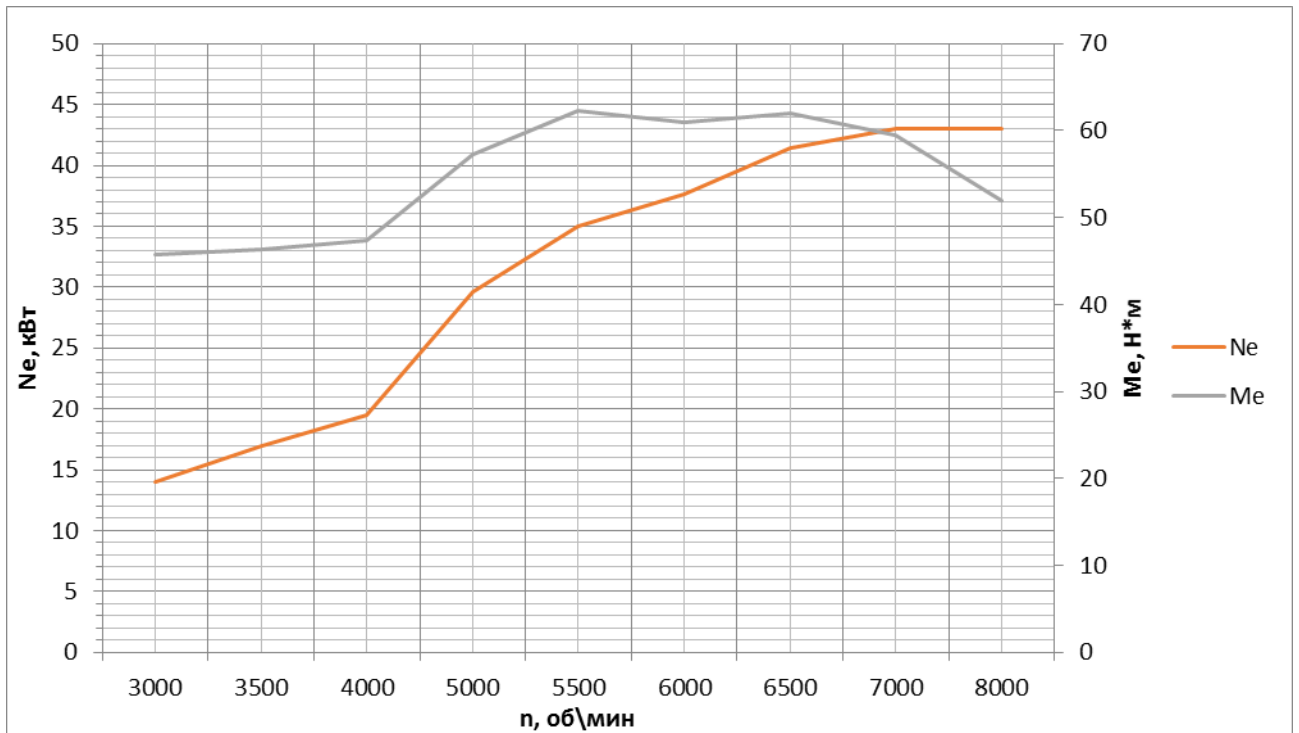


Рис. 32. Внешняя скоростная характеристика двигателя

7.5 Определение передаточного числа главной передачи

«Главная передача – U_0 рассчитывается исходя из значения максимальной скорости болида V_{max} » [2].

$$U_0 = \frac{r_k}{U_k} \times \frac{\omega_{max}}{V_{max}} \quad (15)$$

ω_{max} – максимальная угловая скорость коленчатого вала двигателя.

« U_k – передаточное число высшей передачи в коробке передач, на которой обеспечивается максимальная скорость автомобиля $U_k = 0,87$ » [2].

$$U_0 = \frac{0,267}{0,87} \times \frac{838}{55,56} = 4,63$$

где U_0 – передаточное число главной передачи;

«Дальнейшие расчеты производятся относительно повышенного ряда передаточных чисел» [2].

7.6 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 уравнение силового баланса» [2]:

$$F_T = F_{д+} + F_{в+} + F_{\Sigma}$$

« F_T – сила тяги ведущих колес» [2];

« $F_{д+}$ – сила дорожного сопротивления» [2];

« $F_{в+}$ – сила сопротивления воздуха» [2];

« F_{Σ} – сила сопротивления разгону автомобиля (не учитывается)» [2].

«Вначале строят тяговую характеристику автомобиля – зависимость силы тяги на ведущих колесах F_T от скорости автомобиля V для каждой из передач в коробке передач. Силу тяги на разных передачах рассчитываются по формуле» [2]:

$$F_{Ti} = \frac{U_k \times U_0 \times M_e \times \eta_{тп}}{r_k} \quad (20)$$

« U_k – передаточное число коробки передач» [2];

« M_e – величина эффективного момента двигателя (Нм)» [2].

«Рекомендуется пользоваться выбранными выше значениями ω_e (при расчете внешней скоростной характеристики), приводя в соответствие с ними скорости автомобиля на разных передачах» [2]:

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

«При движении автомобиль приобретает силу сопротивления воздуха, которую определяют по формуле» [2]:

$$F_B = k * F * V_a^2 \quad (21)$$

«Сила сопротивления качению автомобиля» [2]:

$$F_D = G_a \times \psi ,$$

«где $\psi = f = f_0 * (1 + V_a^2 / 2000)$ – зависимость коэффициента трения качения от скорости движения автомобиля. Результаты расчетов сведем в таблицу» [2].

Таблица 1.9

ω_e	314	366,5	419	523,6	576	628	681	733	838	
M_e	45,8	46,3	47,3	57,23	62,3	61	62	59,5	52	
1 передача	V	7,2	8,5	9,7	12,1	13,3	14,5	15,7	16,9	19,3
	Ft	1787	1806,5	1845,5	2232,9	2430,8	2380	2419	2321,5	2028,9
	f	0,0205	0,0207	0,0209	0,0215	0,0218	0,0221	0,0225	0,0229	0,0237
	F _B	11,5	15,7	20,6	32,1	38,8	46,2	54,3	62,9	82,2
	F _D	62,8	63,4	64,1	65,7	66,6	67,6	68,7	69,9	72,6
2 передача	V	10,3	12,1	13,8	17,3	19	20,7	22,4	24,2	27,6
	Ft	1250,9	1264,5	1291,8	1563,1	1701,5	1666	1693,3	1625,1	1420,2
	f	0,0211	0,0215	0,0219	0,023	0,0236	0,0243	0,025	0,0258	0,0276

Продолжение таблицы 1.9

	F в	23,6	32,1	41,9	65,5	79,3	94,2	110,8	128,4	167,8
	F д	64,5	65,7	67	70,3	72,2	74,3	76,6	79	84,5
3 передача	V	13,6	15,9	18,2	22,7	25	27,2	29,5	31,8	36,3
	Ft	950,7	961	981,8	1187,9	1293,2	1266,2	1286,9	1235	1079,4
	f	0,0219	0,0225	0,0233	0,0252	0,0262	0,0274	0,0287	0,0301	0,0332
	F в	40,8	55,6	72,6	113,4	137,2	163,1	191,8	222,2	290,5
	F д	66,9	68,9	71,3	77	80,3	83,9	87,9	92,1	101,6
4 передача	V	16,5	19,3	22,1	27,6	30,3	33,1	35,9	38,6	44,1
	Ft	782,7	791,2	808,3	978	1064,7	1042,5	1059,5	1016,8	888,6
	f	0,0227	0,0237	0,0249	0,0276	0,0292	0,0309	0,0329	0,0349	0,0395
	F в	60,2	82	107,1	167,3	202,5	240,7	283	327,9	428,5
	F д	69,6	72,6	76,1	84,5	89,3	94,7	100,5	106,8	120,8
5 передача	V	19,1	22,2	25,4	31,8	35	38,1	41,3	44,5	50,9
	Ft	680	687,5	702	849,5	924,7	905,4	920,2	883,2	772
	f	0,0237	0,0250	0,0226	0,0302	0,0323	0,0346	0,0372	0,0399	0,0460
	F в	80	109,9	143,3	223,3	270	320,7	377	436,6	560,3

Продолжение таблицы 1.9

	F _д	72,3	76,3	81	92,1	98,6	105,7	113,5	121,8	140,4
6 передача	V	20,8	24,3	27,8	34,7	38,2	41,6	45,1	48,6	55,5
	F _т	622,9	629,7	643,2	778,1	846,9	829,2	842,8	808,9	707
	f	0,0244	0,0260	0,0278	0,033	0,0347	0,0374	0,0405	0,0437	0,0609
	F _в	96,3	130,8	170,7	266	321,7	382,2	449,3	520,4	679,8
	F _д	75,4	80,3	85,8	99	106,8	115,2	124,5	134,4	156,6

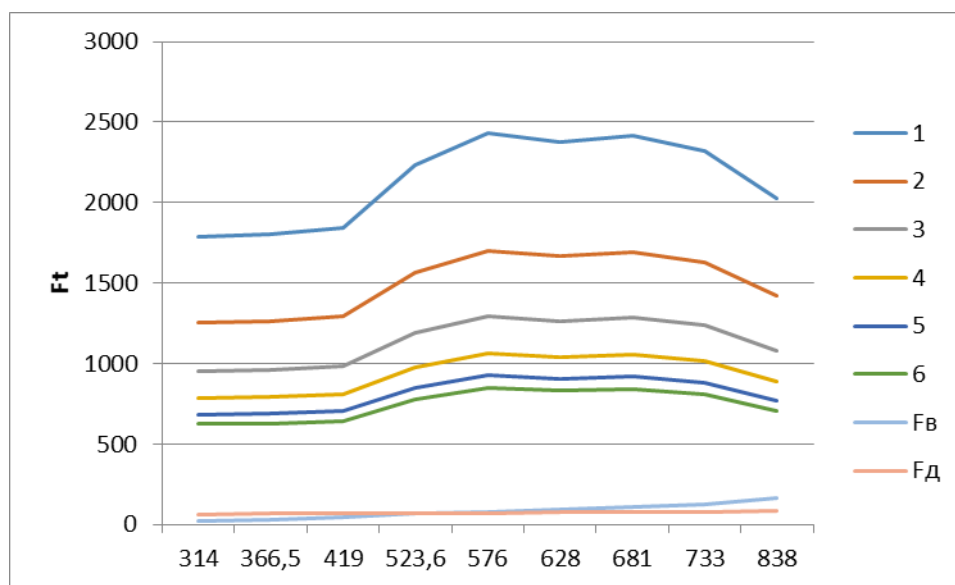


Рис. 33. Тяговый баланс автомобиля.

