

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)

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и автомобильное хозяйство

(направленность (профиль) / специализация)

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Трансмиссия спортивного болида «Формула-студент» с электрической силовой установкой

Студент

Н.Ю. Чугунов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский

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

## **Аннотация**

В данной работе представлен обзор конструкций трансмиссий автомобилей класса «Формула студент».

Введены основные понятия для правильности проектирования и расчета тягового узла.

Выполнен тягово-динамический расчет, рассчитана цепная передача, произведено математическое моделирование автомобиля по кругу для сравнения характеристик.

Разработаны и изготовлены кронштейны крепления, узлы и детали тягового узла. Разработана инструктивно – технологическая карта сборки трансмиссии.

Выпускная квалификационная работа состоит из: 54 страниц, 12 таблиц, 27 рисунков, 6 чертежей.

## Содержание

Введение.....	4
1 Состояние вопроса .....	5
1.1 Основные положения участия в соревнованиях «Формула Студент» .....	5
1.2 Назначение трансмиссии.....	6
2 Обзор трансмиссий электроболитов «Формулы Студент» .....	9
3 Проектирование корпуса тягового узла и расчет трансмиссии .....	11
3.1 Тягово-динамический расчет .....	11
3.2 Расчет цепной передачи .....	26
3.3 Математическое моделирование .....	30
3.4 Разработка конструкции крепления тягового узла .....	32
3.5 Технологическая оснастка для изготовления узлов трансмиссии .....	36
4 Разработка процесса сборки узла .....	39
4.1 Описание трансмиссии и принципа работы сборочного механизма .....	39
4.2 Анализ технологической конструкции изделия .....	40
4.3 Разработка технологической карты сборки тягового узла .....	42
5 Технологический проект участка .....	45
Заключение .....	49
Список используемой литературы и используемых источников.....	50
Приложение А Спецификация к сборочному чертежу .....	53

## Введение

На сегодняшний день проект «Формула студент» является актуальным среди высших учебных заведений, как Российских, так и зарубежных. Ежегодным итогом проекта будет считаться автомобиль формульного типа, отвечающий всеми требованиями действующего регламента, спроектированный и собранный силами, навыками и знаниями студентов, с которым, в дальнейшем, будут принимать участие в международных соревнованиях.

Одной из основных целей соревнований для студентов, является защита технической конструкции болида. Обосновать наглядно, с помощью примеров, расчетных формул и графиков, то или иное техническое решение. В зависимости от эффективности или целесообразности решения судьи начисляют баллы, которые влияют на рейтинг команд.

Так же немаловажный фактор, это выступление в динамических дисциплинах. За данные дисциплины так же начисляют баллы, но при условии, если автомобиль стартовал и приехал к финишу. Для этого, автомобиль должен быть безопасным и надежным.

Цель работы: разработка совершенно новой конструкции трансмиссии электроболида, соответствующей всем требованиям регламента для болидов класса «Формула студент», учитывая опыт и недостатки прошлых лет и существующих аналогов. Проведение математического моделирования с изменением передаточного числа главной передачи и сравнение симуляций и данных тягово-динамического расчета. Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Рассмотреть аналоги трансмиссий болидов «Формула студент»
2. Рассчитать цепной привод, подбор ведущей и ведомой звезд
3. Спроектировать и изготовить крепления трансмиссии
4. Разработать технологическую карту сборки узла трансмиссии.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Основные положения участия в соревнованиях «Формула Студент»**

Серия соревнований «Формула студент» предоставляет командам, состоящим из студентов высших учебных заведений, своеобразную задачу: спроектировать, изготовить и посоревноваться на автомобилях формульного типа. [6] Студенты имеют полную возможность для раскрытия своих творческих и технических навыков, но во время создания прототипа накладывается ряд ограничений по конструкции – регламент.

