

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 кафедры)

23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили

(направленность (профиль)/специализация)

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Проектирование аэродинамических элементов автомобиля класса

“Формула Студент”

Студент

И.М. Митюхин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

А.В. Бобровский

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

С.А. Гудкова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Н. Москалюк

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

А.Г. Егоров

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой

к.т.н., доцент А.В.Бобровский

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

(личная подпись)

« \_\_\_\_\_ »

20 \_\_\_\_\_ г.

Тольятти 2019

## **АННОТАЦИЯ**

Разработка аэродинамических обвесов для гоночного болида “Формула Студент”. Выпускная квалификационная работа. Тольяттинский Государственный Университет, 2019.

В данной работе рассмотрены различные формы обвесов, расчеты их действия и способы установок на корпус. Выведены общие требования необходимые для проектирования трансмиссии болида. В процессе изготовления были спроектированы сборные модели болида с аэродинамическим обвесом.

Выпускная квалификационная работа состоит из пояснительной записки в размере 51 страница, содержащей 14 таблиц, 28 рисунков и графической части, содержащей 6 листов.

## **ABSTRACT**

The title of the work is «Development of aerodynamic body kits of the vehicle class “Formula Student”».

This work discusses the various forms of aerodynamic devices, the calculation of their actions and methods of installation on the vehicle. In the manufacturing process, prefabricated models with an aerodynamic body kit have been designed.

The first chapter describes the purpose of the competition. The main requirements of the competition regulations have been considered. Analogues of some other “Formula Student” cars have been analyzed. The pros and cons of the aerodynamic structures have been analyzed.

In the second chapter aerodynamic elements has been designed. The calculations and analysis of aerodynamic devices have been performed. The optimal position of the wing has been selected and a dynamic traction calculation has been carried out. The main points of aerodynamics have been described.

In the third chapter, technological equipment for the manufacture of aerodynamic elements has been developed.

The fourth chapter describes the basic requirements for safety and environmental performance. The necessary information to make process safer has been given.

As a result of the project work aerodynamic devices that meet all the requirements of the competition regulations have been designed and manufactured.

Final qualifying work consists of an explanatory note in the size of 51 pages, containing 14 tables, 28 figures and a graphic part, containing 6 sheets.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 Состояние вопроса .....	6
2 Анализ конструкций аэродинамических обвесов .....	8
3 Проектирование и расчет аэродинамического обвеса .....	12
3.1 Тягово-динамический расчет.....	12
3.2 Испытания и расчет обвесов на гоночный болид.....	12
4 Технологическая часть, разработка матриц для изготовления обвесов.....	31
4.1 Облегчение массы обвеса болида .....	31
4.2 Изготовление поверхности.....	35
5 Безопасность и экологичность участка по изготовлению элемента.....	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	49
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	51

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проект «Формула студент» является актуальным среди высших учебных заведений. Итогом работы студентов будет считаться собранный своими силами болид соответствующий всем действующим правилам регламента, для участия в соревнованиях.

Также на соревнованиях студенты защищают конструкцию своего автомобиля приводя аргументы своего технического решения. На основании чего судьи начисляют баллы, которые влияют на рейтинг команды.

Цель работы: Спроектировать и изготовить аэродинамические обвесы на гоночный болид класса “Формула Студент”.

Задачи данной работы:

Использовать на соревнованиях аэродинамические элементы для повышения устойчивости и сцепления машины с гоночной трассой. Провести анализ машины с элементами аэродинамики и с их отсутствием. Сравнить результаты анализов, в связи с чем определить актуальность использования аэродинамических элементов.

# **1 Состояние вопроса**

## **1.1 Основные моменты участия в соревнованиях**

Формула студент дает возможность командам из высших учебных заведений создать собственный болид для участия в соревнованиях. Данный проект имеет собственный регламент, который накладывает не мало ограничений. Итогом проекта является готовый болид, выступление во всех дисциплинах соревнований. Проект позволяет студентам посоревноваться с командами разных стран и миров, сравнить свои возможности.

Также целью проекта является представление производства гоночных болидов.

На самом этапе команда проходит статические и динамические дисциплины набирая баллы. Бизнес-презентация, отчет о стоимости и защита конструкции являются статическими дисциплинами. Динамические дисциплины включают в себя: ускорение, маневренность и выносливость вашего болида. Допуск к динамическим дисциплинам получает только лишь болид, полностью соответствующий регламенту.

Первостепенной задачей проекта является возможность студентов применять свои мысли на практике, что в итоге даст им хороший старт своей инженерной будущей жизни.

Аэродинамика – это такой вид науки, который определяет силы, действующие на объекты, перемещающиеся в воздухе. Антикрыло должно обладать достаточной прижимной силой, чтобы оно работало на противодействие.

Современные инженеры используют специальные аэродинамические камеры, где продувают автомобили. Во время таких проверок команда инженеров записывает результаты, а также в процессе продувания объекта можно наблюдать на вооруженным глазом, как поток воздуха огибает все контуры автомобиля.

Большинство команд используют аэродинамические обвесы и чем больше этих команд, тем больше решений на конструкцию и установку таких элементов.

## 2 Анализ конструкций аэродинамических обвесов

Одна из конструкций переднего антикрыла, европейской команды TUDelft



Рисунок 2.1 - Переднее антикрыло, команды TUDelft

Такая конструкция несет название “Активное антикрыло”. Ее особенность в том, что в этом случае присутствует система тяг и коромысел, которая управляет наклоном крыла в зависимости от угла атаки. Это позволяет команде достичь лучших аэродинамических качеств, так как крыло находится максимально низко к земле и при ходах подвески не меняет своего положения относительно земли, при этом обеспечивая соответствие пункту D2.3.1 регламента FS Rules: “Боковые юбки или иные аэродинамические обвесы, которые по конструкции, созданию или как следствие перемещения, контактирует с поверхностью трассы запрещены. Любое нарушение будет наказано механическим черным флагом”. Пункт D2.1.4 регламента FS Rules

2019 определяет механический черный флаг как флаг, который означает остановку гонки для команды и тщательное обследования автомобиля в специально отведенной зоне. После обследования может произойти дисквалификация команды на дисциплину, во время которой произошло нарушение.

Такое автоматическое регулирование положения антикрыла, является дорогим решением, так как на изготовление такой конструкции требуется множество расчетов и проектирование дополнительных механизмов. В случае обеспечения должной работы данной конструкции, что крайне сложно, это приведет к не значительному увеличению прижимной силы, относительно ее цены.



Рисунок 2.2 – Заднее крыло команды TUG

В этой конструкции заднего антикрыла мы можем заметить, что оно значительно больше и сложнее в конструкции. Такие формы зачастую возможно сделать только благодаря установке вакуумной инфузии. Такой процесс позволяет достичь максимальной точности, но занимает очень много времени и средств для создания подобной матрицы. Так же на торцах антикрыльев вырезаны дополнительные слайдеры для улучшенного скольжения потока воздуха, что так же занимает много времени на расчет такого изделия. При том, что данная манипуляция придаст разгон машине не больше 0.5% от первоначального значения.

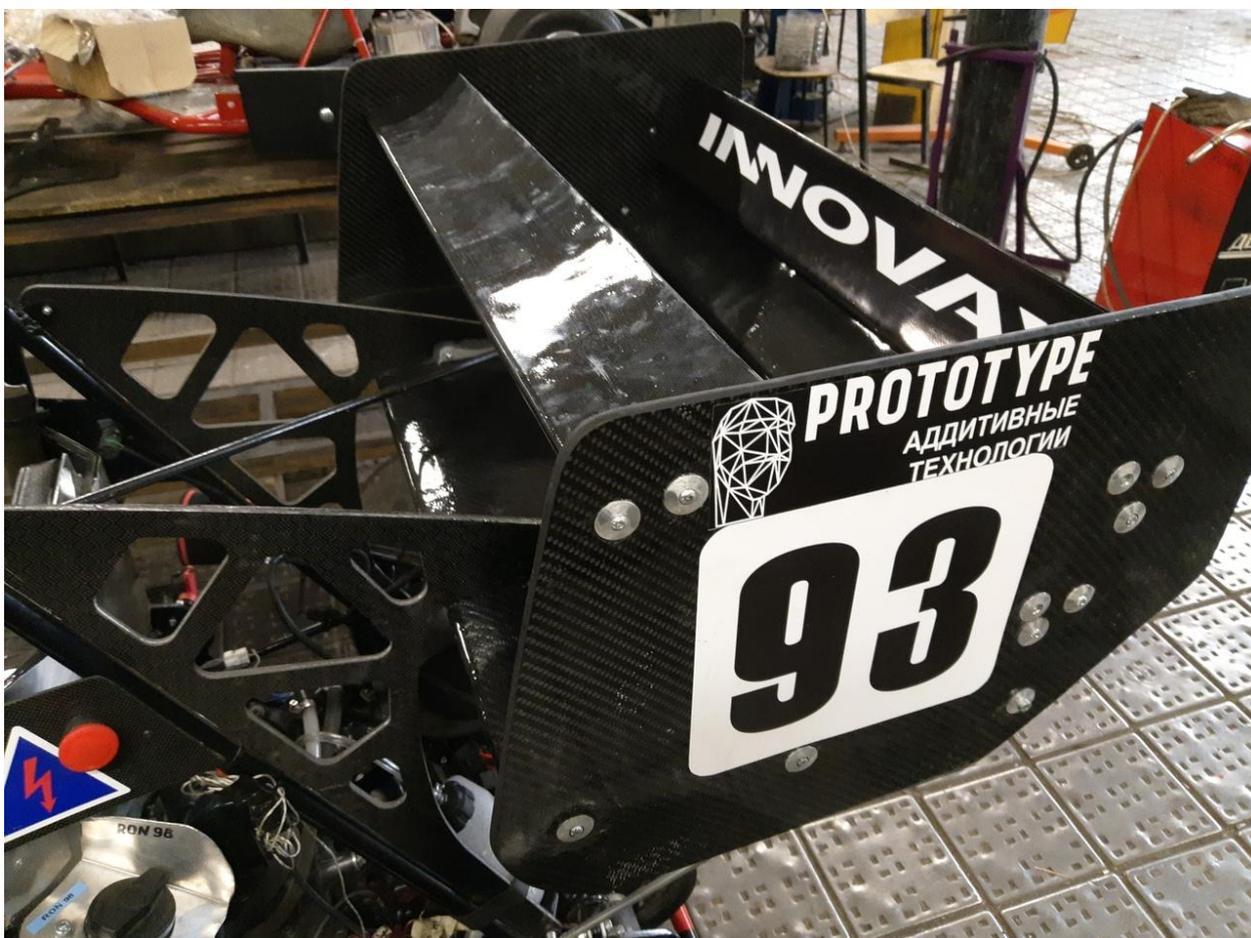


Рисунок 2.3 – Заднее антикрыло команды ТГУ

Исполнение данного заднего антикрыла тоже не обошлось без вакуумной формовки. Частично формовка производилась как руками, так и вакуумной установкой. Данное крыло при своей низкой себестоимости,

позволяет выдерживать нагрузку в 100кг и обладает достаточной прижимной силой, чтобы навязывать борьбу зарубежным командам. Когда в их исполнении, подобное крыло стоит в трое дороже и сложнее в ее конструкции. В среднем, прижимная сила данного аэродинамического элемента, составляет 120Н, что является хорошим показателем среди лидирующих команд в “FormulaStudent”

## 3 Проектирование и расчет аэродинамического обвеса

### 3.1 Тягово-динамический расчет

«Первостепенные значения для тягово-динамического расчета с формулой колес 4x2 гоночного болида «FormulaStudent» занесем в таблицу 3.1. Расчет был выполнен в аналогии с пособием из примера».