7.7 Динамические характеристики автомобиля

«Динамическим фактором D автомобиля называют отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу автомобиля» [2]:

$$D = \frac{F_T - F_B}{G_a} \quad (23)$$

«По формуле и по данным силового баланса рассчитывают и строят динамическую характеристику автомобиля, данные расчета заносят в таблицу и представляют графически» [2].

«Чтобы учесть влияние буксования ведущих колес, определяем динамический фактор по сцеплению» [2]:

$$D_{\text{сц}} = \frac{G_{\text{сц}} * \varphi}{G_a} = \frac{1792,6 * 0,7}{3059,7} = 0,41$$

Таблица 1.11

Динамический фактор D на передаче					
I	II	III	IV	V	VI
0,58	0,40	0,30	0,24	0,20	0,17
0,59	0,40	0,30	0,23	0,19	0,16
0,6	0,41	0,30	0,23	0,18	0,15
0,72	0,49	0,35	0,26	0,20	0,17
0,78	0,53	0,38	0,28	0,21	0,17
0,76	0,51	0,36	0,26	0,19	0,15
0,77	0,52	0,36	0,25	0,18	0,13
0,74	0,49	0,33	0,23	0,15	0,09
0,64	0,41	0,26	0,00	0,07	0,01

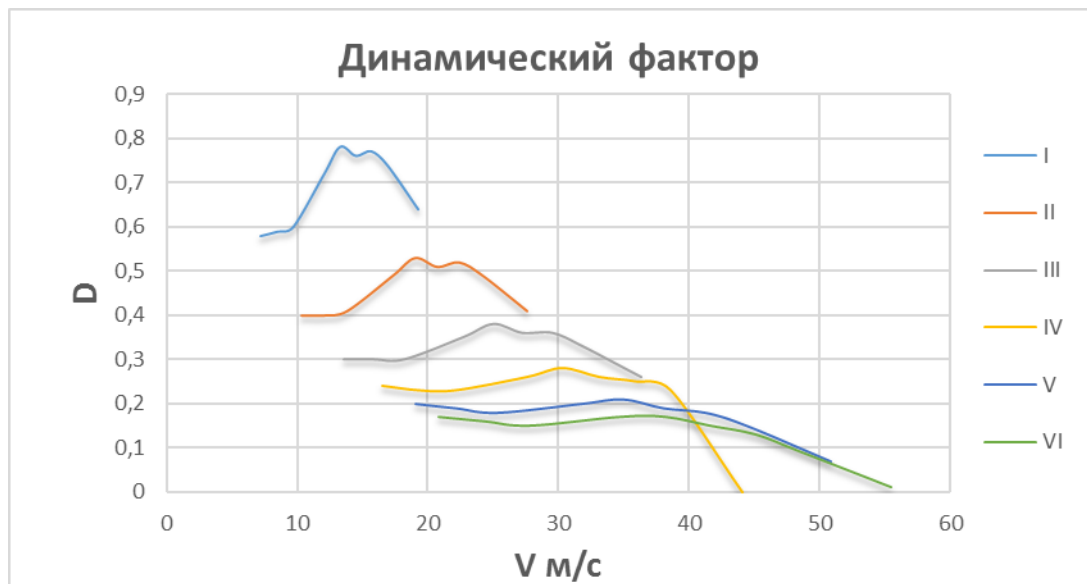


Рис.34. Динамический фактор.

7.8 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. Ускорение находят» [2]:

$$J = \frac{(D-f) \times g}{\delta_{вр}}, \text{ где} \quad (24)$$

$\delta_{вр} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_k^2)$ - коэффициент учета вращающихся масс двигателя, который определяем для каждой передачи в отдельности по формулам:

$$\begin{aligned} & \text{I передача} - \delta_{вр1} \\ & = 1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_1^2) = 1 + (0,05 + 0,05 + 2,5^2) = 1,362 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{II передача} - \delta_{вр2} \\ & = 1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_2^2) = 1 + (0,05 + 0,05 + 1,75^2) = 1,203 \end{aligned}$$

III передача - $\delta_{вр3} =$

$$1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_3^2) = 1 + (0,05 + 0,05 + 1,33^2) = 1,138$$

IV передача - $\delta_{вр4} =$

$$1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_4^2) = 1 + (0,05 + 0,05 + 1,095^2) = 1,110$$

V передача - $\delta_{вр5} =$

$$= 1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_5^2) = 1 + (0,05 + 0,05 + 0,95^2) = 1,095$$

VI передача $\delta_{вр6} =$

$$1 + (\delta_1 + \delta_2 + U_6^2) = 1 + (0,05 + 0,05 + 0,87^2) = 1,088$$

«Определяем ускорение разгона, вноси результаты в таблицу 6 и строим график зависимости $j = f(V)$ » [2].

Таблица 6.

Передача	Ускорение j , м\с ²								
I	4,000	4,021	4,091	4,941	5,370	5,210	5,260	4,980	4,190
II	3,031	3,010	3,021	3,600	3,890	3,700	3,670	3,380	2,600
III	2,240	2,181	2,130	2,440	2,590	2,341	2,221	1,871	0,991
IV	1,690	1,570	1,450	1,540	1,560	1,240	1,010	0,590	-0,350
V	1,271	1,101	0,920	0,810	0,720	0,320	-0,011	-0,521	-1,740
VI	1,011	0,801	0,570	0,320	0,151	-0,310	-0,730	-1,310	-2,680

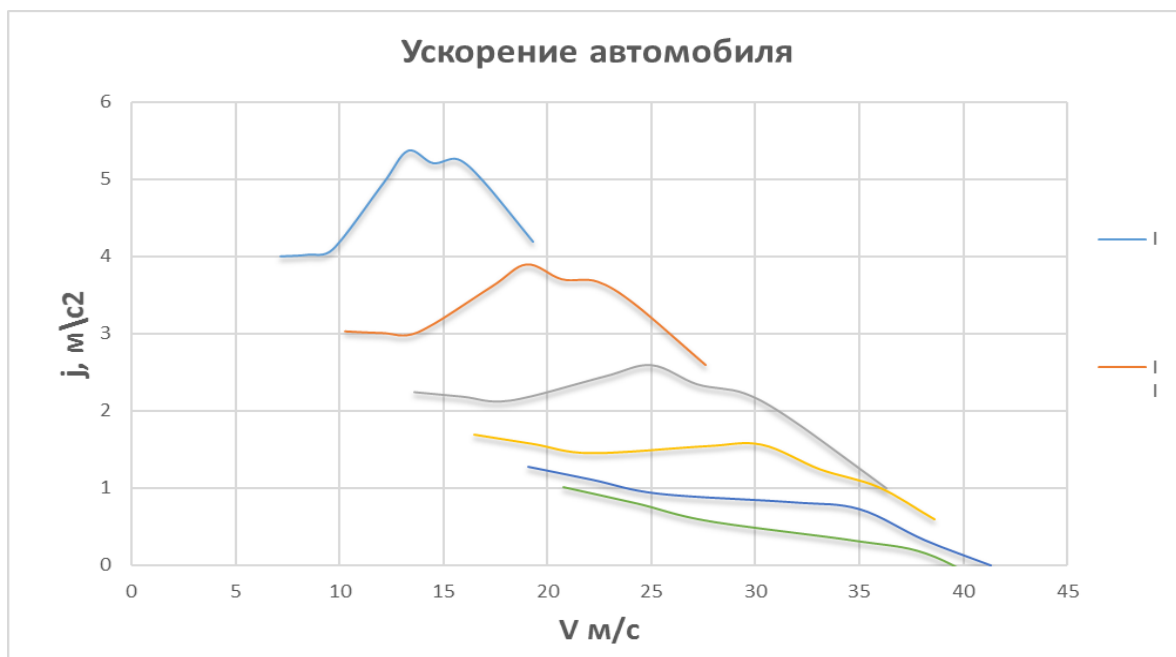


Рис. 35. Ускорение автомобиля.