Основная цель регламента – обеспечение безопасности при передвижении болида по гоночной трассе, сохранение здоровья при несчастном случае, правила поведения, очки и штрафы, документы. Так же, у регламента есть и другая задача, посмотреть насколько сообразительна команда, как она смогла справиться с проблемами, при создании болида, из-за наложенных ограничений в регламенте. [1]

Задачей для команд является не только моделирование и сборка болида к началу соревнований, но и прохождение технической инспекции, статистических дисциплин, динамических дисциплин. [11]

Техническая инспекция – своего рода допуск к динамическим дисциплинам. На технической инспекции проверяю каждый узел, на соответствие регламенту, на надежность и правильность сборки. Смотрят и проверяют толщину труб, материал подголовника и многое другое.

Статистические дисциплины - сюда входят такие направления как бизнес-презентация, отчет о стоимости и защита конструкции. Тут студенты должны аргументировать все свои выбранные решения относительно стоимости и конструкции узла. Предоставить бизнес-план на выпуск малой серии прототипа. [12]

Динамические дисциплины – это уже непосредственно проверка работы, управляемости и динамики автомобиля на гоночной трассе, где команды соревнуются по скорости и правильности прохождения трасс. В динамике присутствуют такие дисциплины как: ускорение, восьмерка, автокросс и гонка на выносливость, которая включает в себя топливную эффективность.

Везде, на всех этапах «Формула студент», официальный язык – Английский. Общение с судьями и документы, которые команды предоставляют на соревнованиях, должны быть строго на английском языке. [6]

FormulaSAE является отличной школой для студентов, в которой они получают знания и практические навыки в инженерии, что по итогу им даст хороший старт в инженерной сфере деятельности.

## **1.2 Назначение трансмиссии**

«Трансмиссия служит для передачи крутящего момента от коленчатого вала двигателя на ведущие колеса, а также для изменения величины крутящего момента условиями движения автомобиля и для отключения двигателя от ведущих колес.

При эксплуатации автомобиля возникает необходимость изменять не только скорость движения и величину подводимого к колесам момента, но также маневрировать, останавливаться, двигаться задним ходом. Выполнение всех этих действий становится возможным благодаря тому, что развиваемый двигателем крутящий момент подводится к ведущим колесам через механизмы, составляющие трансмиссию автомобиля.» [9]

Автомобили умеют такие виды компоновки трансмиссии как:

- Переднеприводная.
- Полноприводная.
- Классическая (Заднеприводная).

«В гражданских автомобилях, а также в болидах класса Формула Студент, с двигателем внутреннего сгорания, в трансмиссии используются такие системы как:

– Сцепление - позволяет на продолжительное время отсоединить трансмиссию от двигателя и обеспечивает плавное включение трансмиссии при трогании автомобиля с места или при переключении передач.

– Коробка передач - служит для получения различных тяговых усилий на ведущих колесах путем изменения крутящего момента, передаваемого от двигателя к карданному валу (приводным валам), а также для изменения направления вращения ведущих колес при движении задним ходом и для отключения трансмиссии от двигателя на длительное время.

– Главная передача - служит для того, чтобы передать крутящий момент под углом 90 градусов от карданного вала к полуосям (приводным валам), а также для уменьшения числа оборотов ведущих колес по отношению к числу оборотов карданного вала (приводных валов). Уменьшение частоты вращения механизмов трансмиссии после главной передачи приводит к увеличению крутящего момента и, соответственно, увеличивает силу тяги на колесах.

– Дифференциал- обеспечивает возможность вращения правого и левого ведущих колес с разными угловыми скоростями на поворотах и неровной дороге. Две полуоси, связанные с дифференциалом через полуосевые шестерни, передают крутящий момент от дифференциала к правому и левому ведущим колесам. Дифференциалы, устанавливаемые между приводами колес ведущей оси, называют межколесными, между разными осями – межосевыми (в полноприводных трансмиссиях).» [3]

У электромобилей трансмиссия отлична от трансмиссии автомобилей с ДВС. Один из положительных технических моментов при проектировании электромобилей - возможность упрощенной трансмиссии. [2]

Коробка переключения передач на автомобилях с двигателем внутреннего сгорания, имеет множество ступеней, это помогает изменять момент, передаваемый на ведущие колеса, и влияет динамику автомобиля в положительную сторону. [5] Но, в свою очередь, множество электромобилей имеют только одну ступень передачи.