Таблица 3.1 –Первостепенные значения для расчета

Параметр	Значение
Привод автомобиля	4x2
Количество мест	1
Максимальная масса автомобиля в снаряженном состоянии	235
Предельно скоростное значение $V_{\max}$ , км/ч (м/с)	200(55,56)
Количество оборотов коленчатого вала $\omega_e^{\max}$ , рад/с (об/мин)	838 (8000)
Максимальная мощность двигателя $N_e^{\max}$ , кВт	43
Максимально возможный крутящий момент двигателя $M_e^{\max}$ , Н·м	52,2
Параметры колес	200/75R13
Значение аэродинамического торможения $C_x$	0,3
Максимальный уклон $i$	0,34
Полезная работа трансмиссии $\eta_{тр}$	0,91
Ширина болида $B$ , мм	2695
Высота болида $H$ , мм	1138
Значение сопротивления качению $f_0$	0,02
Передаточные числа КПП:	
– 1 передача $U_1$	2,5
– 2 передача $U_2$	1,75
– 3 передача $U_3$	1,33
– 4 передача $U_4$	1,095
– 5 передача $U_5$	0,95
– 6 передача $U_6$	0,87
– главная передача $U_0$	3,46

«Сбор данных для проведения тягового расчета

Полная масса автомобиля:

$$m_a = m_0 + m_ч \cdot n + m_б \cdot n , \quad (3.1)$$

где  $m_0$  – Максимальная масса авто, кг;

$m_ч = 75$  кг – Примерная масса пилота;

$n$  – число пассажиров;

$m_б$  – вес багажа.

$$m_a = 235 + 75 \cdot 1 = 310 \text{ кг} \gg$$

«Полный вес автомобиля:

$$G_a = m_a \cdot g , \quad (3.2)$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

$$G_a = 310 \cdot 9,81 = 3059,7 \text{ Н}$$

У болида колесная формула 4x2 (задний привод) распределения веса болида рассчитана в отношении: 46% на переднюю ось и 54% - на заднюю ось.

Вес, находящийся на передних колесах:

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

Вес, находящийся на приводных колесах:

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

«Аэродинамика болида:

Коэффициент обтекаемости

$$k = \frac{C_x \cdot \rho}{2} , \quad (3.3)$$

где  $\rho = 1,293$  – плотность воздуха в нормальных условиях,  $\text{кг/м}^3$ .

$$k = \frac{0,3 \cdot 1,293}{2} = 0,193$$

Лобовая площадь автомобиля

$$F = 0,8 \cdot B \cdot H , \quad (3.4)$$

где  $B$  – габаритная ширина автомобиля,  $\text{м}$ ;

$H$  – габаритная высота автомобиля,  $\text{м}$ .»

$$F = 0,8 \cdot 2,695 \cdot 1,138 = 2,453 \text{ м}^2$$

«Имея данные параметры колеса 200/75R13, радиус качения колеса необходимо рассчитывать по формуле:

$$r_k = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H , \quad (3.5)$$

где  $d$  – посадочный диаметр шины, дюйм;

$\lambda_z = 0,85$  – коэффициент вертикальной деформации;

$H$  – высота профиля шины.»

$$r_k = 0,5 \cdot 0,33 + 0,85 \cdot 0,12 = 0,267 \text{ м}$$

«Расчет внешней скоростной характеристики (ВСХ) двигателя

Мощностная характеристики двигателя при наибольшей допустимой скорости следования:

$$N_V = N_{\max} \cdot a\lambda + b\lambda^2 - c\lambda^3, \quad (3.6)$$

где  $a, b, c$  – эмпирические коэффициенты ( $a = b = c = 1$  для карбюраторного двигателя),

$$\lambda = \frac{\omega_{\max}}{\omega_N} = \frac{838}{733} = 1,14.$$

$$N_V = 43000 \cdot 1,14 + 1,14^2 - 1,14^3 = 41196 \text{ Вт.}»$$

«Расчет ВСХ двигателя рассчитывается по следующей формуле:

$$N_e = N_{\max} \frac{\omega_e}{\omega_N} + \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^2 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^3, \quad (3.7)$$

где  $\omega_e$  – текущее значение угловой скорости коленвала, рад/с;

$\omega_N$  – угловая скорость коленвала при максимальной мощности, рад/с (733рад/с).

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

Для построения кривой эффективного момента  $M_e$  (Н·м) применяем формулу:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e}, \quad (3.8)$$

Зависимость получается следующая  $N_e(\omega_e)$  и  $M_e(\omega_e)$ . Полученные данные переносим в таблицу (см. табл.3.2) и получаем график.»

Таблица 3.2 – Результаты расчетов

$n_e$ , об/мин	$\omega_e$ , рад/с	$N_e$ , 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

Продолжение таблицы 3.2

$n_e$ , об/мин	$\omega_e$ , рад/с	$N_e$ , кВт	$M_e$ , Н·м
6500	681	41,4	62
7000	733	43	59,5
8000	838	43	52

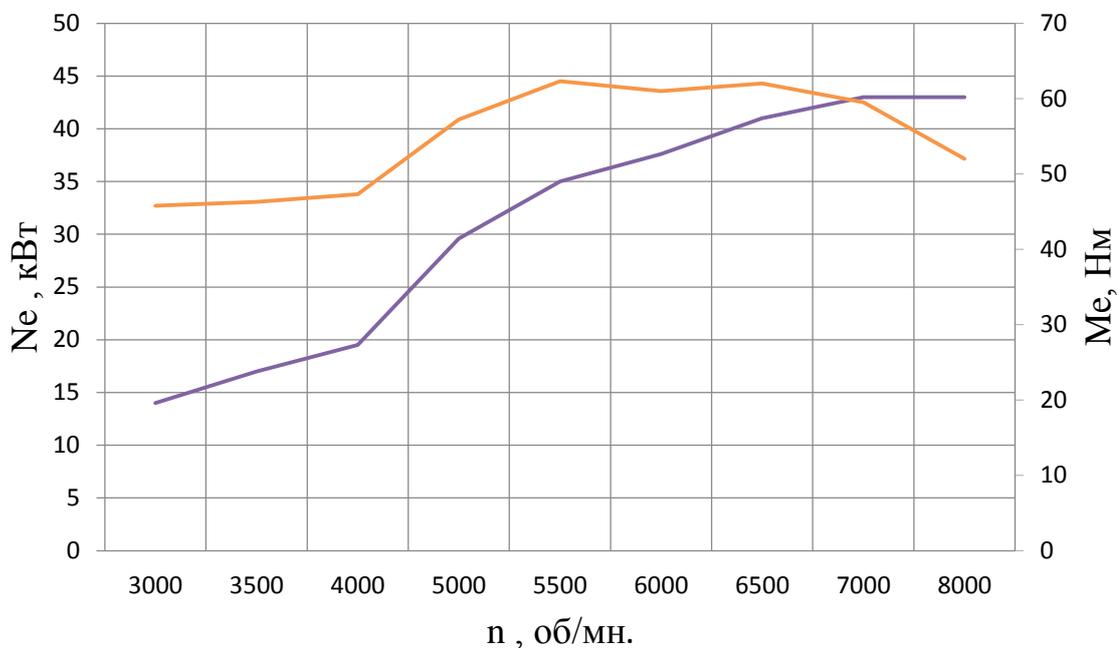


Рисунок 3.1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

«Определение передаточного числа главной передачи

Главная передача – ее передаточное число  $U_0$  рассчитывается, опираясь на максимальную скорость болида  $V_{max}$ :

$$U_0 = \frac{r_k \cdot \omega_{max}}{U_k \cdot V_{max}}, \quad (3.9)$$

где  $U_k = U_6 = 0,87$  – передаточное число высшей передачи в коробке передач автомобиля, на которой обеспечивается максимальная скорость;»

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

«Чтобы приступить к следующим расчётам, берем значение главной передачи принятой в задании на курсовой проект  $U_0=4,63$ .

Последующие расчеты проводим по повышенному ряду передаточных чисел (повышенная передача в раздаточной коробке).»

«Силовой баланс автомобиля

Уравнение силового баланса:

$$F_T = F_D + F_B + F_{и}, \quad (3.10)$$

где  $F_m$  – сила тяги ведущих колес, Н;

$F_D$  – сила дорожного сопротивления, Н;

$F_B$  – сила сопротивления воздуха, Н;

$F_{и}$  – сила сопротивления разгону автомобиля, Н (не учитываем).»

«Силу тяги на разных передачах рассчитывают по формуле:

$$F_{Ti} = \frac{U_{ki} \cdot U_0 \cdot M_e \cdot \eta_{тр}}{r_k}, \quad (3.11)$$

Сила аэродинамического сопротивления воздуха:

$$F_B = k \cdot F \cdot V_a^2, \quad (3.12)$$

Сила дорожного сопротивления автомобиля (без учета сопротивления подъему):

$$F_D = G_a \cdot f, \quad (3.13)$$

где  $f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_a^2}{2000}\right)$  – зависимость коэффициента трения качения от скорости движения автомобиля.»

«Пользуемся выбранными при расчете ВСХ значениями  $\omega_e$ , приводя в соответствие с ними скорости автомобиля на разных передачах.

Результаты расчетов занесем в таблицу 3.3.»