«Далее находим обратные ускорения ($1/j$) и заносим в таблицу 7. Так как при максимальных скоростях ускорение стремится к 0, то для расчета обратных ускорений скорость ограничивают по следующему принципу» [2]:

$$V = (0,8 \dots 0,9)V_{\max}$$

Таблица 7

Передача	Величина, обратная ускорению $1/j$, c^2/m								
I	0,251	0,251	0,241	0,202	0,181	0,191	0,192	0,191	0,232
II	0,321	0,321	0,321	0,261	0,241	0,251	0,251	0,261	0,321
III	0,421	0,423	0,421	0,368	0,331	0,351	0,351	0,391	0,521
IV	0,530	0,540	0,550	0,480	0,450	0,491	0,510	0,590	-2,870
V	0,651	0,680	0,710	0,641	0,610	0,711	1,001	1,050	5,750
VI	0,750	0,810	0,881	0,820	0,810	1,020	1,260	2,191	-2,641

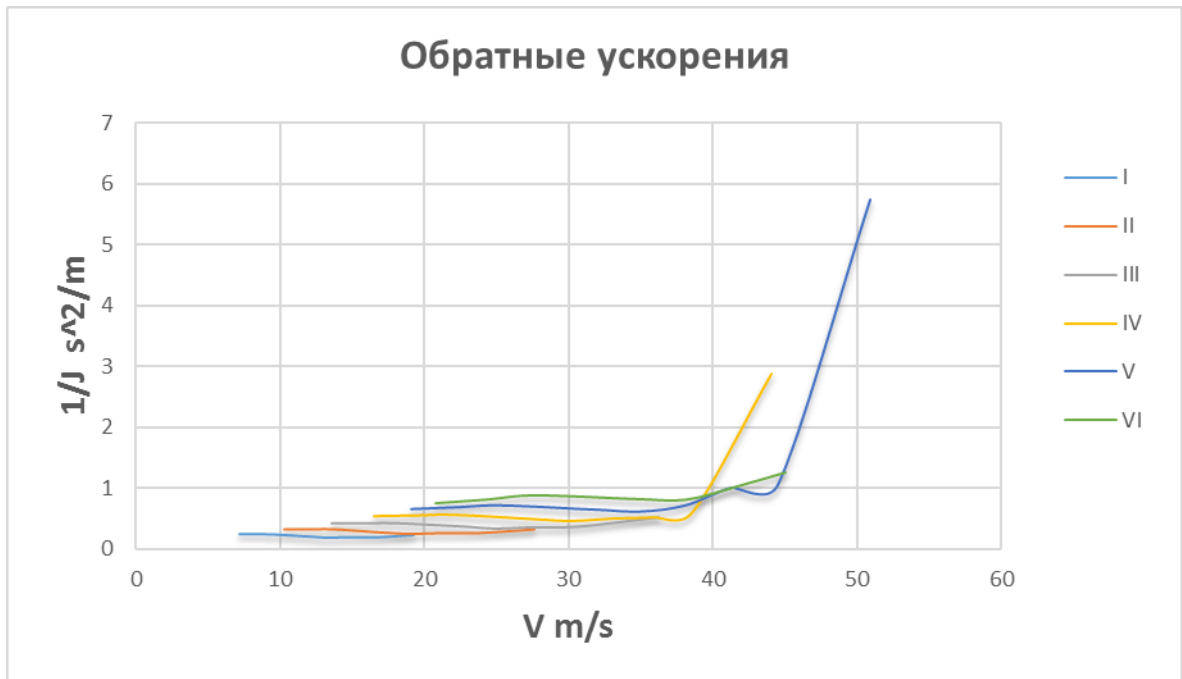


Рис. 36. Обратные ускорения автомобиля.

7.9 Время и путь разгона

«Время и путь разгона автомобиля определяем графоаналитическим способом. Интегрирование заменяем суммой конечных величин» [2].

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

(27)

«Для этого кривую обратных ускорений разбивают на интервалы и считают, что в каждом интервале автомобиль разгоняется с постоянным ускорением $j = \text{const}$, которому соответствует значение $(1/j) = \text{const}$. Эти величины определяют следующим образом» [2]:

$$\left\langle \left(\frac{1}{j_{cp}} \right)_k = \frac{\left(\frac{1}{j} \right)_{k-1} + \left(\frac{1}{j} \right)_k}{2} \right\rangle [2],$$

k – порядковый номер интервала

«Заменяя точное значение площади под кривой (1/j) в интервале ΔV_k на значение площади прямоугольника со сторонами ΔV_k и $\left(\frac{1}{j_{cp}}\right)_k$, переходим к приближенному интегрированию» [2]:

$$\Delta t = \left(\frac{1}{j_{cp}}\right)_k * (V_k - V_{k-1})$$

$$\langle t_1 = \Delta t_1, t_2 = \Delta t_1 + \Delta t_2, t_n = \sum_{k=1}^n \Delta t_k \rangle [2],$$

«где t_1 – время разгона от скорости V_0 до скорости V_1 » [2];

« t_2 – время разгона до скорости V_2 » [2];

«По результатам расчета строим таблицу 8» [2].

Таблица 8

V, м/с	t, с
20,8	1,81
24,3	2,73
27,8	2,95
34,7	3,85
38,2	4,9
41,6	6,1
45,1	7,11
48,6	7,81



Рисунок 37 – Время разгона автомобиля.

«Точно также производится и графическое интегрирование зависимости $t = f(V)$ для отображения взаимосвязи скорости автомобиля и пути разгона S » [2].

«Для определения зависимости пути разгона и кривую $t = f(V)$ разделяют на временные интервалы, для которых выводят соответствующие значения $V_{срk}$ » [2].

«Площадь элементарного прямоугольника в интервале Δt_k – это путь автомобиля, перемещающегося с постоянной скоростью $V_{срk}$ от отметки t_{k-1} до отметки t_k » [2].

Определяем величину площади элементарного прямоугольника по формуле:

$$\Delta S = V_{срk} * (t_k - t_{k-1}) = V_{срk} * \Delta t_k, \text{ где} [2].$$

$k = 1 \dots m$ – порядковый номер интервала, m выбирается произвольно ($m=n$).

«Путь разгона от скорости V_0 до скорости V_1 : $S_1=\Delta S_1$, до скорости V_2 : $S_2=\Delta S_2$, до скорости V_n : $S_n=\sum_{k=1}^m \Delta S_k$ » [2].

По результатам расчета составляем табл.9

Таблица 9.

$V, \text{ м/с}$	$S, \text{ м}$
22,55	20,74
26,05	26,47
31,25	54,6
36,45	92,87
39,9	140,75
43,35	184,54
46,85	217,53



Рис. 38. Путь разгона автомобиля.

7.10 Мощностной баланс автомобиля

$$N_T = N_e - N_{тр} = N_f + N_n + N_B + N_D \quad (28)$$

«Мощностной баланс рассчитываем из выбранного ранее интервала по угловой скорости коленвала двигателя и скорости болида. Данные заносим в таблицу 10 и по полученным данным строим график» [2].

Таблица 10

n_e , рад/с		3000	3500	4000	5000	5500	6000	6500	7000	8000
N , кВт		14	17	19,5	29,6	35	37,6	41,4	43	43
1 передача	V	7,2	8,5	9,7	12,1	13,3	14,5	15,7	16,9	19,3
	N_t	12,94	15,35	17,9	27	32,3	34,5	37,9	39,2	39,1
	N_B	0,08	0,13	0,19	0,88	0,51	0,67	0,85	1,06	1,58
	N_D	0,45	0,54	0,62	0,79	0,88	0,98	1,08	1,18	1,4
2 передача	V	10,3	12,1	13,8	17,3	19	20,7	22,4	24,2	27,6
	N_t	12,8	15,3	17,8	27	32	34,48	37,9	39,3	39,2
	N_B	0,24	0,38	0,57	1,13	1,50	1,95	2,48	3,1	4,63
	N_D	0,66	0,79	0,92	1,21	1,37	1,54	1,71	1,91	2,33
передача	V	13,6	15,9	18,2	22,7	25	27,2	29,5	31,8	36,3

	N_t	12,92	15,28	17,86	26,95	32,32	34,4	37,96	39,27	39,18
	N_B	0,55	0,88	1,32	2,57	3,43	4,43	5,66	7,06	10,54
	N_d	0,91	1,09	1,297	1,74	2	2,28	2,59	2,93	3,68
4 передача	V	16,5	19,3	22,1	27,6	30,3	33,1	35,9	38,6	44,1
	N_t	12,9	15,27	17,86	26,9	32,25	34,5	38	39,25	39,19
	N_B	0,99	1,58	2,36	4,61	6,13	7,96	10,15	12,65	18,89
	N_d	1,15	1,4	1,68	2,33	2,7	3,13	3,61	4,12	5,32
5 передача	V	19,1	22,2	25,4	31,8	35	38,1	41,3	44,5	50,9
	N_t	12,93	15,24	17,8	27	32,33	34,46	37,96	39,25	39,24
	N_B	1,52	2,42	3,61	7,07	9,414	12,18	15,52	19,38	28,97
	N_d	1,38	1,69	2,06	2,93	3,45	4,02	4,68	5,42	7,14

Продолжение таблицы 10.

6 передача	V	20,8	24,3	27,8	34,7	38,2	41,6	45,1	48,6	55,5
	N_t	12,93	15,27	17,85	26,96	32,31	34,45	38	39,26	39,18
	N_B	1,98	3,15	4,71	9,19	12,2	15,8	20,21	25,24	37,67
	N_d	1,55	1,92	2,35	3,4	4	4,75	5,57	6,48	8,63

8 Требования безопасности при работе с 3D-принтером

В процессе эксплуатации 3D-принтера соблюдайте простую технику безопасности:

1. Не пользуйтесь поврежденными кабелями, розетками и штекерами. Не допускайте перегибания, перекручивания, изломов и деформации кабеля питания, коммутирующего USB-провода.

2. Не касайтесь питающего кабеля мокрыми руками, аккуратно отключайте/подключайте кабель, не допускайте выдергиваний.

3. Работа 3D-принтера происходит с использованием высоких температур (экструдер – до 270°C, стол – до 110°C). Исключить прикосновения к разогретым частям и узлам агрегата.

4. Исключить прикосновения и помехи для подвижных узлов и деталей работающего 3D-принтера.

5. Исключить падения и удары по корпусу и подвижным узлам агрегата.

6. Используйте только кабели, входящие в комплектацию 3D-принтера, в ином случае – используйте аналоги с точным соответствием техническим характеристикам 3D-принтера.

7. Используйте в работе только качественные материалы для полноценной печати ваших моделей.

8. Исключить работу 3D-принтера в окружении и/либо среде воспламеняющихся и взрывоопасных веществ. Также не допускать совместного хранения агрегата с указанными веществами, включая материалы и аксессуары для 3D-печати.

9. Рекомендуется не оставлять без присмотра процесс печати.

Проводимые мероприятия при работе с 3D-принтером:

1. Ознакомление с инструкцией по эксплуатации 3D-принтера.

2. Обучение работы с 3D-принтером.

3. Инструктаж по технике безопасности с отмечанием в журнале.

4. Применение безопасного пластика для печати.

5. Использовать защитные перчатки и иголку при чистке забившегося экструдера во избежание ожогов кожи на руке.

6. Не прикасаться к игле после прочисти экструдера.

7. Если в сети наблюдаются перепады напряжения, необходимо при подключении 3D-принтера использовать источник бесперебойного питания.