Аргументируется это тем, что в электродвигателе, на нулевых частотах вращения ротора, достигается максимальный крутящий момент. [3] Так же, у электромобиля нет потребности в разъединения трансмиссии от электродвигателя на холостом ходу и при остановке машины, так как режима холостого хода у электродвигателя нет.

Электромоторы имеют высокую частоту вращения, на всем протяжении эффективны, включая и максимальную частоту вращения. [7]

Вывод по разделу:

В данном разделе мы изучили основные мероприятия соревнований, ознакомились с понятием регламент и структурой соревнований в целом. Изучили, что представляет из себя трансмиссия, для чего нужна и из каких систем состоит.



## 2 Обзор трансмиссий электроболидов «Формулы Студент»

В представленной трансмиссии на рисунке 1, как мы видим, используются алюминиевые плиты крепления электромоторов, звезд и проводных валов с шарнирами равных угловых скоростей, что позволяет значительно уменьшить вес болида и упростить конструкцию данного узла. Дифференциал электрический, с микропроцессорным управлением.



Рисунок 1 - Конструкция трансмиссии болида университета МАДИ

Но также в формуле электрик используют и мотор-колесо. В какой-то степени, это проще и технологичнее, но, с другой стороны, это имеет сложности в компоновке. Рассмотрим пример на рисунке 2.



Рисунок 2 - Мотор-колесо Швейцарской команды EPFL Racing Team, интегрированное в поворотный кулак

Данная конструкция (рисунок 2), компактная и дает возможность сделать болид полноприводным, позволяет использовать электрические тормоза для рекуперации энергии в аккумулятор с использованием механических тормозов, основной минус такой конструкции: дороговизна и сложность в изготовлении крепления тяговой системы.

В Формуле Электрик давно отошли на второй план обычные самоблокирующие дифференциалы. Все чаще встречаются мотор-колесо или два электро-мотора передающие крутящий момент на два или четыре колеса, с использованием системы микропроцессорного управления.

Вывод по разделу:

Сделав обзор на другие конструкции, мы можем представить себе приблизительную конструкцию нашего тягового узла, опираясь на опыт и ошибки других команд.

### 3 Проектирование корпуса тягового узла и расчет трансмиссии

#### 3.1 Тягово-динамический расчет

«Исходные данные для проведения тягово-динамического расчета электроболида класса «FormulaStudent» сведем в таблицу 1. Расчет производился в соответствии с методикой, описанной в источнике.» [4]

Таблица 1 - Исходные данные для проведения тягово-динамического расчета.

Параметр	Значение
Колесная формула	4x2
Количество мест	1
Снаряженная масса $m_0$ , кг	280
Максимальная скорость $V_{max}$ , км/ч (м/с)	123,48(34,3)
Угловая скорость $\omega_e^{max}$ , рад/с (об/мин)	3000 (356,8)
Максимальная мощность двигателя $N_e^{max}$ , кВт	52
Максимальный крутящий момент двигателя $M_e^{max}$ , Н·м	226
Тип и размерность колеса	200/75R13
Коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x$	0,7
Величина максимального преодолеваемого уклона $i$ , %	0,34
КПД трансмиссии $\eta_{тр}$	0,93
Габаритная ширина автомобиля $B$ , мм	1444
Габаритная высота автомобиля $H$ , мм	1136
Коэффициент сопротивления качению $f_0$	0,02
Передаточные числа:	
- Главная передача	3

«Подготовка исходных данных для тягового расчета

Полная масса болида:

$$m_a = m_0 + m_ч \cdot n + m_6 \cdot n , \quad (1)$$

где:  $m_0$  – снаряженная масса болида, кг;

$m_ч = 75$  кг – масса одного человека;

$n$  – число пассажиров;