Таблица 3.3– Результаты расчетов показателей

$\omega_e$	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	
передача	V	7,2	8,5	9,7	12,1	13,3	14,5	15,7	16,9	19,3
	$F_T$	1787,0	1806	1845,5	2232,9	2430,8	2380,0	2419,0	2321,5	2028,9
	$f$	0,0205	0,020	0,0209	0,0215	0,0218	0,0221	0,0225	0,0229	0,0237

Продолжение таблицы 3.3

	F <sub>в</sub>	11,5	15,7	20,6	32,1	38,8	46,2	54,3	62,9	82,2
	F <sub>д</sub>	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	19,0	20,7	22,4	24,2	27,6
	F <sub>T</sub>	1250,9	1264,5	1291,8	1563,1	1701,5	1666,0	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
	F <sub>в</sub>	23,6	32,1	41,9	65,5	79,3	94,2	110,8	128,4	167,8
	F <sub>д</sub>	64,5	65,7	67,0	70,3	72,2	74,3	76,6	79,0	84,5
3 передача	V	13,6	15,9	18,2	22,7	25,0	27,2	29,5	31,8	36,3
	F <sub>T</sub>	950,7	961,0	981,8	1187,9	1293,2	1266,2	1286,9	1235,0	1079,4
	f	0,0219	0,0225	0,0233	0,0252	0,0262	0,0274	0,0287	0,0301	0,0332
	F <sub>в</sub>	40,8	55,6	72,6	113,4	137,2	163,1	191,8	222,2	290,5
	F <sub>д</sub>	66,9	68,9	71,3	77,0	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
	F <sub>T</sub>	782,7	791,2	808,3	978,0	1064,7	1042,5	1059,5	1016,8	888,6
	f	0,0227	0,023	0,0249	0,0276	0,0292	0,0309	0,0329	0,0349	0,0395
	F <sub>в</sub>	60,2	82,0	107,1	167,3	202,5	240,7	283,0	327,9	428,5
	F <sub>д</sub>	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	35,0	38,1	41,3	44,5	50,9
	F <sub>T</sub>	679,0	686,5	701,3	848,5	923,7	904,4	919,2	882,2	771,0
	f	0,0236	0,024	0,0265	0,0301	0,0322	0,0345	0,0371	0,0398	0,0459
	F <sub>в</sub>	79,9	108,9	142,3	222,3	269,0	319,7	376,0	435,6	569,3
	F <sub>д</sub>	72,3	76,3	81,0	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 <sub>T</sub>	621,9	628,7	642,2	777,1	845,9	828,2	841,8	807,9	706,0
	f	0,0243	0,025	0,0277	0,032	0,0346	0,0373	0,0404	0,0436	0,0509
	F <sub>в</sub>	95,3	129,8	169,7	265,0	320,7	381,2	448,3	519,4	678,8
	F <sub>д</sub>	74,4	79,3	84,8	98,0	105,8	114,2	123,5	133,4	155,6

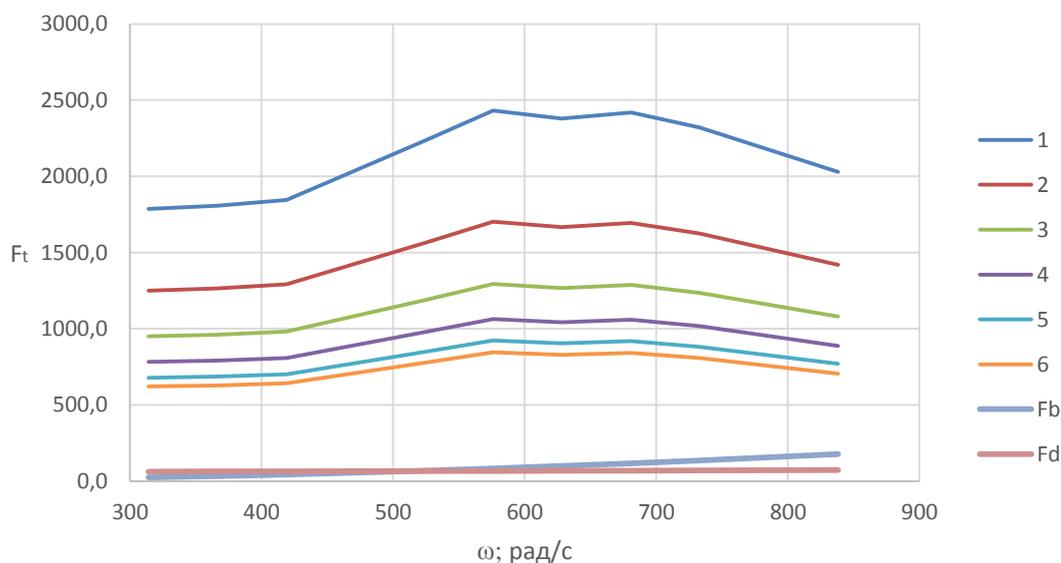


Рисунок 3.2 – Тяговый баланс автомобиля

Динамическая характеристика автомобиля

$$D = \frac{F_T - F_B}{G_a}, \quad (3.14)$$

«По этой формуле и данным силового баланса рассчитываем и строим динамическую характеристику автомобиля, которая является графическим изображением зависимости динамического фактора  $D$  от скорости движения при различных передачах в коробке передач и при полной загрузке автомобиля.»

«Данные расчета заносим в таблицу 3.4 и представляем графически.

Чтобы учесть влияние буксования ведущих колес, определяем динамический фактор по сцеплению»

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

Таблица 3.4 – Данные расчета динамической характеристики

Передача	Динамический фактор $D$								
	0,58	0,59	0,60	0,72	0,78	0,76	0,77	0,74	0,64
1	0,58	0,59	0,60	0,72	0,78	0,76	0,77	0,74	0,64
2	0,40	0,40	0,41	0,49	0,53	0,51	0,52	0,49	0,41
3	0,30	0,30	0,30	0,35	0,38	0,36	0,36	0,33	0,26
4	0,24	0,23	0,23	0,26	0,28	0,26	0,25	0,23	0,00
5	0,20	0,19	0,18	0,20	0,21	0,19	0,18	0,15	0,07
6	0,17	0,16	0,15	0,17	0,17	0,15	0,13	0,09	0,01

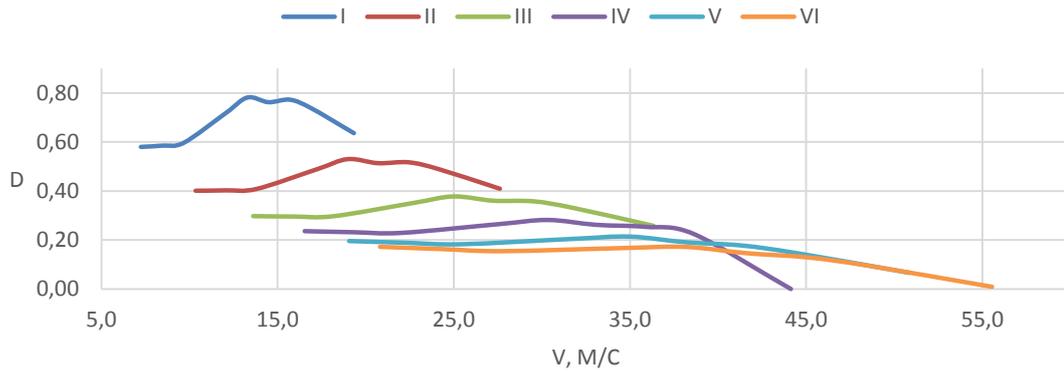


Рисунок 3.3 – Динамическая характеристика автомобиля

### Разгон автомобиля

«Ускорение во время разгона определяем для случая движения автомобиля по горизонтальной дороге с твердым покрытием хорошего качества при максимальном использовании мощности двигателя и отсутствии буксования ведущих колес. Ускорение находим из выражения»

$$j = \frac{D-f \cdot g}{\delta_{вр}}, \quad (3.15)$$

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

$$\delta_{вр1} = 1 + \delta_1 + \delta_2 \cdot U_1^2 = 1 + 0,05 + 0,05 \cdot 2,5^2 = 1,362$$

$$\delta_{вр2} = 1 + \delta_1 + \delta_2 \cdot U_2^2 = 1 + 0,05 + 0,05 \cdot 1,75^2 = 1,203$$

$$\delta_{вр3} = 1 + \delta_1 + \delta_2 \cdot U_3^2 = 1 + 0,05 + 0,05 \cdot 1,33^2 = 1,138$$

$$\delta_{вр4} = 1 + \delta_1 + \delta_2 \cdot U_3^2 = 1 + 0,05 + 0,05 \cdot 1,095^2 = 1,110$$

$$\delta_{вр5} = 1 + \delta_1 + \delta_2 \cdot U_3^2 = 1 + 0,05 + 0,05 \cdot 0,95^2 = 1,095$$

$$\delta_{вр6} = 1 + \delta_1 + \delta_2 \cdot U_3^2 = 1 + 0,05 + 0,05 \cdot 0,87^2 = 1,088$$

Определяем ускорение разгона, вносим результаты в таблицу 3.5 и строим график зависимости  $j = f(V)$ »

Таблица 3.5 – Значения ускорение разгона

Передача	Ускорение $j$ , м/с <sup>2</sup>									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,00	4,02	4,09	4,94	5,37	5,21	5,26	4,98	4,19	
2	3,03	3,01	3,02	3,60	3,89	3,70	3,67	3,38	2,60	
3	2,24	2,18	2,13	2,44	2,59	2,34	2,22	1,87	0,99	
4	1,69	1,57	1,45	1,54	1,56	1,24	1,01	0,59	-0,35	
5	1,27	1,10	0,92	0,81	0,72	0,32	-0,01	-0,52	-1,74	
6	1,01	0,80	0,57	0,32	0,15	-0,31	-0,73	-1,31	-2,68	

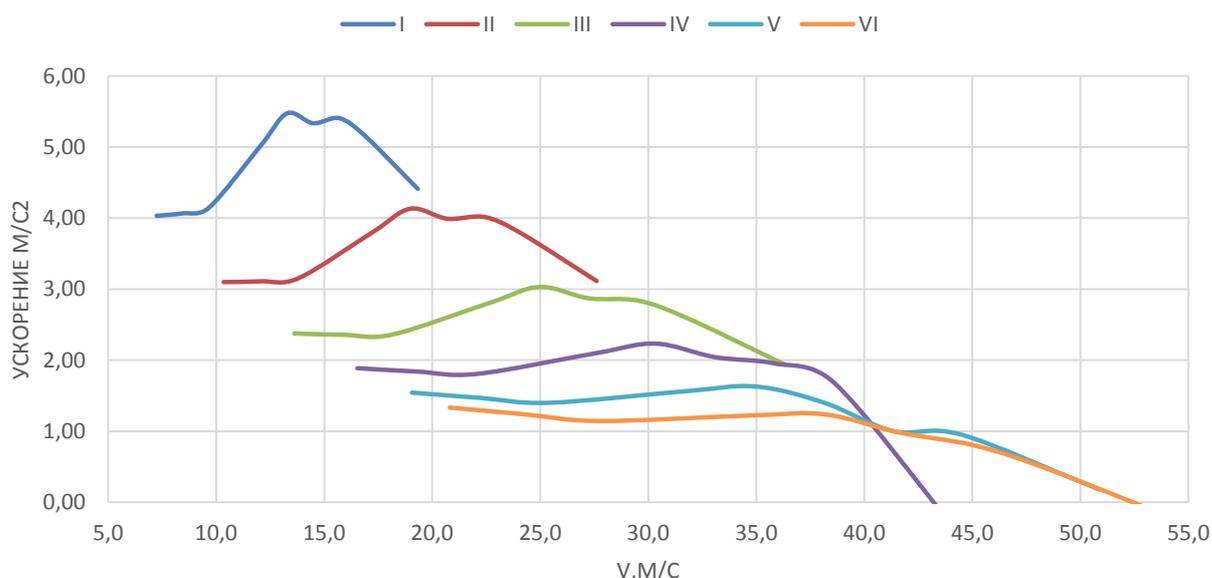


Рисунок 3.4 – Ускорения автомобиля

«Затем определяем значения обратных ускорений ( $1/j$ ) и заносим их в таблицу 6. Поскольку при скоростях  $V$ , близких к максимальной, ускорение стремится к нулю, то для расчета обратных ускорений ограничиваются скоростью  $V = (0,8 \dots 0,9) V_{\max}$ .»

Таблица 3.6 – Значения обратных ускорений.