8. Не прикасаться мокрыми руками к питающему кабелю, осторожно вынимать его из питания после окончания работы.

9. После печати не спешить с откреплением напечатанной модели, а давать время на ее остывание и рабочего стола во избежание ожогов и сбоя настроек рабочей поверхности.

9 Расчет экономической эффективности использования 3д-моделей для определения аэродинамических параметров спортивных болидов
формулы студент

Таблица 1 – Содержание процесса проектирования, изготовления

№ Стадии	Наименование стадий	№ этапа	Содержание работы	Трудоемкость, чел /дн.				Численность работников, чел.
				T _{min}	T _{max}	T _{ож}	T _i	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Ознакомление с существующими конструкциями спортивных болидов различных классов	1.1.	Составление плана исследования	2	5	3,2	1,6	2
		1.2	Анализ существующих конструкций спортивных болидов.	3	6	4,2	2,1	2
2.	Разработка 3D модели исследуемого объекта	2.1	Проектирование 3D модели болида.	10	18	13,2	4,4	3
		2.2	Создание 3D модели.	20	26	22,4	11,2	3

Продолжение таблицы 1

3.	Проведение экспериментов с помощью аэродинамического стенда и их анализ.	3.1.	Продувка 3D модели с помощью аэродинамического стенда.	3	6	4,2	1,4	3
		3.2	Изучение сил, действующих на болид.	4	6	4,8	2,4	2
		3.3	Анализ полученных данных.	6	9	7,2	3,6	2
4.	Оформление результатов исследований	4.1.	Обработка и оформление результатов.	4	8	5,6	2,8	2

Определяют ожидаемую трудоемкость по следующей формуле:

$$t_{ож.і} = (3t_{min} + 2t_{max})/5 \quad (1.1.)$$

где: t_{min} -оптимистическая оценка трудоемкости выполнения работы в чел./дн., (Приложение 1);

t_{\max} -пессимистическая оценка трудоемкости выполнения работы в чел./дн.,(Приложение 1).

Длительность работы либо этапа определяем:

$$T_{эmi} = t_{ожi.i}/P_i , \quad (1.2.)$$

где: P_i - численность исполнителей, чел.(Приложение 2).

Суммарная длительность НИиОКР:

$$T_{\Sigma}=29,5 \quad (1.3.)$$

Удельный вес каждого этапа определяется в %, принимая T_{Σ} за 100%,
т.е.

$$Уд_{эmi} = T_{эmi}/T_{\Sigma}*100\% \quad (1.4.)$$

Таблица 2 – Ожидаемая длительность

№ Этапа	Численность исполнителей			Всего	Тож	Тсум	Удэт
	Препоод.	Студент	Студент				
1,1	1	1	0	2	3,2	65	4,92
1,2	1	1	0	2	4,2		6,46
2,1	1	1	1	3	13,2		20,31
2,2	0	1	1	2	22,4		34,46
3,1	1	1	1	3	4,2		6,46
3,2	0	1	1	2	4,8		7,38

3,3	0	1	1	2	7,2		11,08
4,1	1	1	0	2	5,6		8,62

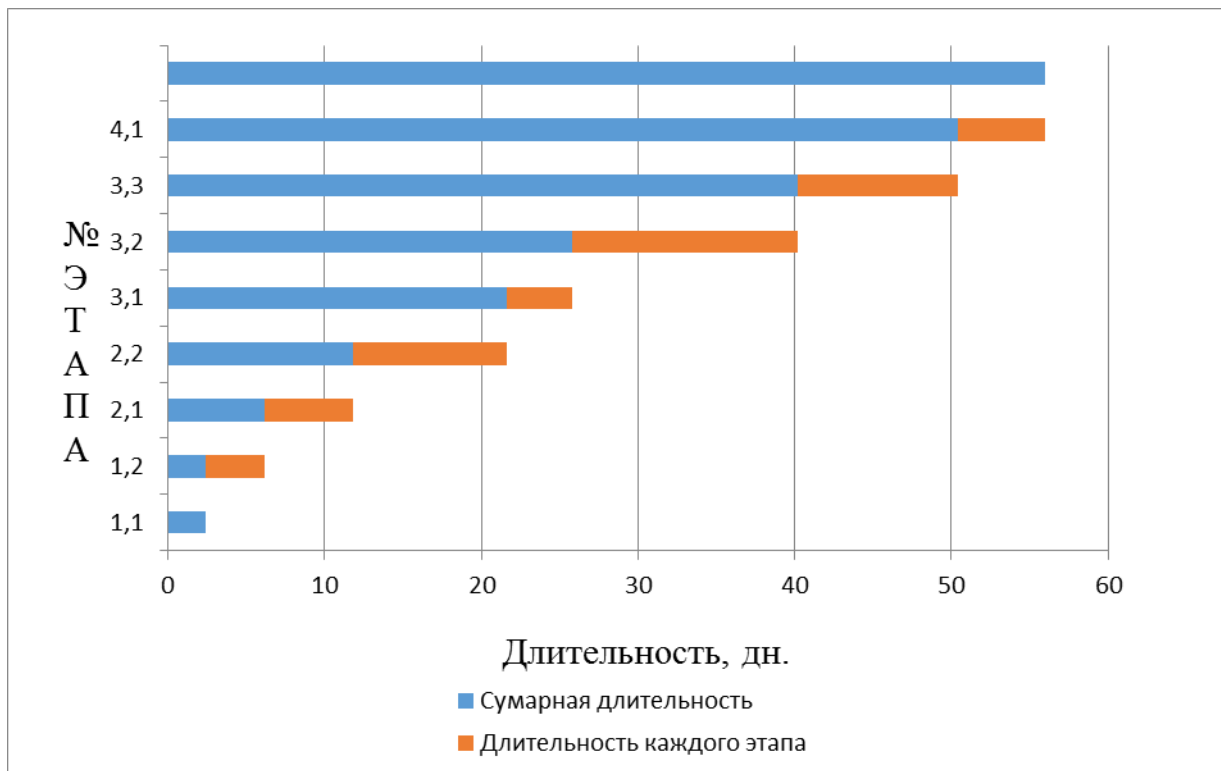


Рисунок 1 – График выполнения НИиОКР

Таблица 3 - Табелирование работ НИР

№работы	Преподаватель	Студент	Студент
1.1.	3,2	3,2	-
1.2.	4,2	4,2	-
2.1.	13,2	13,2	13,2
2.2.	-	22,4	22,4
3.1.	4,2	4,2	4,2
3.2.	-	4,8	4,8

3.3	-	7,2	7,2
4.1.	5,6	5,6	-
Итого	30,4	64,8	51,8

РАСЧЕТ ПРЕДПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ЗАТРАТ НА НИиОКР.

2.3. Расчет текущих затрат.

Расчет расходов на заработную плату научного и производственного персонала (НИиОКР).

$$F_{\text{эф}} = F_{\text{раб.}} * q * n = F_{\text{эф}} = 70 * 8 * 1 = 560 \quad (2.1.)$$

Где: $F_{\text{раб.}}$ - число рабочих дней в году (Прилож.9);

q - количество часов в смену, (Прилож.9);

n - количество рабочих смен в день, (Прилож.9).

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

$$D = F_{\text{эф.}} / 12q, \text{ дн. } D = 560 / 3 * 8 = 24 \quad (2.2.)$$

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

$$K_{\text{исп.}i} = F_i / D \quad (2.3.)$$

$$K_{\text{исп.}1} = 30,4 / D = 1,27; K_{\text{исп.}2} = 64,8 / D = 2,7; K_{\text{исп.}3} = 51,8 / D = 2,16$$

Где: F_i – количество отработанных дней i -м исполнителем (берется из табеля учета рабочего времени – Табл.3).

Расчет заработной платы исполнителей с должностными окладами:

$$Зитр.п = 1,27*30000* 1= 38100 \quad (2.4.)$$

$$Зитр.с = 2,7*8200* 1=22140$$

$$Зитр.с = 2,16*8200* 1 = 17712$$

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

Окл. – должностной оклад i -го исполнителя, руб.(Прилож.3)

N – количество исполнителей, чел.(Прилож.2)

Расчет заработной платы исполнителей с должностными окладами сведен в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Заработная плата

Должность Исполнителя	Кол-во исполнителей чел.	Средне- месячный оклад, руб.	Время работы, месяцы	Заработная плата, руб.
1.Руководитель	1	30000 руб	1,27	38100
2.Студент	1	8200 руб	2,7	22140
3.Студент	1	8200 руб	2,16	17712
Итого		46400		77952

Расчет заработной платы всех исполнителей:

$$З_{исп.} = Зитр.п + Зитр.с + Здоп., \text{ руб.} = 77952 \quad (2.8.)$$

Расчет отчислений в единый социальный фонд:

$$C_{соц.} = З_{исп.} * K_{соц.}, \text{ руб.} = 27750,91 \quad (2.9.)$$

где $K_{соц.}$ – коэффициент отчислений в единый социальный фонд,%,
принимается равным 35,6%

Расчет затрат на электроэнергию:

$$C_{эл.} = N_y * K_{исп} * T_{м.и.} * n * (C_{эл.}/60) * K_{заг} \quad (2.10.)$$

Где: N_y - мощность оборудования,кВт (Прилож.6);

$K_{исп}$ - коэффициент использования (Прилож.6);

$K_{загр}$ - коэффициент загрузки (принимается равным 0,98);

$T_{м.і}$ – машинное время работы $i^{ого}$ оборудования на один эксперимент (Прилож.6)

Цэл. – цена одного кВт*ч (Прилож.6);

n – количество экспериментов (Прилож.6)

Расчет затрат на электроэнергию сведен в таблицу 2.3

Таблица 2.3 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	$N_{у}$, кВт	$K_{заг}$	$K_{исп.}$	$T_{м.і}$ Мин.	n Эксп.	Цэл., руб.	Сэл, Руб.
1.Компьютер	0,3	0,98	1	1248	25	2,92	446,41
2.Стенд	0,1		0,06	1040	3		0,89
3.3Д ПРИНТЕР	0,2		0,34	600	25		48,65
Итого:							495,95

Расчет амортизационных отчислений.