$m_б$  – вес багажа.» [4]

$$m_a = 280 + 75 \cdot 1 = 365 \text{ кг}$$

Полный вес болида:

$$G_a = m_a \cdot g , \quad (2)$$

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

$$G_a = 365 \cdot 9,81 = 3580,7\text{Н}$$

«Болид имеет заднеприводную компоновку (задние колеса ведущие), принимаем распределение веса по осям в соотношении: 40% на передние колеса и 60% - на задние.» [4]

Вес, приходящийся на ведущие колеса:

$$G_2 = 0,6 \cdot G_a = 0,6 \cdot 3580,7 = 2148,4\text{Н};$$

Вес, приходящийся на ведомые колеса:

$$G_1 = 0,4 \cdot G_a = 0,4 \cdot 3580,7 = 1432,3\text{Н}»$$

Параметры обтекаемости автомобиля

Коэффициент обтекаемости

$$k = \frac{C_x \cdot \rho}{2} , \quad (3)$$

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

$$k = \frac{0,7 \cdot 1,293}{2} = 0,452$$

Лобовая площадь автомобиля

$$F = 0,8 \cdot B \cdot H , \quad (4)$$

где:  $B$  – габаритная ширина автомобиля, м;

$H$  – габаритная высота автомобиля, м.

$$F = 0,8 \cdot 1,44 \cdot 1,136 = 1,312 \text{ м}^2$$

«Согласно выбранной ширине 200/75R13, радиус качения данной шины рассчитывается по формуле:

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

где:  $d$  – посадочный диаметр шины, м;

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

$H$  – высота профиля шины, м.» [4]

$$r_k = 0,5 \cdot 0,33 + 0,85 \cdot 0,15 = 0,293 \text{ м}$$

«Внешняя скоростная характеристика (ВСХ) двигателя

Рассчитывается ВСХ двигателя по формуле:

$$N_e = N_{\max} \left[ \frac{\omega_e}{\omega_N} + \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right] , \quad (6)$$

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

$\omega_N$  – угловая скорость вала при максимальной мощности, рад/с.

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

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

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e}, \quad (7)$$

Рассчитываемы зависимости  $N_e(\omega_e)$  и  $M_e(\omega_e)$ . Результаты расчетов сводим в таблицу (см. табл.6) и представляем в виде графика (рисунок 3,4). Для данного двигателя, данные полученный при испытаниях со стенда, которые вы можете увидеть в таблице ниже.» [4]

Таблица 2 - Результаты со стенда испытания двигателя.

$M_e, \text{Н} \cdot \text{м}$	$n_e, \text{об/мин}$	$N_e, \text{кВт}$
225,4	1329	30556
223,4	1464	33378
221,4	1533	34644
216,6	1814	40098
212,6	1954	42382
210,4	1980	42518
208,4	2049	43568
210,4	2115	45426
222,8	2243	51004
204,2	2368	49362
196	2481	49616
183,6	2545	47680
181,6	2575	47712
165	2706	45568
158,8	2782	45102
150,6	2823	43388
143,4	2882	42168
134,2	2966	40590