Передача	Величина, обратная ускорению $1/j$ , с <sup>2</sup> /м									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,25	0,25	0,24	0,20	0,18	0,19	0,19	0,19	0,23	
2	0,32	0,32	0,32	0,26	0,24	0,25	0,25	0,26	0,32	
3	0,42	0,42	0,42	0,36	0,33	0,35	0,35	0,39	0,52	
4	0,53	0,54	0,55	0,48	0,45	0,49	0,51	0,59	-2,87	
5	0,65	0,68	0,71	0,64	0,61	0,71	1,00	1,05	5,57	
6	0,75	0,81	0,88	0,82	0,81	1,02	1,26	2,19	-2,64	

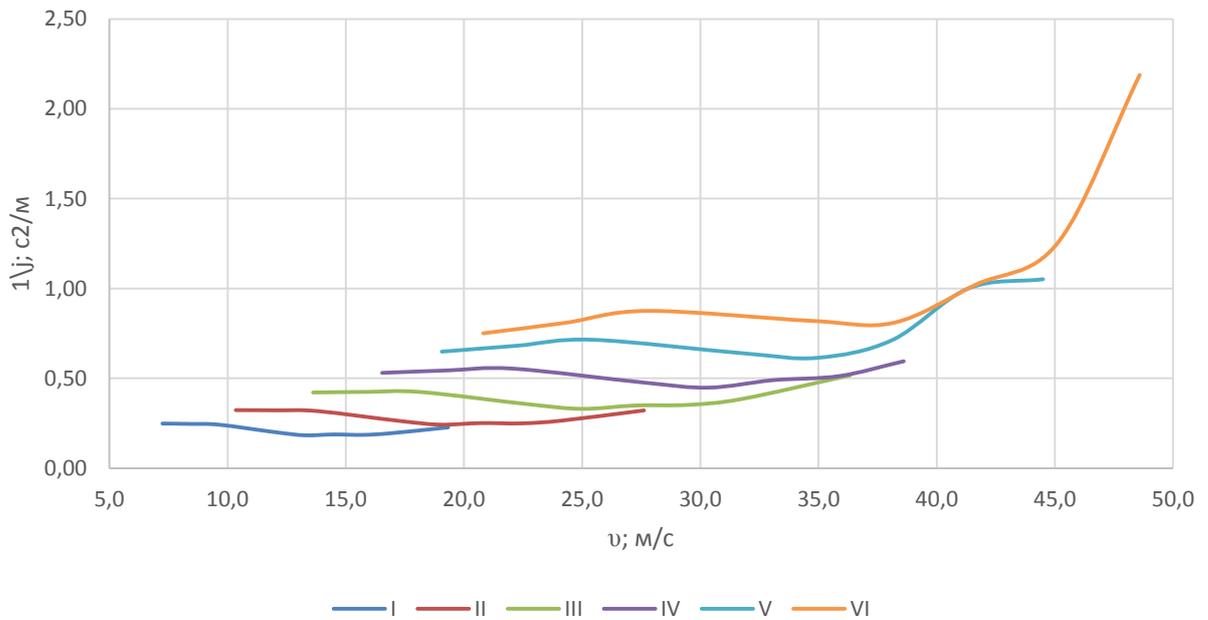


Рисунок 3.5 – Обратные ускорения автомобиля

«Время и путь разгона

Время и путь разгона автомобиля определяем графоаналитическим способом. Смысл этого способа в замене интегрирования суммой конечных величин:

$$\Delta t = \int_{V_i}^{V_{i+1}} \frac{1}{j} dV \approx \frac{1}{j_{CP\ i+1}} \cdot V_{i+1} - V_i , \quad (3.16)$$

Для этого кривую обратных ускорений разбивают на интервалы и считают, что в каждом интервале автомобиль разгоняется с постоянным ускорением  $j = const$ , которому соответствуют значения  $(1/j) = const$ .» «Эти величины можно определить следующим образом:

$$\frac{1}{j_{CP\ k}} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{j_{k-1}} + \frac{1}{j_k} \right) , \quad (3.17)$$

где  $k$  – порядковый номер интервала.»

«Заменяя точное значение площади под кривой  $(1/j)$  в интервале  $\Delta V_k$  на значение площади прямоугольника со сторонами  $\Delta V_k$  и  $\frac{1}{j_{CP\ k}}$ , переходим к приближенному интегрированию:

$$\Delta t = \frac{1}{j_{CP\ k}} \cdot V_k - V_{k-1} , \quad (3.18)$$

$$t_1 = \Delta t_1, t_2 = \Delta t_1 + \Delta t_2, t_n = \sum_{k=1}^n \Delta t_k.$$

где  $t_1$  – время разгона от скорости  $V_0$  до скорости  $V_1$ ;

$t_2$  – время разгона до скорости  $V_2$ .

Результаты расчета сводим в таблицу 7»

Таблица 3.7 – Значения скорости и времени

$V_a, \text{м/с}$	$t, \text{с}$
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

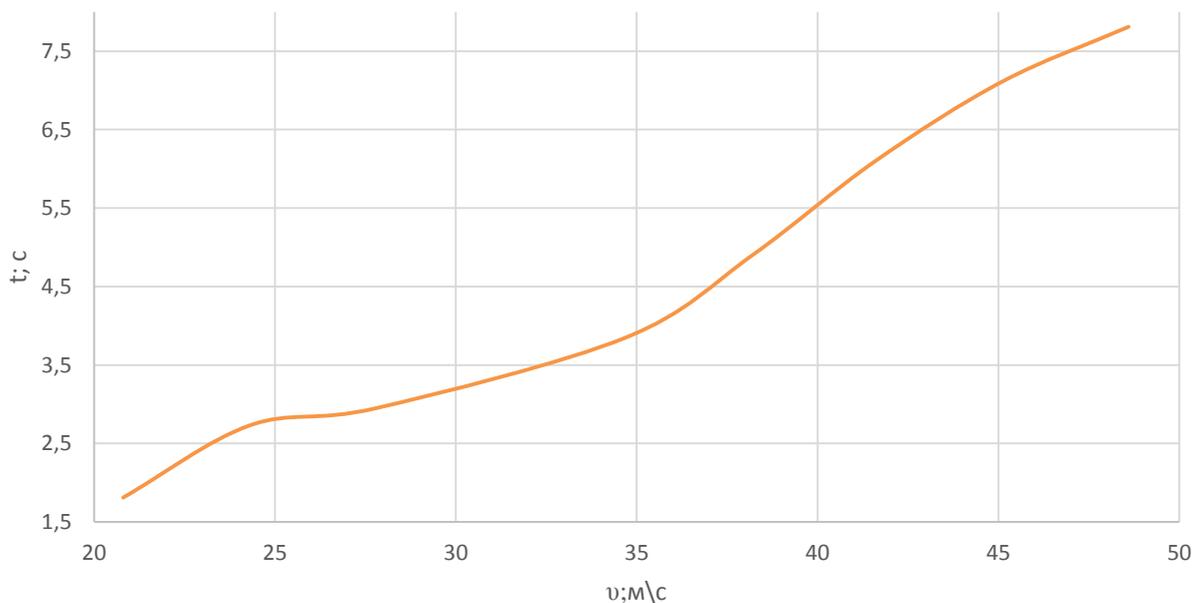


Рисунок 3.6 – Время разгона автомобиля

«Аналогичным образом проводится графическое интегрирование зависимости  $t=f(V)$  для получения зависимости пути разгона  $S$  от скорости автомобиля.

В данном случае кривая  $t=f(V)$  разбивается на интервалы по времени, для каждого из которых находятся соответствующие значения  $V_{\text{срк}}$ »

«Площадь элементарного прямоугольника в интервале  $\Delta t_k$  есть путь, который проходит автомобиль от отметки  $t_{k-1}$  до отметки  $t_k$ , двигаясь с постоянной скоростью»  $V_{cpk}$

«Величина площади элементарного прямоугольника определяется следующим образом:

$$\Delta S = V_{cpk} \cdot t_k - t_{k-1} = V_{cpk} \cdot \Delta t_k, \quad (3.19)$$

где  $k=1 \dots m$  – 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  $V_2$ :  $S_2 = \Delta S_1 + \Delta S_2$ , до скорости  $V_n$ :  $S_n = \sum_{k=1}^n \Delta S_k$ .

Все результаты расчета заносим в таблицу 2.8»

Таблица 3.8 – Значения пути разгона и скорости

$V_a, \text{ м/с}$	$S, \text{ м}$
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	217,33

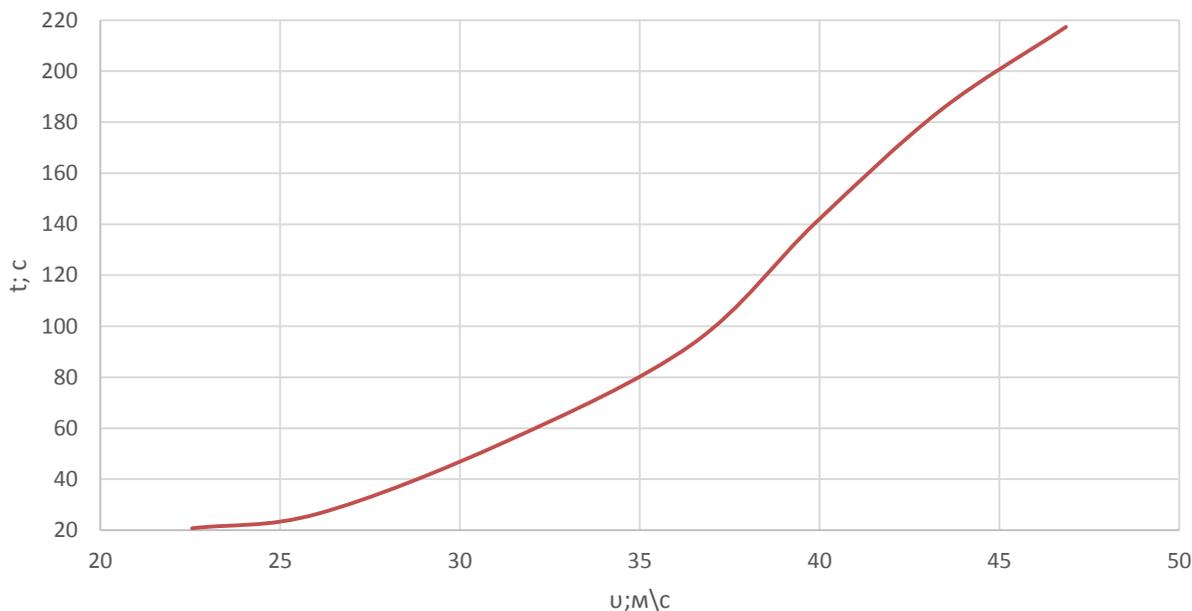


Рисунок 3.7 – Путь разгона автомобиля

«Мощностной баланс автомобиля

Уравнение мощностного баланса:

$$N_T = N_e - N_{тр} = N_f + N_n + N_B + N_D, \quad (3.20)$$

где:  $N_T$  – тяговая мощность, подводимая к ведущим колесам, Вт;

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

$N_f = F_f \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления качению колес, Вт;

$N_T = F_T \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления подъему ( $N_T=0$ ), Вт;

$N_B = F_B \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления воздуха, Вт;

$N_D = F_i \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление силы инерции автомобиля ( $N_B = 0$ ), Вт.»