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

$$\sum C_{ам} = \frac{Соб. * Нам. * T_{м.і}}{F_{обор} * 100}, \quad \sum C_{ам} = 3714,29 + 3064,29 = 6778,58 \text{руб.} \quad (2.11.)$$

где: $F_{обор}$. – годовой эффективный фонд времени работы оборудования, рассчитываемый по формуле:

$$F_{обор} = F_{раб.} * q * K_{загр.} = 70 * 1 * 8 = 560$$

$$F_{\text{обор.3d}} = 190,4 \quad F_{\text{обор.с}} = 33,6$$

$N_{\text{ам}}$ - амортизационные отчисления(Прилож.9);

$C_{\text{об}}$ - первоначальная стоимость оборудования с учетом транспортировки и монтажа (Прилож.7);

$T_{\text{м.и}}$ – общее время работы оборудования, которое рассчитывается по формуле:

$$T_{\text{м.и}} = D_{\text{обор}} * q * K_{\text{загр}}; = 65 * 8 * 1 = 520$$

$$T_{\text{м.и.3d}} = 176,8 \quad T_{\text{м.и.с}} = 31,2$$

$F_{\text{раб.}}$ – число рабочих дней в году (Прилож.9);

q – продолжительность смены, час (Прилож.9)

$K_{\text{загр.}}$ – коэффициент использования работы оборудования (Прилож.9)

$D_{\text{обор.}}$ – суммарное время работы оборудования, дней(определяется из Таблицы 1).

Расчет затрат на амортизацию сведен в таблицу 2.4

Таблица 2.4 – Амортизационные затраты

Наименование оборудования	$C_{\text{об}}$, Руб	$K_{\text{загр.}}$	$N_{\text{ам}}$	$t_{\text{м}}$, час	$F_{\text{обор.}}$, Час.	$C_{\text{ам}}$, Руб.
1. ПК	400	1	10	520	560	3714,29
2. Принтер	330	0,34	10	176,8	190,4	3064,29
Итого:						6778,58

Расчет накладных расходов:

$$C_{\text{накл.}} = Z_{\text{исп.}} * K_{\text{накл.}}, \text{ руб.}, = 27283,20 \quad (2.12.)$$

где: $K_{\text{накл.}}$ - коэффициент накладных расходов, 35%.

Расчет затрат на материалы, полуфабрикаты и покупные изделия с учетом транспортно-заготовительных расходов:

$$M_i = C_{M_i} * Q_{M_i} * K_{ТЗр} - V_{отх_i} * C_{отх_i} + C_{пиз.i} * Q_{пиз.i} * K_{ТЗр}, \quad (2.13)$$

Где C_{M_i} - оптовая цена единицы веса материала i -го вида, руб/кг (определяется из Приложения 5),

Q_{M_i} – норма расхода данной марки материала i -го вида, кг, м. (определяется из Приложения 4)

$K_{ТЗр}$ – коэффициент транспортно-заготовительных расходов, принимается равным 1,03;

$V_{отх.}$ – вес реализуемых отходов материала данной марки, кг, м, и т.д., они составляют около 8% от нормы расхода материала и определяются по формуле:

$$V_{отх_i} = Q_{M_i} * 8/100 \quad (2.14.)$$

где: $C_{отх}$ – цена единицы отходов материала данной марки, руб/кг, руб/м и т.д. (определяются из Приложения 5)

$C_{пиз.i}$ – отпускная цена покупных изделий и полуфабрикатов, руб. (Прилож.4а)

$Q_{пиз.i}$ - необходимое количество полуфабрикатов, покупных изделий, шт. (Прилож. 4).

Расчет затрат на основные материалы сведены в таблицу 2.5

Таблица 2.5 – Затраты на основные материалы

Наименование материала	Марка, размер	Вес Q_{M_i} , кг	Средняя цена за единицу C_{M_i} , $C_{пиз.i}$, Руб.	Сумма, руб.	Вес реализуемых отходов, $V_{отх}$, кг, м.	Цена отходов, $C_{отх}$, руб.	Сумма отходов, руб.	Стоимость материалов за вычетом отходов, Руб.
PLA пластик	Cactus 1.75	1кг	1100	2200	0	0	0	2200

ИТОГО:	2200
--------	------

3. Расчет общих затрат на выполнение НИОКР.

Расчет общих затрат сведен в таблицу 3.

Таблица 3 – Расчет общих затрат

	Вид затрат	Размер затрат
1	Заработная плата	77952
2	Затраты на электроэнергию	495,95
3	Амортизационные затраты	6778,58
4	Затраты на основные материалы	2200
5	Итого:	84726,53

Вывод: расчет экономической эффективности показал, что для определения аэродинамических параметров спортивных болидов формулы студент с помощью 3д моделей, общие затраты составят 84726,53 руб.

Заключение

В ходе исследования, были изучены аэродинамические характеристики масштабной 3Д-модели болида «Формула Студент», а также зависимость этих характеристик от габаритной площади болида и скорости движения.

На основании проведенного исследования и последующего анализа, можно с уверенностью утверждать, что аэродинамика имеет огромное влияние на автомобиль. Даже имея мощный двигатель, невозможно полностью реализовать его потенциал, если, при помощи аэродинамики, не обеспечивается достаточная прижимная сила.

После анализа полученных данных, сделан вывод о том, что коэффициент аэродинамических характеристик не зависит от скорости движения автомобиля, а зависит от формы болида (габаритной площади болида). А также что можно использовать масштабную 3Д-модель болида для нахождения аэродинамических характеристик.

В данном дипломном проекте, был разработан и изготовлен 3-д макет болида формула студент, для определения коэффициента аэродинамического сопротивления.

В разделе Требования безопасности при работе с 3-д принтером были разработаны требования безопасности и мероприятия по безопасности.

В разделе Расчет экономической эффективности использования 3д-моделей для определения аэродинамических параметров спортивных болидов формулы студент, произведен расчет экономических затрат на изготовление макета.

Данный макет, будет использоваться в учебных целях на кафедре «Проектирование и эксплуатация автомобилей» института машиностроения Тольяттинского Государственного Университета.

Список используемой литературы

1. Материал из Википедии. Электронный ресурс URL:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/3D-%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%82%D0%B5%D1%80>
2. Технология 3D-печати. Электронный ресурс URL:
https://www.ixbt.com/printer/3d/3d_tech.shtml
3. Методическое пособие / В.Т. Калугин, А.Ю. Луценко, Е.Г. Столярова, А.И. Хлупнов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
4. Аэродинамика автомобиля /В. Г. Гухо; С Л . Загородникова. — М.: Машиностроение, 1987.
5. Составляющие 3D-принтера. Электронный ресурс URL:
<https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
6. Инструкция по эксплуатации 3D-принтера Zenit 3D DUO. Электронный ресурс URL: <https://zenit3d.ru/wp-content/uploads/2019/12/instrukciya-zenit-duo-iyun-2019.pdf>
7. 3D прототипирование. Электронный ресурс URL: <https://3d-m.ru/chto-takoe-3d-prototipirovanie/>
8. Методическое пособие / В.Т. Калугин, А.Ю. Луценко, Е.Г. Столярова, А.И. Хлупнов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004.
9. Аэродинамика автомобиля /В. Г. Гухо; С Л . Загородникова. — М.: Машиностроение, 1987.
10. Устройство 3D-принтера. Электронный ресурс URL:
<https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
11. Черепанов, Л.А. Тяговый расчет автомобиля, / Л.А. Черепанов - Тольятти, 2001
12. Материал для 3D-печати. Электронный ресурс URL:
<https://top3dshop.ru/blog/materials-for-3dprint.html>

13. Аэродинамические трубы. Электронный ресурс URL: <https://studfile.net/preview/2152192/page:4/>
14. Послойная печать. Электронный ресурс URL: <https://3d-m.ru/kak-i-chno-mozhno-pechatat-na-3d-printere/>
15. FDM печать. Электронный ресурс URL: <https://3d-m.ru/tehnologii-3d-pechati/>
16. Принцип работы и технологии 3Д-печати. Электронный ресурс URL: <https://3d-m.ru/printsip-raboty-3d-printera/>
17. Картезианский робот. Электронный ресурс URL: <https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
18. Экструдер. Электронный ресурс URL: <https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
19. Поверхность печати. Электронный ресурс URL: <https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
20. Линейный двигатель. Электронный ресурс URL: <https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
21. Фиксаторы. Электронный ресурс URL: <https://www.losprinters.ru/articles/kak-ustroen-3d-printer/>
22. Automotive Wind Tunnels. Электронный ресурс URL: <https://www.autoevolution.com/news/automotive-wind-tunnels-making-aerodynamic-cars-23250.html>
23. Joseph Katz, Race Car Aerodynamics: Designing for Speed (Engineering and Performance)/ Joseph Katz - USA, 1995 - 279 p.
24. Car Aerodynamics Basics. Электронный ресурс URL: <https://www.buildyourownracecar.com/race-car-aerodynamics-basics-and-design/>
25. Wind tunnels. Электронный ресурс URL: http://www.formula1-dictionary.net/wind_tunnel.html

26. Model and Full Scale Testing. Электронный ресурс URL:

<https://www.autoevolution.com/news/automotive-wind-tunnels-making-aerodynamic-cars-23250.html>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Показаны графики из тягово-динамического расчета