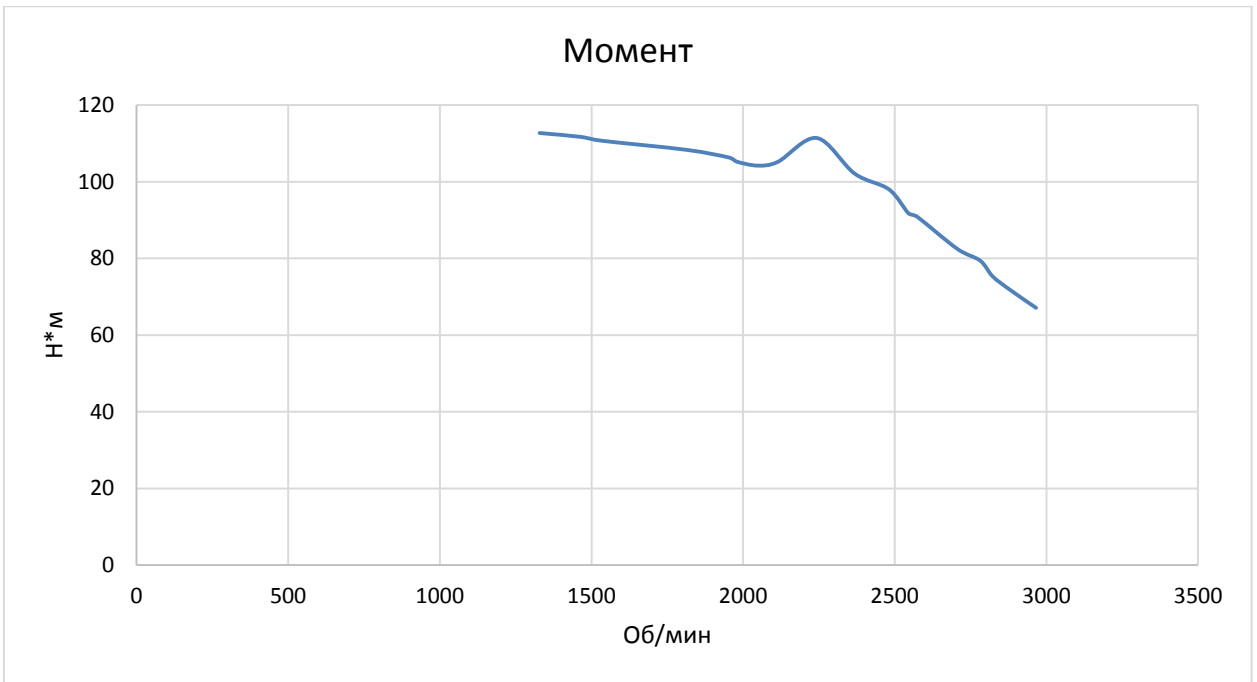


Рисунок 3 - График зависимости крутящего момента от частоты вращения со стенда

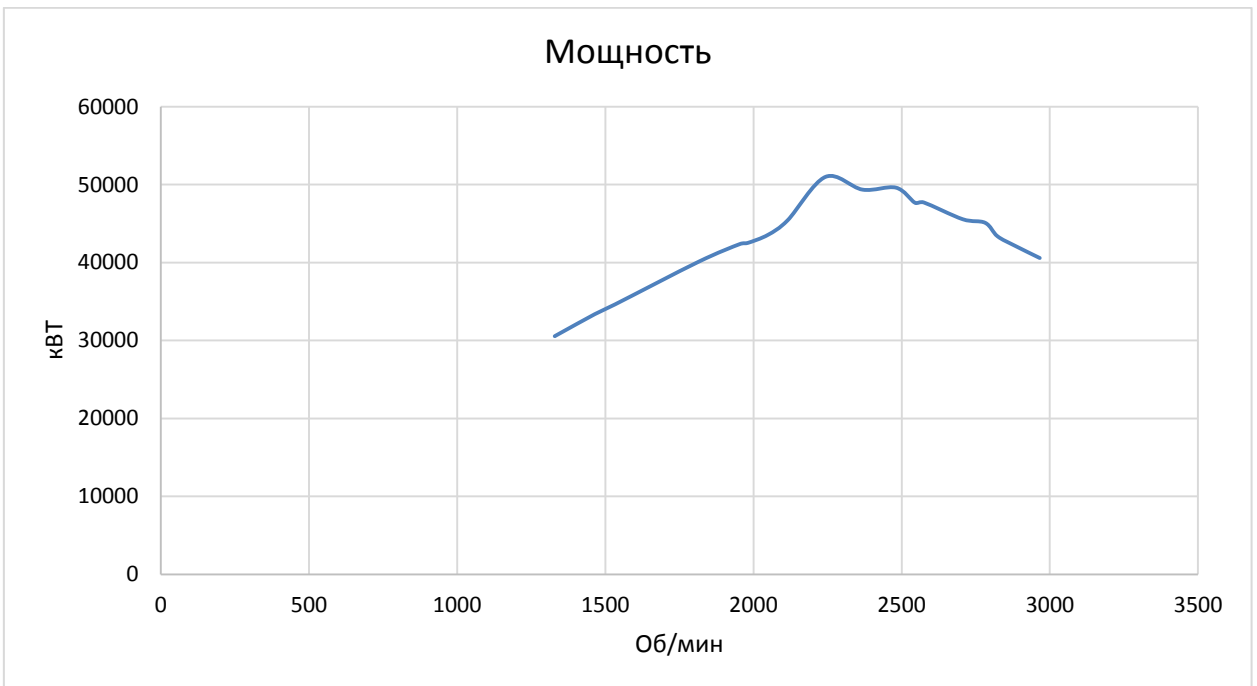


Рисунок 4 - График зависимости мощности от частоты вращения со стенда

«Передаточное число  $U_0$  определяется, исходя из заданного значения максимальной скорости автомобиля  $V_{max}$  и передачи на которой мы хотим

достигнуть эту скорость. Опыт прошлых лет показал, что на соревнованиях в динамических дисциплинах, не используется больше трех передач и нет возможности из-за конфигурации трассы достигнуть максимальную скорость. В болиде на электрической тяге отсутствует коробка переключения передач, потому исходя из этого подбираем главную передачу позволяющая достигнуть хороших показателей на всех дисциплинах.» [4]

Расчет производится по данной формуле:

$$U_0 = \frac{r_k \cdot \omega_{\max}}{U_4 \cdot V_{\max} \cdot U_0}, \quad (8)$$

$$U_0 = \frac{0,293 \cdot 356,5}{1 \cdot 34,81} = 3$$

«Силовой баланс болида

Уравнение силового баланса:

$$F_T = F_D + F_B + F_{\text{и}}, \quad (9)$$

где:  $F_T$  – сила тяги ведущих колес, Н;

$F_D$  – сила дорожного сопротивления, Н;

$F_B$  – сила сопротивления воздуха, Н;