«Для выбранных ранее интервалов по угловой скорости коленвала двигателя и скорости автомобиля рассчитываем значения мощностного баланса, заполняем таблицу 3.9 и строим графики.

Вверх от кривой  $N_f$  откладываем значения мощности сопротивления воздуха  $N_B$ .»

Таблица 3.9 – Рассчитанные значения мощностного баланса

$n_e$ , 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
I передача	$V$ , м/с	7,2	8,5	9,7	12,1	13,3	14,5	15,7	16,9	19,3
	$N_T$ , кВт	12,94	15,35	17,9	27	32,3	34,5	37,9	39,2	39,1
	$N_B$ , кВт	0,08	0,13	0,19	0,88	0,51	0,67	0,85	1,06	1,58
	$N_D$ , кВт	0,45	0,54	0,62	0,79	0,88	0,98	1,08	1,18	1,4

Продолжение таблицы 3.9

	$n_e$ , рад/с	3000	3500	4000	5000	5500	6000	6500	7000	8000
2 передача	$V$ , м/с	10,3	12,1	13,8	17,3	19,0	20,7	22,4	24,2	27,6
	$N_T$ , кВт	12,8	15,3	17,8	27	32	34,48	37,9	39,3	39,2
	$N_B$ , кВт	0,24	0,38	0,57	1,13	1,50	1,95	2,48	3,1	4,63
	$N_D$ , кВт	0,66	0,79	0,92	1,21	1,37	1,54	1,71	1,91	2,33
3 передача	$V$ , м/с	13,6	15,9	18,2	22,7	25,0	27,2	29,5	31,8	36,3
	$N_T$ , кВт	12,92	15,28	17,86	26,95	32,32	34,4	37,96	39,27	39,18
	$N_B$ , кВт	0,55	0,88	1,32	2,57	3,43	4,43	5,66	7,06	10,54
	$N_D$ , кВт	0,91	1,09	1,297	1,74	2	2,28	2,59	2,93	3,68
4 передача	$V$ , м/с	16,5	19,3	22,1	27,6	30,3	33,1	35,9	38,6	44,1
	$N_T$ , кВт	12,9	15,27	17,86	26,9	32,25	34,5	38	39,25	39,19
	$N_B$ , кВт	0,99	1,58	2,36	4,61	6,13	7,96	10,15	12,65	18,89
	$N_D$ , кВт	1,15	1,4	1,68	2,33	2,7	3,13	3,61	4,12	5,32
5 передача	$V$ , м/с	19,1	22,2	25,4	31,8	35,0	38,1	41,3	44,5	50,9
	$N_T$ , кВт	12,93	15,24	17,8	27	32,33	34,46	37,96	39,25	39,24
	$N_B$ , кВт	1,52	2,42	3,61	7,07	9,414	12,18	15,52	19,38	28,97
	$N_D$ , кВт	1,38	1,69	2,06	2,93	3,45	4,02	4,68	5,42	7,14
6 передача	$V$ , м/с	20,8	24,3	27,8	34,7	38,2	41,6	45,1	48,6	55,5
	$N_T$ , кВт	12,93	15,27	17,85	26,96	32,31	34,45	38	39,26	39,18
	$N_B$ , кВт	1,98	3,15	4,71	9,19	12,2	15,8	20,21	25,24	37,67
	$N_D$ , кВт	1,55	1,92	2,35	3,4	4	4,75	5,57	6,48	8,63

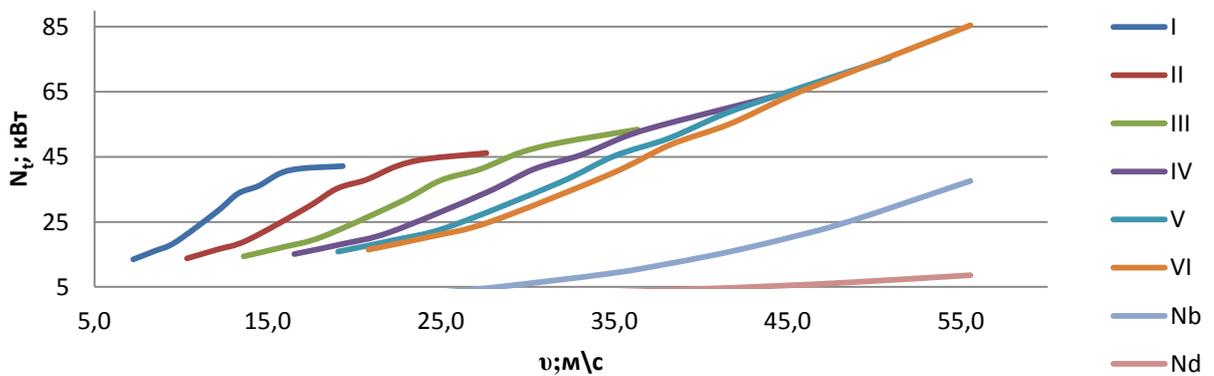


Рисунок 3.8 – Мощностной баланс

## «Расчет топливно-экономической характеристики автомобиля

Для получения топливно-экономической характеристики следует рассчитать расход топлива при движении автомобиля на высшей передаче по горизонтальной дороге с заданными постоянными скоростями от минимально устойчивой до максимальной.» «Расход топлива определяется по формуле:

$$Q_s = \frac{1,1 \cdot g_{emin} \cdot K_I \cdot K_E \cdot N_d + N_b}{36000 \cdot V_a \cdot \rho_T \cdot \eta_{TP}}, \quad (3.21)$$

где  $g_{emin} = 240$  г/(кВт · ч) – минимальный удельный эффективный расход топлива;

$\rho_T = 0,72$  кг/л – плотность топлива»

$K_I = 1,152 \cdot I^2 - 1,728 \cdot I + 1,523$  – коэффициент, учитывающий изменения величины удельного эффективного расхода топлива в зависимости от степени использования мощности

$$I = \frac{N_d + N_b}{N_T};$$

$K_E = 0,53 \cdot E^2 - 0,753 \cdot E + 1,227$  – коэффициент, учитывающий изменения величины удельного эффективного расхода топлива в зависимости от  $\omega_e$ .

$$E = \frac{\omega_e}{\omega_{eN}}, \quad (3.22)$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Результаты расчета топливно-экономической характеристики автомобиля» [8]

$\omega_e$ , рад/с	$V_a$ , м/с	$Q_s$ , л/100 км
314	20,8	0,5
366,5	24,3	0,81
419	27,8	1,2
523,6	34,7	2,8
576	38,2	4
628	41,6	5,6
681	45,1	7,74
733	48,6	10,53

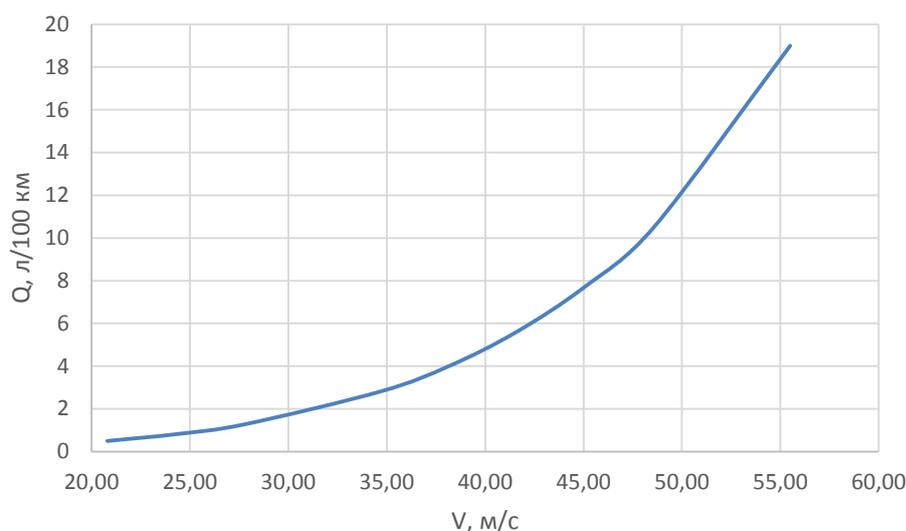


Рисунок 3.9 – Путевой расход топлива

### 3.2 Испытания и расчет обвесов на гоночный болид

После проведенных испытаний гоночного болида «VioletDemon» на соревнованиях «FormulaStudentItaly 2017», «FormulaStudentHungary 2017» «FormulaStudentMoscow 2017», были выявлены основные направления для модернизации, одно из которых – это аэродинамика.

Проанализировав время прохождения круга болидов с одноцилиндровыми двигателями, оснащенных передними и задними антикрыльями, диффузором или без каких-либо аэродинамических устройств, были выявлены ряд преимуществ и недостатков аэродинамических устройств. Плюсами являются: вход в поворот (переднее антикрыло) и выход из него (заднее антикрыло и диффузор) на более высоких скоростях, а также более высокое ускорение при выходе из поворота (при недостатке сцепления шин). Минусами же является увеличение лобового сопротивления, что критично на длинных прямых участках трассы (дисциплина «Acceleration»). Поэтому, при проектировании аэродинамики мы сделали упор на заднее антикрыло, т.к. при прохождении трассы, было выявлено недостаточное сцепление шин с дорогой на выходе из поворота.

В процессе разработки были учтены два угла атаки “боевое” и нулевое положение антикрыльев, что позволило бы эффективно проходить «ускорение» и уменьшить время круга на трассе при разных углах атаки.