Внешняя скоростная характеристика двигателя

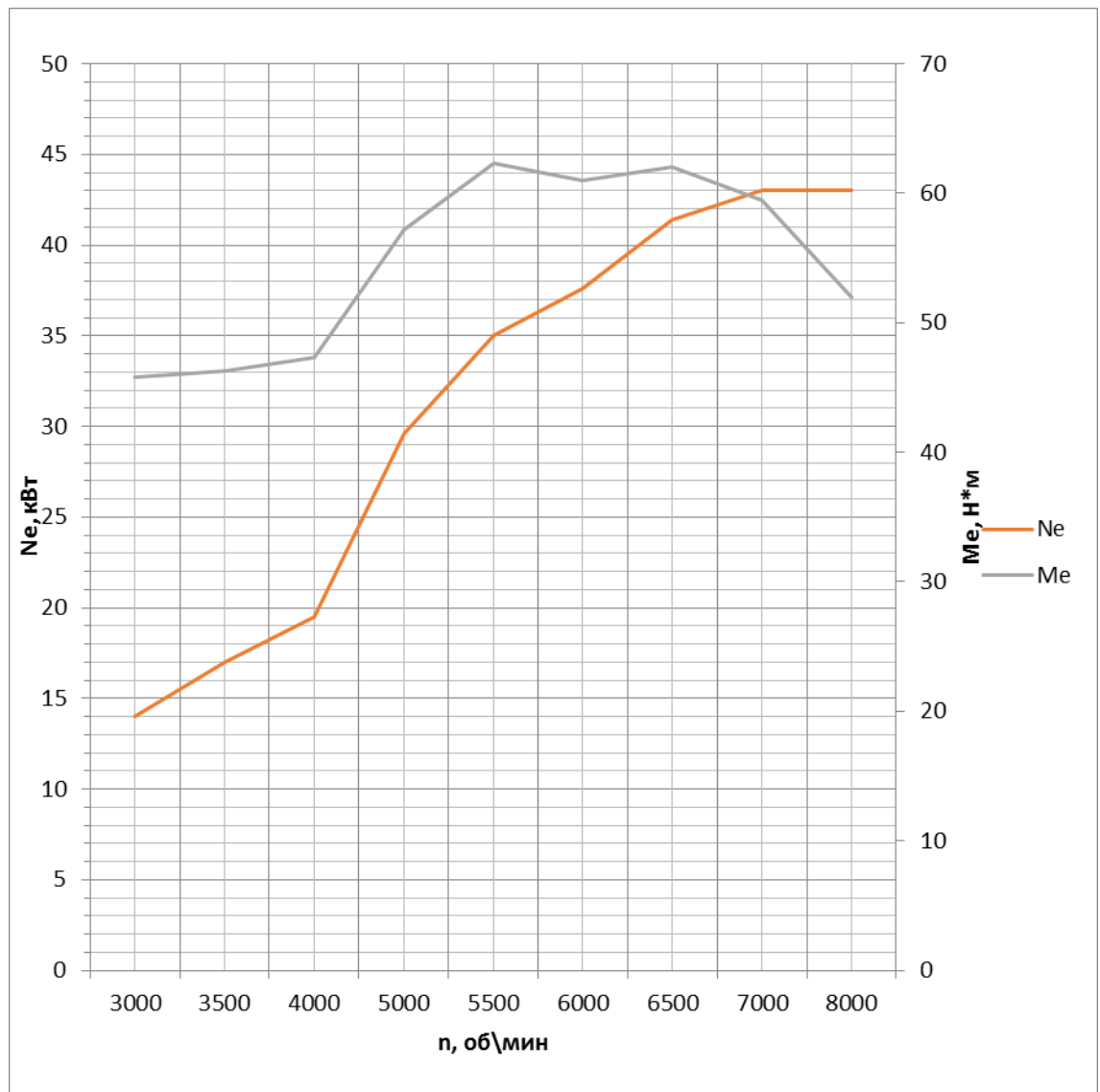


Рисунок А.1

Тяговый баланс автомобиля

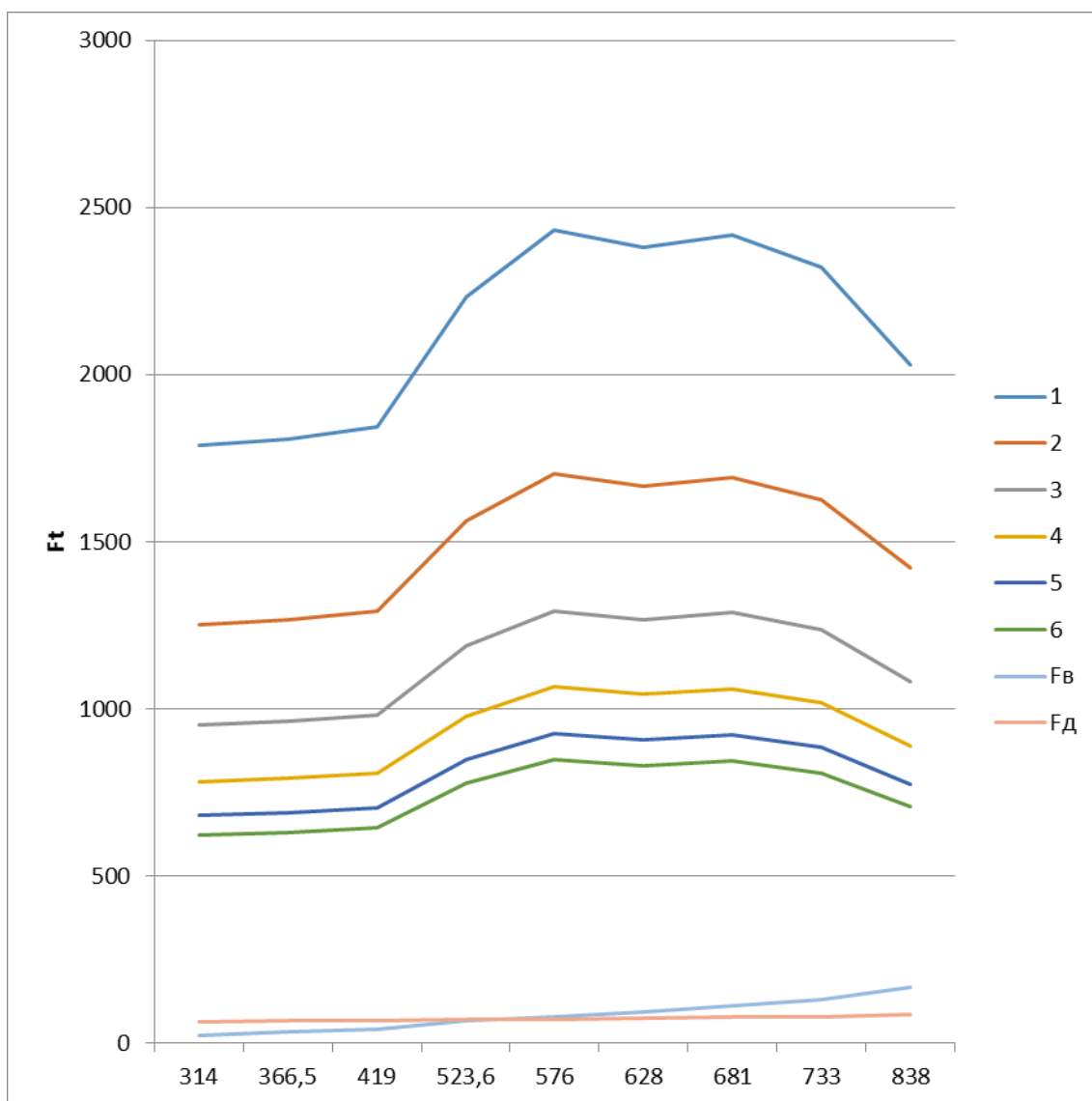


Рисунок А.2

Динамический фактор