$F_{\text{и}}$  – сила сопротивления разгону болид, Н (не учитываем).

Силу тяги рассчитывают по формуле:

$$F_{Ti} = \frac{U_{ki} \cdot U_0 \cdot M_e \cdot \eta_{\text{тр}}}{r_k}, \quad (10)$$

Сила аэродинамического сопротивления воздуха:

$$F_B = k \cdot F \cdot V_a^2, \quad (11)$$

Сила дорожного сопротивления автомобиля (без учета сопротивления подъему):

$$F_D = G_a \cdot f, \quad (12)$$

где:  $f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_a^2}{2000}\right)$  – зависимость коэффициента трения качения от скорости движения болида.» [4]



«Пользуемся выбранными при расчете ВСХ значениями  $\omega_e$ , приводя в соответствие с ними скорости болида.» [4]

Результаты расчетов занесем в таблицу 3.3.

Таблица 3 – Силовой баланс автомобиля

Рсц	2140	2140	2140	2140	2140	2140	2140	2140
об/мин	1300	1800	2000	2400	2700	2800	2900	3000
$\omega_e$	157	188,5	240,9	261,8	303,7	324,6	345,6	356,5
Me	226	220	210	204	164	150	142	134
V	15,333	18,410	23,527	25,569	29,661	31,702	33,753	34,818
Pt	2152,1	2094,8	1999,6	1942,5	1561,6	1428,3	1352,1	1275,9
Pв	139,43	200,99	328,27	387,70	521,74	596,02	675,63	718,92
Pд	75,646	79,160	86,424	89,815	97,465	101,70	106,24	108,71
f	0,022	0,023	0,025	0,026	0,028	0,030	0,031	0,032