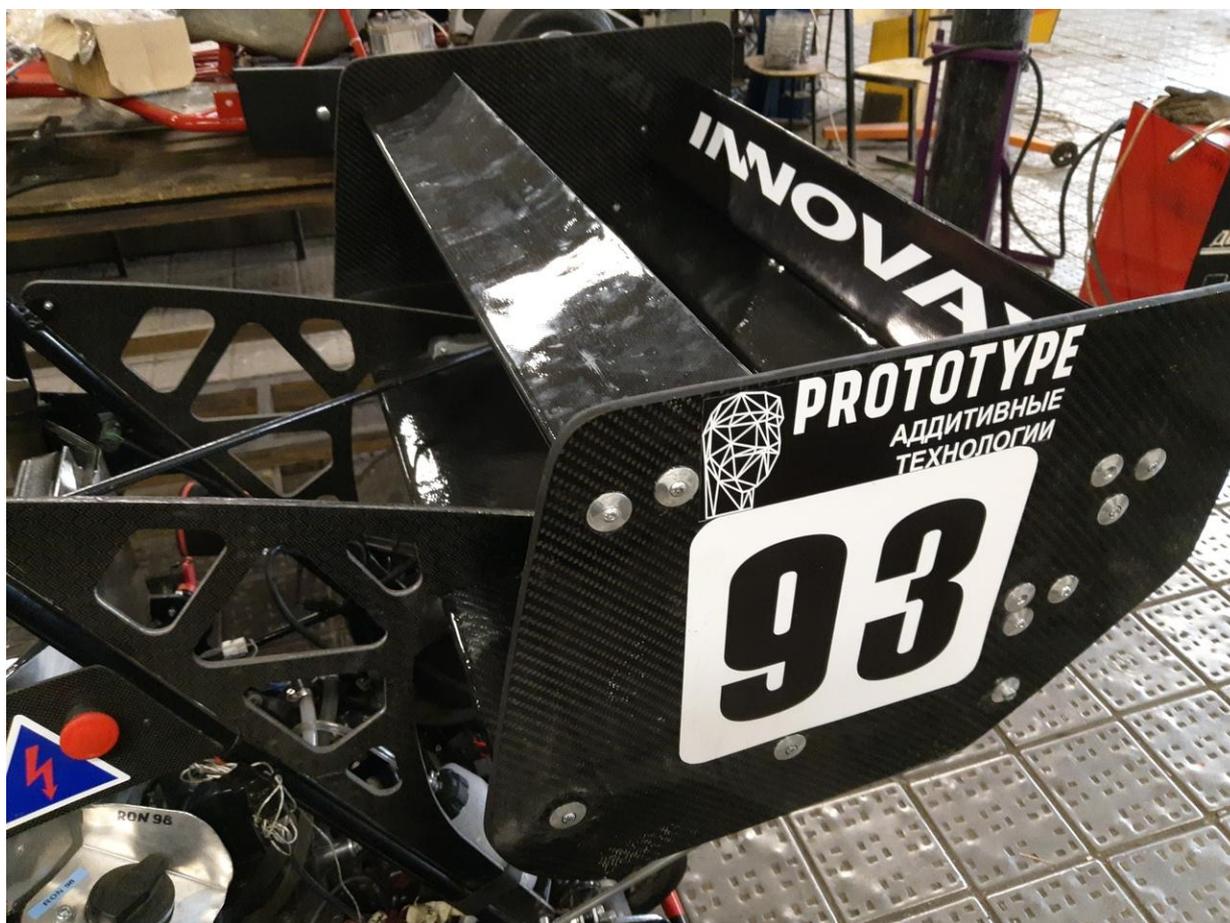


Рисунок 3.10

Для просчета прижимной силы были проведены расчеты в программе Solidworks. В качестве расчетной схемы взяты скорости 80 км/ч, 60 км/ч и 30 км/ч, что обусловлено максимальной скорости на трассе «Formulastudent», средней скорости и скорости выхода из поворота соответственно.

Для этих условий составлена 3D-модель и наложена на тело антикрыла конечно-элементная сетка.

Были рассмотрены отдельно два варианта продува:

1. В нулевом положении антикрыльев
2. В активном положении антикрыльев.

Были получены следующие результаты:

При активном положении антикрыльев средняя прижимная сила при 80 км/ч равна 198 Н, лобовое сопротивление равно 68 Н; при 60 км/ч прижимная сила равна 106 Н, лобовое сопротивление 37 Н, а при 30 км/ч прижимная сила равна 25 Н, лобовое сопротивление 9 Н.

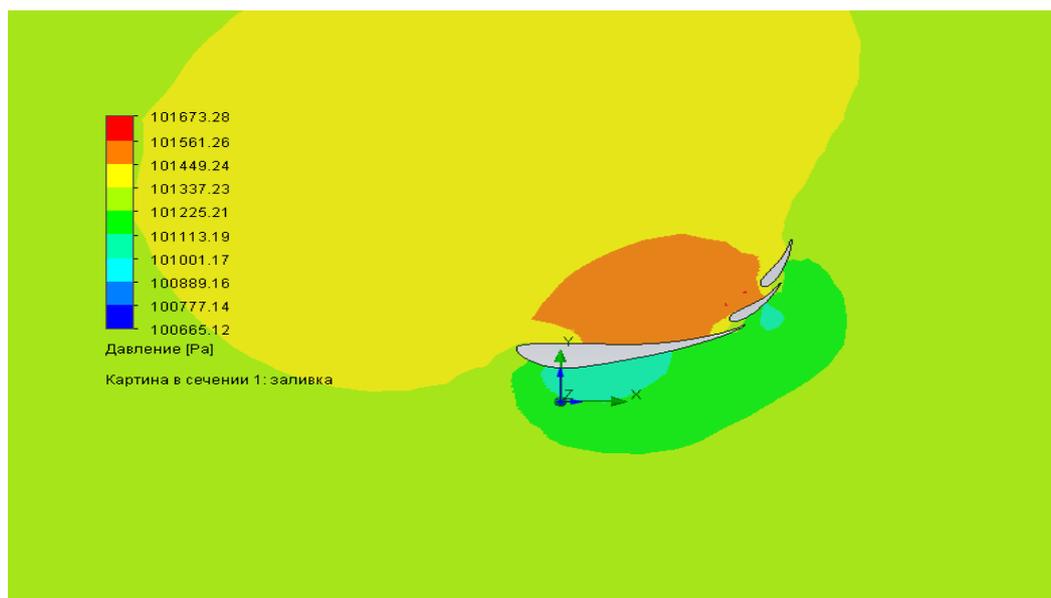


Рисунок 3.11- Давление воздуха при 80 км/ч

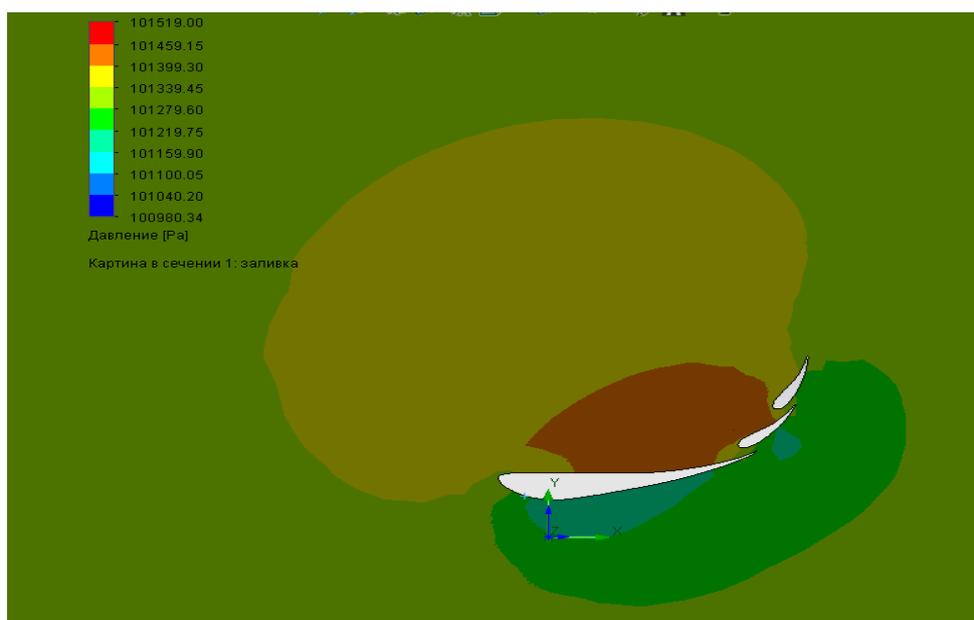


Рисунок 3.12- Давление воздуха при 60 км/ч



Рисунок 3.13- Давление воздуха при 30 км/ч

При нулевом положении антикрыльев средняя прижимная сила при 80 км/ч равна 134 Н, лобовое сопротивление равно 27 Н; при 60 км/ч прижимная сила равна 75 Н, лобовое сопротивление 15 Н, а при 30 км/ч прижимная сила равна 18 Н, лобовое сопротивление 4 Н.

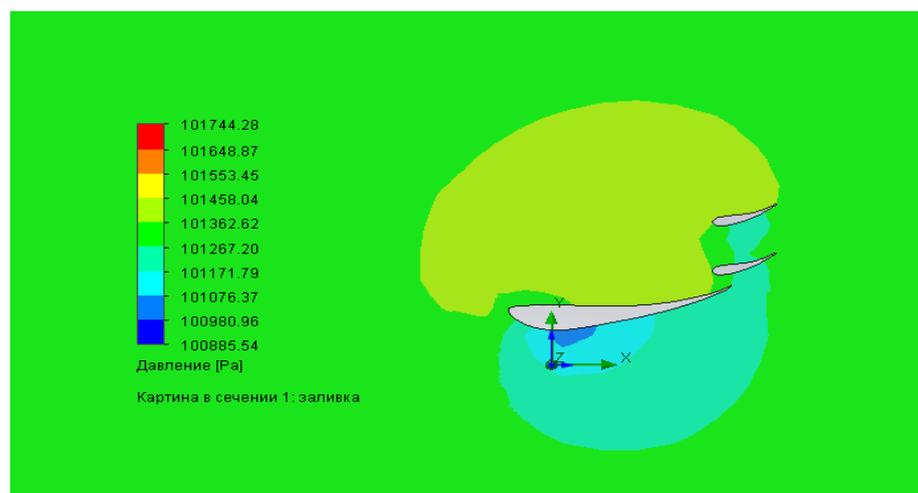


Рисунок 3.14- Давление воздуха при 80 км/ч

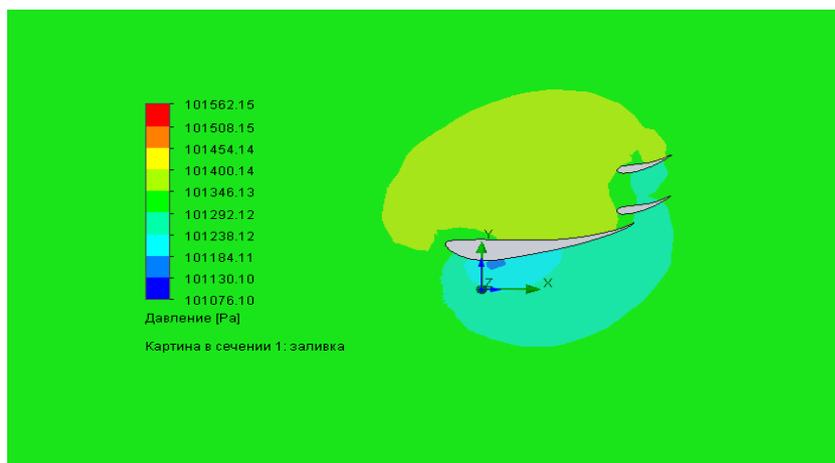


Рисунок 3.15- Давление воздуха при 60 км/ч

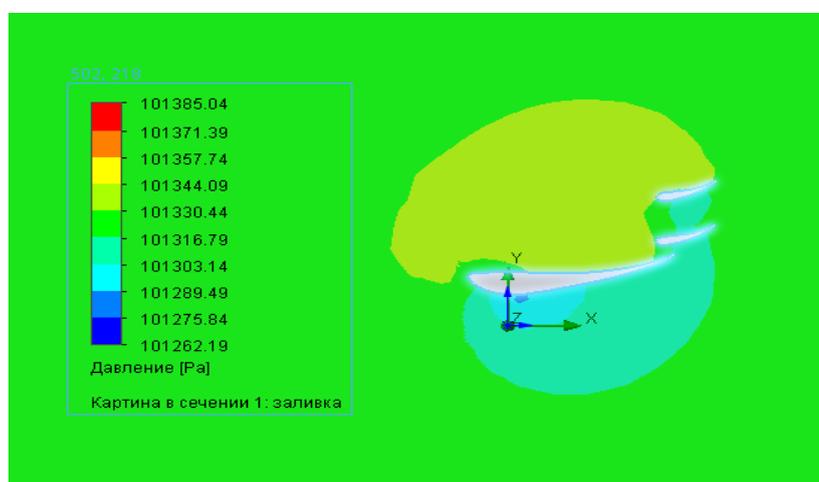


Рисунок 3.16- Давление воздуха при 30 км/ч

## 4 Технологическая часть, разработка матриц для изготовления обвесов

### 4.1 Облегчение массы обвеса болида

Для обеспечения минимального веса и в тоже время достаточной прочности крыла, мы использовали каркас из карбоновых труб и шпангоутов из 6мм фанеры, а также алюминия толщиной 2мм. Так как задача была сделать прочное и легкое крыло, мы использовали соответствующие материалы. Этим и обусловлено использование карбоновых труб. Мы

использовал трубы разного диаметра (20; 16; 16 мм), чтобы распределить их по всей длине профиля.