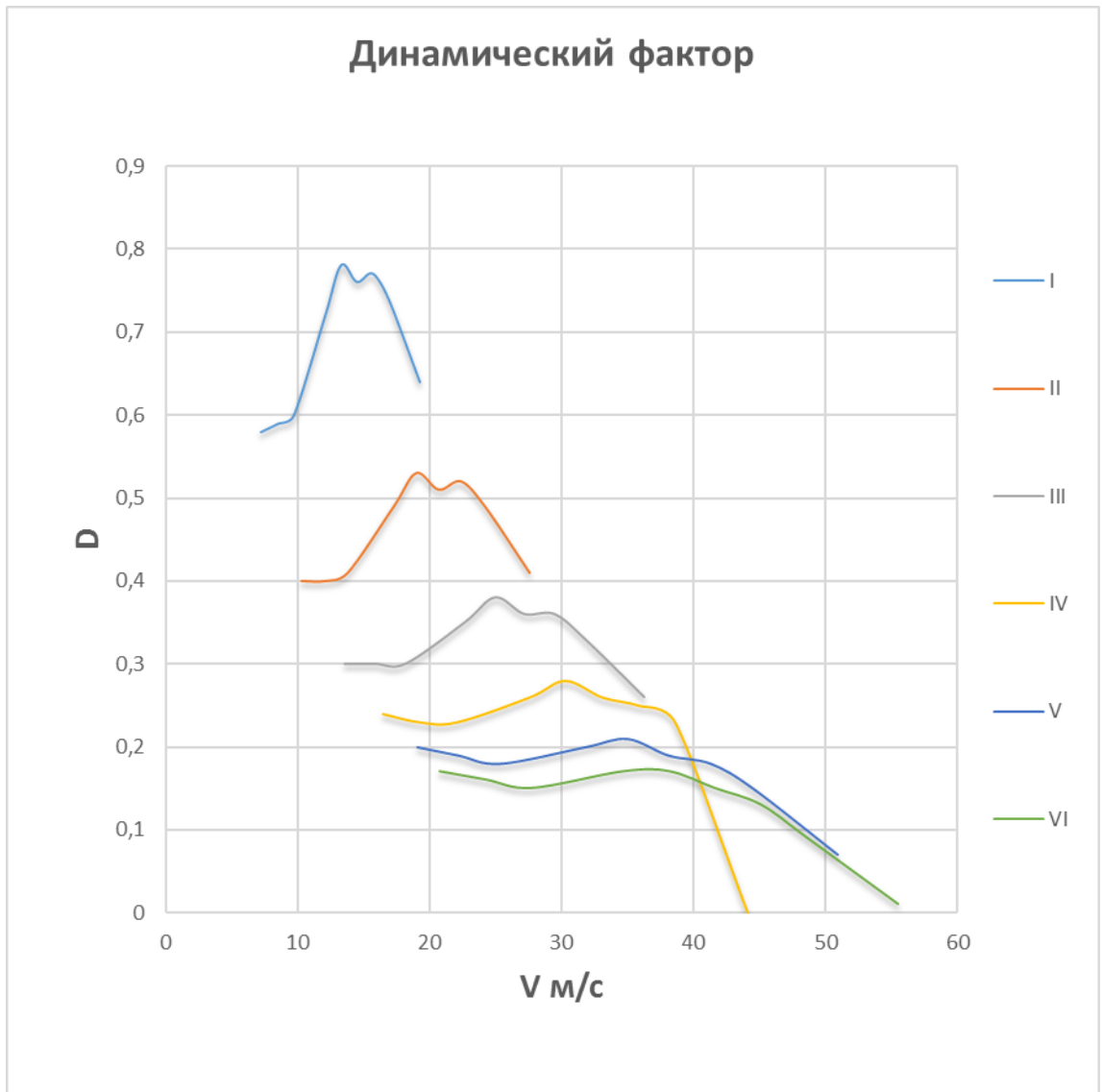


Рисунок А.3

Ускорение автомобиля

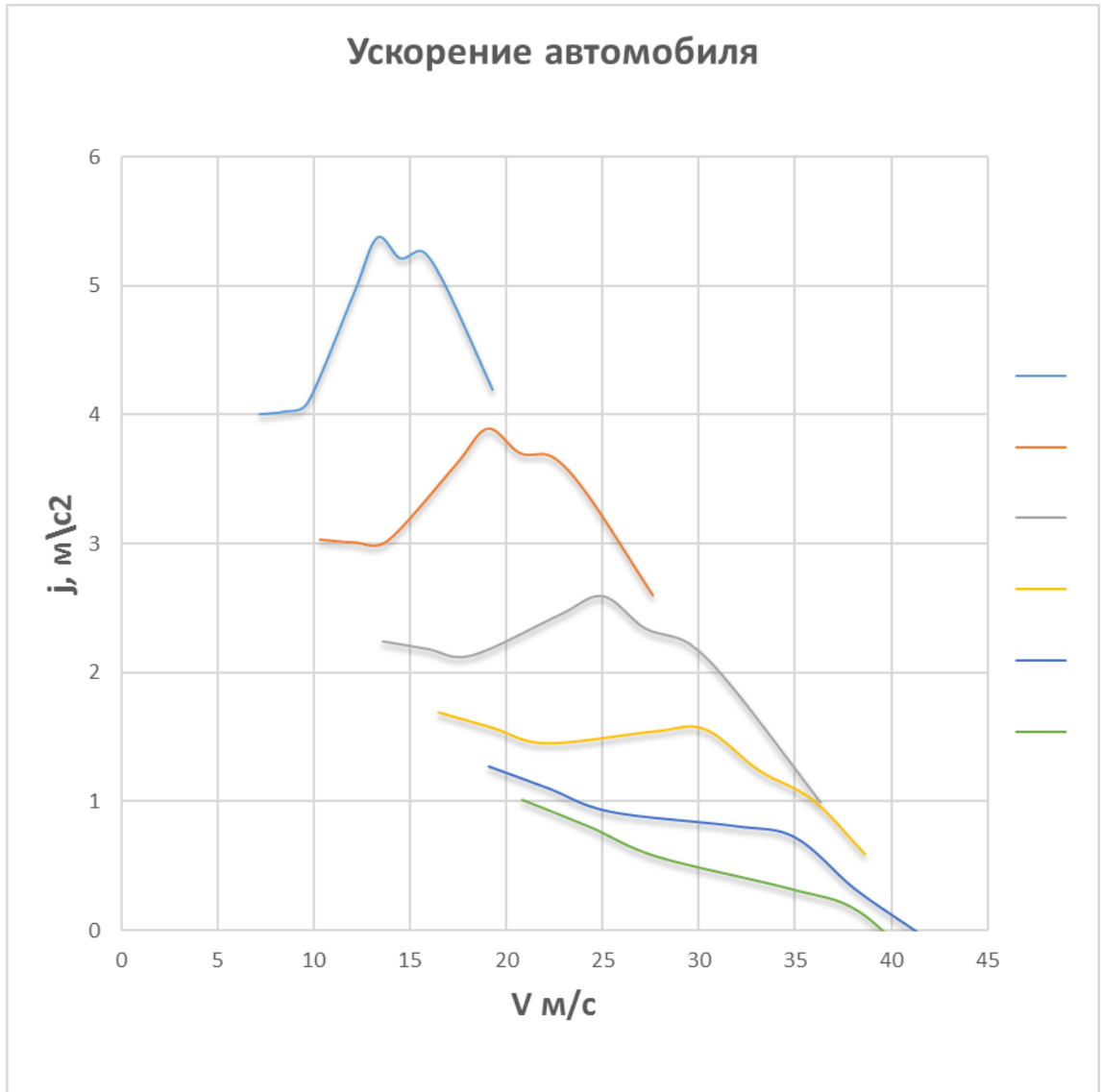


Рисунок А.4

Обратные ускорения автомобиля

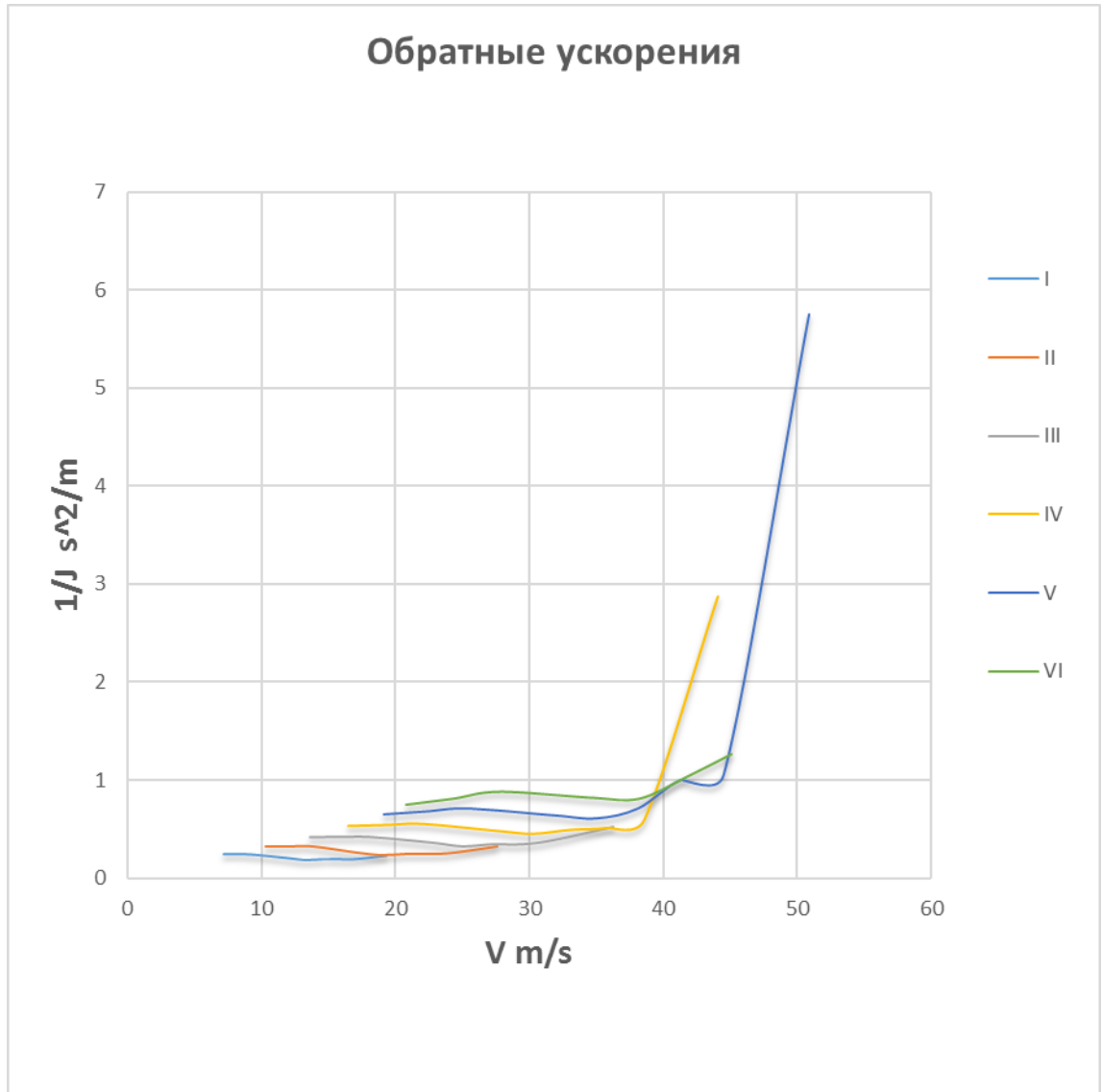


Рисунок А.5

Время разгона

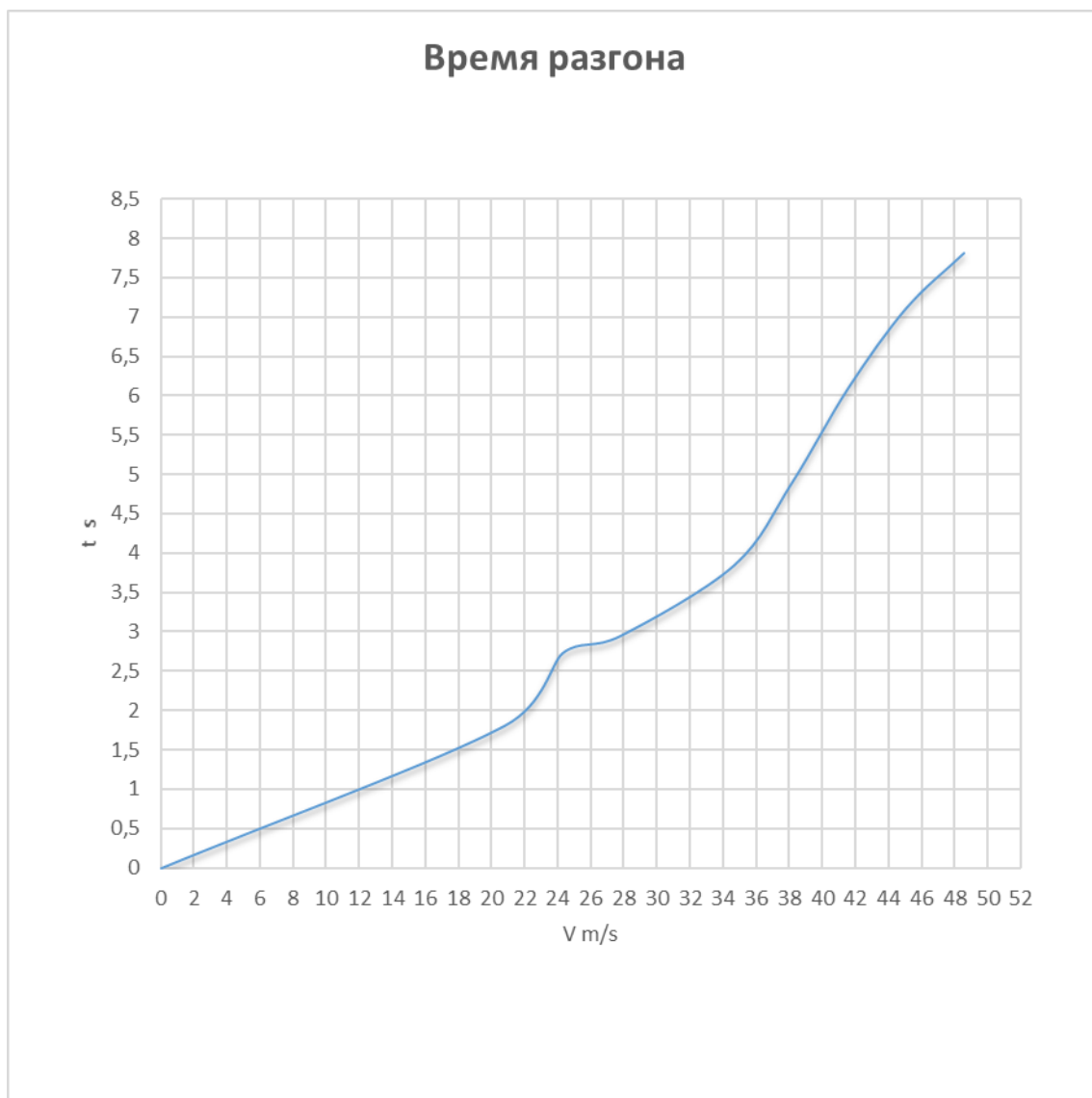


Рисунок А.6

Путь разгона автомобиля

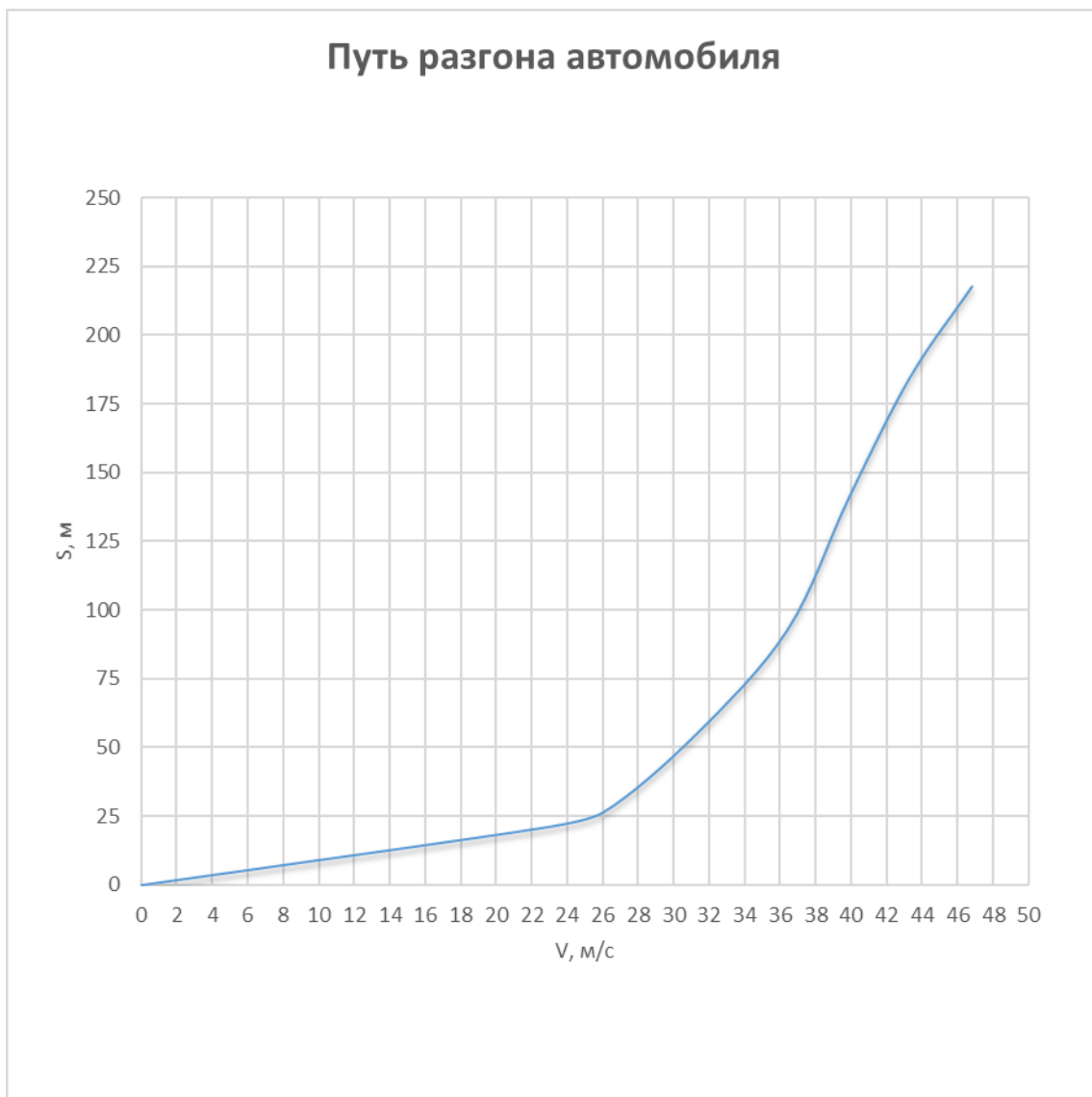


Рисунок А.7

Мощностной баланс автомобиля

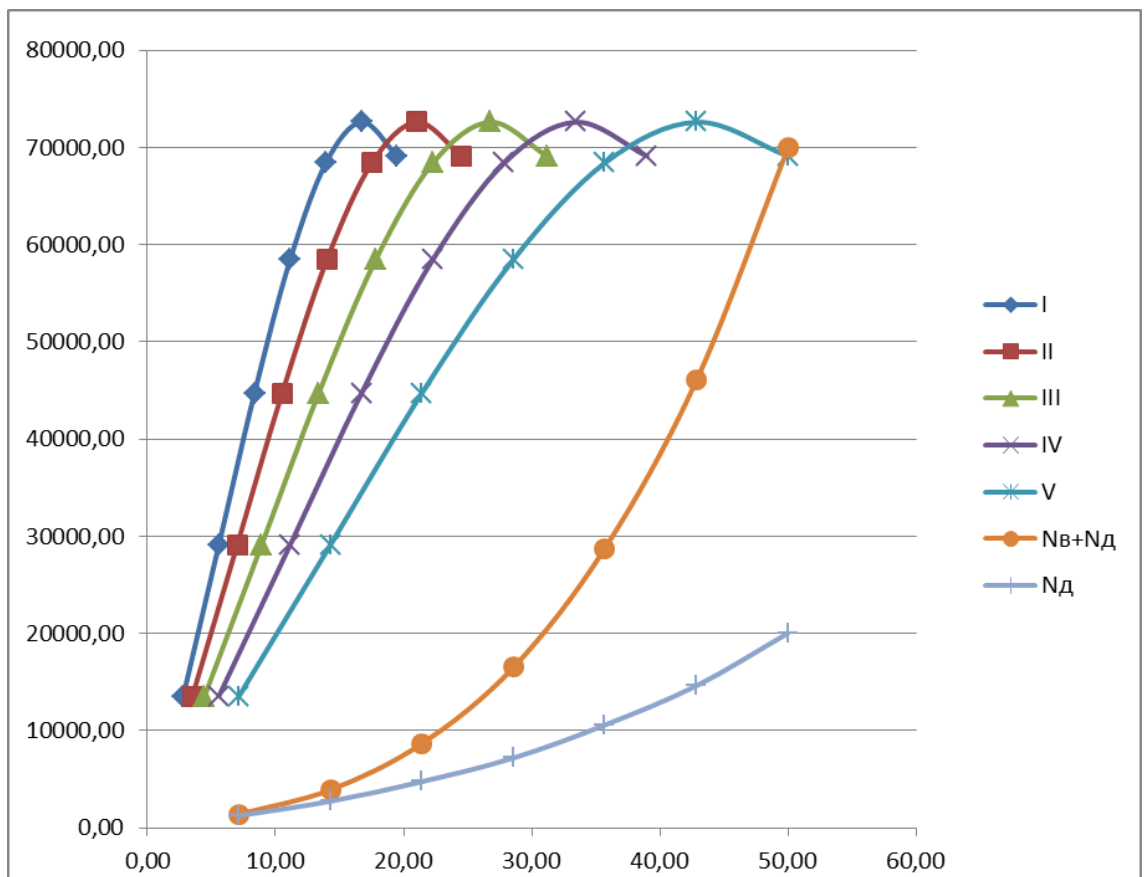


Рисунок А.8