Рисунок 4.1- Карбоновые трубы

Матричная форма антикрыла, для нанесения композитных материалов создавалась из карбоновых труб и шпангоутов из алюминия. Пластмассовые наполнители распечатаны на 3D принтере. Они служат пространственным наполнением внутренней части крыла.

Такая конструкция позволяет достичь высокой точности изготовления продукта, а также себестоимость материалов позволяет менять конструкцию в случае неудачи сборки матрицы. Можно подчеркнуть, что масса такой

конструкции очень мала. Этот показатель мы так же прикладываем к общей защите перед судьями на между народных соревнований “Formula Student”.

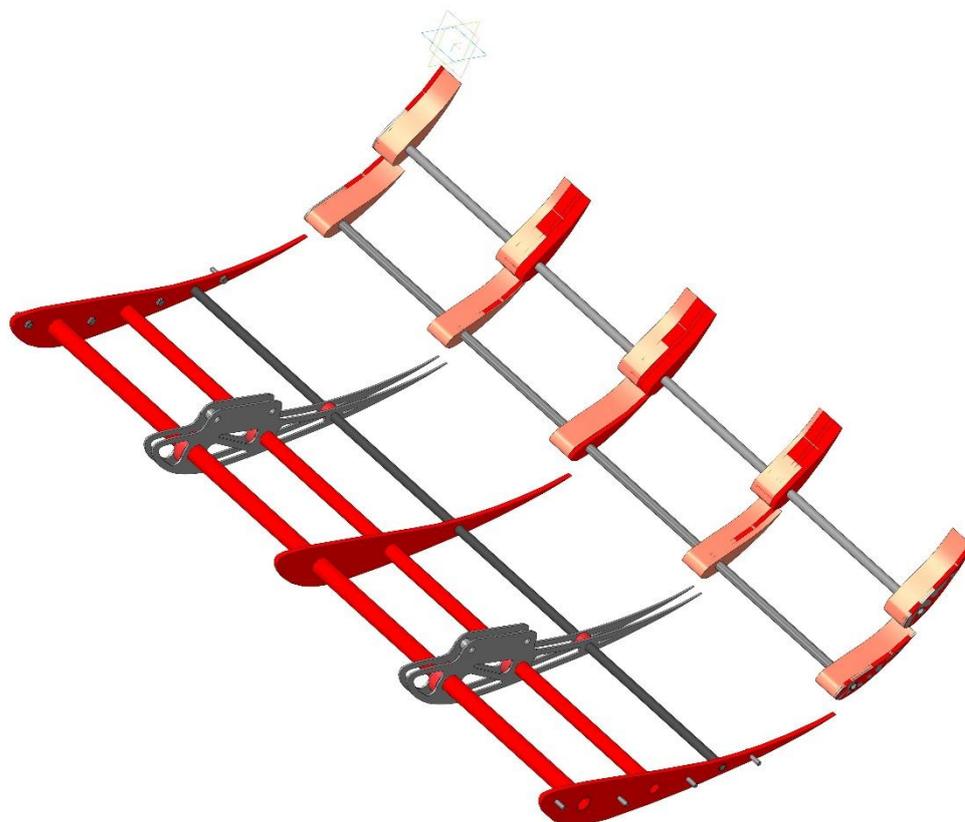


Рисунок 4.2 - 3d модель пространственной рамы для большого антикрыла

Шпангоуты должны быть максимально точными, потому что от них зависит ровность крыла, поэтому все шпангоуты для большого антикрыла были вырезаны с помощью лазерной резки.



Рисунок 4.3- Шпангоуты из алюминия 2мм

В некоторых местах было решено использовать кронштейны из фанеры, так как необходимо было добиться утолщенного шпангоута, а делать его из алюминия было не целесообразно. Там, где было достаточно 2ух миллиметрового шпангоута, мы использовали только алюминиевые, потому что фанерные шпангоуты лопались при работе с ними



Рисунок 4.4- Шпангоуты из фанеры 6мм

В конструкции маленьких антикрыльев также используются шпангоуты, напечатанные на 3D принтере для заполнения матрицы.



Рисунок 4.5- Шпангоуты, напечатанные на 3D принтере.

## 4.2 Изготовление поверхности

После создания пространственной рамы мы приступили к изготовлению поверхности антикрыльев из композитных материалов. А именно было использована углеродная ткань, так называемый карбон. Такой вид композитного материала использует большинство команд в формула студент. Он легко поддается формовке и очень легок для его массы. Именно поэтому было решено использовать такой вид материала.



Рисунок 4.6 Пластины поверхности антикрыльев.

## 5 Безопасность и экологичность участка по изготовлению элемента

Производство компонентов аэродинамики автомобиля сопряжено с опасностью для изготовителя, поэтому весь процесс регламентируется положением по охране труда, который обеспечивает безопасность на рабочем месте. Разработка документации ведется с упором на зарубежный опыт в машиностроении, а также на действующие нормативные документы РФ. На предприятии систематизированы все необходимые данные для поддержания культуры безопасности, каждый работник проходит инструктаж, систематически проходит семинары по повышению квалификации, что является главными факторами для создания безопасных условий труда на производстве.

Для производства аэродинамических элементов, необходим инженер - композитчик, сборщик и слесарь, их рабочая деятельность и будет рассматриваться с точки зрения безопасности.

Таблица 5.1 – Идентификация ОВПФ инженера - композитчика

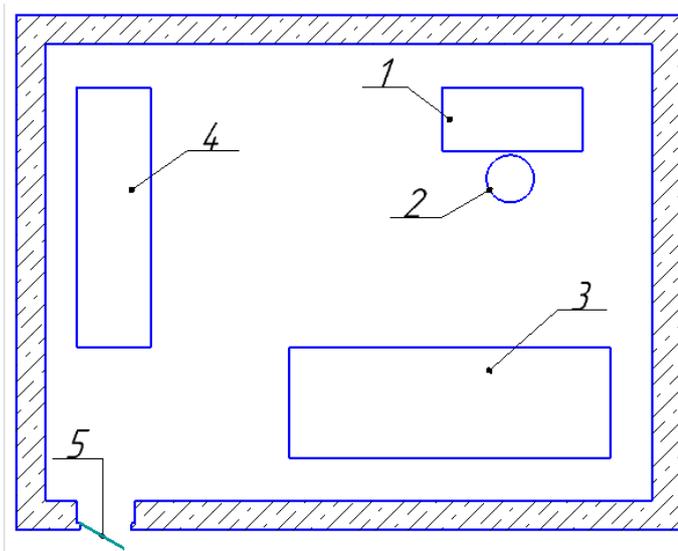
Наименование профессии	Виды выполняемых работ	Перечень оборудования, инструмент	ОВПФ
1	2	3	4
Инженер - композитчик	Склеивание деталей, формовка, создание матриц.	Эпоксидная смола, ножницы, 3D модель, лобзик, шлейф машинка	<u>Физические</u> : - механизмы, оборудование, острые кромки, конструкции, повышенный уровень шума.

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4
			Части разрушившегося изделия
			<u>Химические</u> :- газы

Локальными нормативными актами для данного рабочего были определены следующие требования по технике безопасности:

- Необходимо подготовиться и произвести осмотр перед работой с данными деталями;
- проверка работоспособности и настройка рабочего оборудования происходит перед началом работы;
- прохождение инструктажей и аттестация по соблюдению требований пожарной безопасности;
- систематическая проверка знаний по технике безопасности и охране труда;
- регулярная проверка здоровья и медицинские осмотры;
- соблюдения правил внутреннего распорядка предприятия;
- соблюдать пожарную безопасность и правила охраны труда на рабочем месте



1 - рабочий стол; 2- стул; 3 - верстак; 4 - шкаф для инструментов; 5 -  
дверной проем.

Рисунок 4.1 – Организация рабочего места сварщика

К основным задачам инженера - композитчика относятся:

- производить сборку конструкций из любых материалов, которые обладают необходимыми свойствами;
- выполнять склеивание деталей;
- ликвидировать дефекты по средствам зачистки;
- резать простые детали с помощью режущих инструментов;
- Осуществлять контроль качества приклеивания материалов

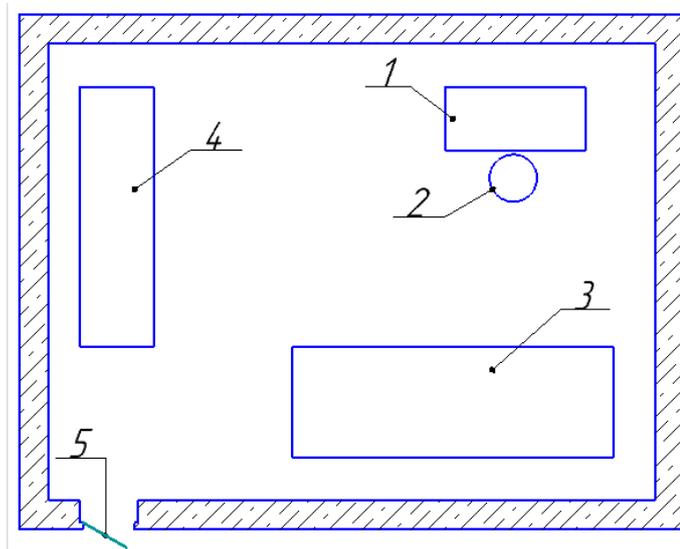
Таблица 5.2– Идентификация ОВПФ сборщика

Наименование профессии и	Виды выполняемых работ	Перечень оборудования, инструмент	ОВПФ
Сборщик	Сборка конструкции относительно чертежей и моделей	- верстак- ручной инструмент (зубило, молоток), - измерительные инструменты (линейка, рулетка, треугольник).	<u>Физические:</u> - движущие машины, механизмы, изделия, части разрушившегося изделия, конструкции. Острые кромки;- повышенный уровень шума;- физические перегрузки

«Локальными нормативными актами для данного рабочего были определены следующие требования по технике безопасности:

- прохождение инструктажей и аттестация по соблюдению требований пожарной безопасности;
- участие в срезовых коллоквиумах по знанию охраны труда и пожарно-технического минимума;
- необходимость прохождения медицинских осмотров;
- обязательно соблюдения правил внутреннего распорядка предприятия;
- соблюдение правил эксплуатации оборудования;

— при обнаружении поломки - сообщать начальству, не пытаться чинить самостоятельно.»



1 - рабочий стол; 2- стул; 3 - верстак; 4 - шкаф для инструментов; 5 - дверной проем.

Рисунок 5.2 – Организация рабочего места сборщика

«К основным задачам сборщика относятся:

- монтаж деталей или узлов конструкции в стапеле согласно рабочему чертежу или модели;
- контроль точности размещения деталей с ориентиром на чертежи и измерительные инструменты;
- разметка или написание примечаний по дальнейшей работе с данной конструкцией (например, для сварщика).»

Таблица 4.3– Идентификация ОВПФ слесаря

Наименование профессии	Виды выполняемых работ	Перечень оборудования, инструмент	ОВПФ

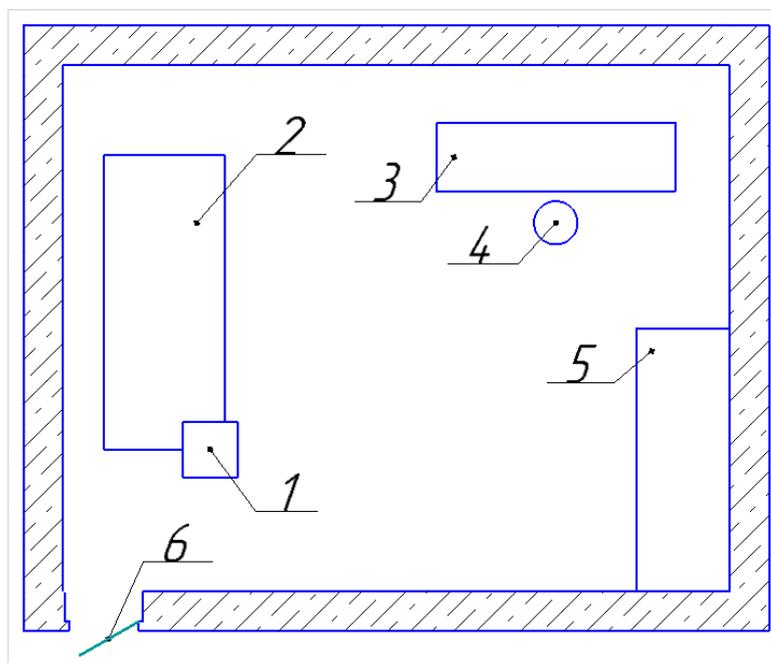
и			
1	2	3	4
Слесарь	Резка согласно искизу	- верстак- ручной инструмент (зубило, молоток),	<u>Физические</u> :- движущие машины, механизмы, изделия, части
1	2	3	4
		- слесарные тиски- измерительные инструменты (линейка, рулетка, треугольник).	разрушившегося изделия,конструкции. Острые кромки;- повышенный уровень шума;
			- физические перегрузки;- локальная вибрация.

«Локальными нормативными актами для данного рабочего места были определены следующие требования по технике безопасности:

- регулярная аттестация на знания пожарной безопасности и охраны труда;
- необходимость прохождения медицинских осмотров;
- обязательно соблюдения правил внутреннего распорядка предприятия;
- нарушающие правила охраны труда требования запрещены к выполнению;

- докладывать вышестоящему руководству о неисправностях и прекращать работу при их обнаружении;
- использовать специальное снаряжение во время работы;
- проверка всего оборудование перед началом работы;
- проверка исправности всего опорного и фиксирующего оборудования перед началом работы.»

Организация рабочего места слесаря-резчика представлена на рисунке



- 1 - слесарные тиски; 2- верстак; 3 - рабочий стол; 4 - стул; 5 - шкаф для инструментов; 6 - дверной проем.

Рисунок 4.3 – Организация рабочего места сварщика

К основным задачам слесаря-резчика относятся:

- контурная обработка листового металла;
- раскрой металла любой марки;
- торцевание под разными углами всевозможного проката
- соблюдение заданных размеров при обработке и их контроль после.;

совершать настройку и операции на высоко точном оборудовании

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе рассмотрены различные формы обвесов, расчеты их действия и способы установок на автомобиль. В процессе изготовления были спроектированы сборные модели болида с аэродинамическим обвесом.

В первом разделе описывается цель соревнований. Рассмотрены основные требования регламента соревнований и проанализированы аналоги болидов.

Во втором разделе разработаны аэродинамические элементы. Проведены расчеты и анализ антикрыльев. Подобрано оптимальное положение антикрыла и проведен тягово-динамический расчет. Описаны основные моменты аэродинамики.

В третьем разделе разработана технологическая оснастка для изготовления аэродинамических элементов.

В четвертом разделе описаны основные требования к безопасности и экологичности выполнения работ.

Итогами работы стали полностью изготовленные элементы аэродинамики, которые соответствуют всем требованиям регламента соревнований.

В данной научно - исследовательской работе для достижения поставленной цели были выполнены следующие задачи:

1. Изучена геометрия построения аэродинамических обвесов;
2. Рассмотрены требования регламента соревнований «FormulaStudent»;
3. Спроектирована CAD – модель болида в сборе;
4. Проведен прочностной анализ обвеса;
5. Спроектирована и разработана тех. оснастка для обвеса болида;
6. Разработан обвес для болида.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. URL: <https://www.formulastudent.de/> (дата обращения: 02.05.2019)
2. URL: <http://students.sae.org/cds/formulaseries/> (дата обращения: 08.05.2019)
3. URL: Pat Clarke, "Technical Introduction for New Teams", 2014 (дата обращения: 12.05.2019)
4. URL: <http://www.fsaeonline.com/> (дата обращения: 20.05.2019)
5. URL: <https://www.formulastudent.de/> (дата обращения: 02.06.2019)
6. Волкова, Е.И., Шерстобитова О.О. «Разработка пространственной рамы для гоночного болида BlackBullet» / VII выпуск журнала "Точная наука" / Е.И. Волкова, О.О. Шерстобитова: -2017.-18-20 с.
7. Лебедев, В. А. Технология машиностроения : Проектирование технологий изготовления изделий : учеб.пособие для вузов / В. А. Лебедев, М. А. Тамаркин, Д. П. Гепта. - Гриф УМО. – Р.-на-Д. : Феникс, 2008. – 361с.
8. Иванов, А.С. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: Учебное пособие / А.С. Иванов, П.А. Давыденко, Н.П. Шамов. - М.: ИЦ РИОР: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 276 с.
9. Горбачевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбачевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
10. Расторгуев, Д. А. Разработка плана изготовления деталей машин : учеб.-метод. пособие / Д. А. Расторгуев ; ТГУ ; Ин-т машиностроения ; каф. "Оборудование и технологии машиностроит. пр-ва". - ТГУ. – Т. : ТГУ, 2013. - 51 с.
11. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 295 с.

12. Суслов, А. Г. Технология машиностроения :учеб.для вузов / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. – М. : Машиностроение, 2007. - 429 с.
13. Шерстобитова, О.О., Мошко, Д.А.«Разработка модульной каркасно-сборочной технологической оснастки для производства элементов спортивно-гоночных автомобилей» / Ежегодный сборник трудов "Студенческие инженерные проекты" / О.О. Шерстобитова, Д.А. Мошко.-2017. – 205-207 с.
14. Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. — Электрон.дан. — М. : Машиностроение, 2007. — 304 с
15. Зубченко, А.С. Марочник сталей и сплавов / сост. А. С. Зубченко [и др.] ; под ред. А. С. Зубченко. - 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 2003. - 782с.
16. Маталин, А. А. Технология машиностроения :учеб.для студ. вузов, обуч. по спец. 151001 напр. "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроит. производств" / А. А. Маталин. - Изд. 3-е, стер. ; Гриф УМО. – С.-П. [и др.] : Лань, 2010. - 512 с.
17. Пашкевич, М.Ф. Технология машиностроения :учеб.пособие для вузов / под ред. М. Ф. Пашкевича. – Мин. : Новое знание, 2008. - 477 с.
18. Харламов, Г.А. Припуски на механическую обработку: справочник. [Электронный ресурс] / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. — Электрон.дан. — М. : Машиностроение, 2013. — 256 с.
19. Петрова, М.С. Охрана труда на производстве и в учебном процессе: учеб.пособие. [Текст] / М.С. Петрова – М.: ЭНАС, 2006.-232с.
20. Косилова, А.Г. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х томах Т2 (Под ред. А.Г. Косиловой 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985, 496 с., ил.).

- 21.Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя в 3-х т. Т.3. - 8-е изд. Перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестоковой. / В.И. Анурьев. - М.: Машиностроение, 2001 . - 864 с.
- 22.Сергель, Н.Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий:учеб.пособие / Н. Н. Сергель. - Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2013. - 732 с.
- 23.Капрова, В.Г. Учебно-методическое пособие к выполнению курсовой работы по дисциплине «Организация производства» для студентов специальности 190201 –«Автомобиле и тракторостроение» всех форм обучения / В.Г. Капрова. –Т. : ТГУ, 2007. –63 с.
- 24.Михайлов, А.В. Оформление документов на технологические процессы обработки резанием: Метод.указания/Сост.Михайлов А.В.-Т. : ТолПИ, 1993.
- 25.Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М. : ИНФРА-М, 2017. - 295 с.

## **ПРИЛОЖЕНИЕ А**

Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Масса ед. кг	Приме- чание
		<u>Документация</u>			
	19.РБ.ПЭА.261.02.00.000СБ	<u>Сборочный чертеж</u>			
		<u>Детали</u>			
1	19.РБ.ПЭА.261.02.00.001	Диффузор торцевой	2		
2	19.РБ.ПЭА.261.02.00.002	Кронштейн наружный	2		
3	19.РБ.ПЭА.261.02.00.003	Кронштейн внутренний	2		
4	19.РБ.ПЭА.261.02.00.004	Крыло верхнее	2		
5	19.РБ.ПЭА.261.02.00.005	Крыло нижнее	1		
		<u>Стандартные изделия</u>			
6		Винт М5х25 ГОСТ 28963-91	14		
7		Винт М6х25 ГОСТ 7380-1	14		
8		Гайка М5х25 ГОСТ 10520	14		
9		Шайба класса А М5 ГОСТ 11371-78	16		
10		Шайба класса А М6 ГОСТ 11371-78	16		
		<b>19.РБ.ПЭА.261.02.000</b>			
		<b>Элемент аэродинамический</b>		<b>ТГУ, гр. АТД-1501</b>	
		<b>передний</b>		<b>1</b>	
		<b>Копировал</b>		<b>Формат А4</b>	

Соединено  
 Взят инв. №  
 Подп. и дата  
 Инв. № подл.

Изм.	Колуч.	Лист	№ док.	Подп.	Дата
Разраб.		Митюхин И.М.			
Пров.		Бобровский А.В.			
Н.контр.		Егоров А.Г.			
Утв.		Бобровский А.В.			

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б**