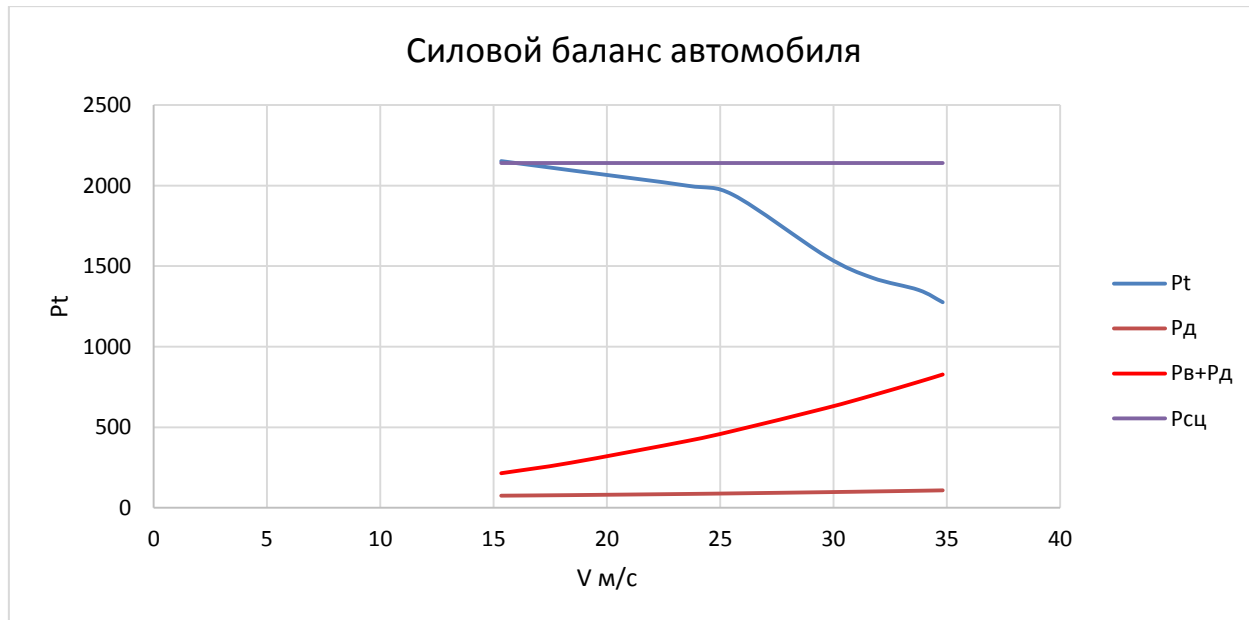


Рисунок 5 - Тяговый баланс болида

«Динамическая характеристика автомобиля

$$D = \frac{F_T - F_B}{G_a}, \quad (13)$$

По этой формуле и данным силового баланса рассчитываем и строим динамическую характеристику болида, которая является графическим изображением зависимости динамического фактора D от скорости движения при полной загрузке болида.»[4]

«Данные расчета заносим в таблицу 3.4 и представляем графически.

Чтобы учесть влияние буксования ведущих колес, определяем динамический фактор (рисунок 6) по сцеплению:» [4]

$$D_{\text{сц}} \approx \frac{G_{\text{сц}} \cdot \varphi}{G_a} = \frac{2030,4 \cdot 2,1}{3384,45} = 1,25.$$

$$G_{\text{сц}} = m_2 \cdot G_2 = 1,08 \cdot 2030,4 = 2192,83H$$

Таблица 4 - Данные расчета динамической характеристики

Динамическая характеристика автомобиля							
0,594	0,559	0,493	0,459	0,307	0,245	0,199	0,165



Рисунок 6 - 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. Как и упоминалось ранее, для графического представления, берем только в расчет одну главную передачу, по которому находим ускорение из выражения:» [4]

$$j = \frac{(D-f) \cdot g}{\delta_{вр}}, \quad (14)$$

«где:  $\delta_{вр} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_k^2)$  – коэффициент учета вращающихся масс двигателя, который определяем для каждой передачи в отдельности (для автомобилей с двигателем внутреннего сгорания) и как в нашем случае только для одной по формуле:

$$\delta_{вр} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_k^2) = 1 + (0.05 + 0.03 \cdot 3^2) = 1,32$$

Определяем ускорение разгона (рисунок 7), вносим результаты в таблицу 5 и строим график зависимости  $j = f(V)$ .»[4]

Таблица 5 – Значения ускорение разгона

Ускорение автомобиля							
4,639	4,347	3,796	3,509	2,257	1,750	1,366	1,073

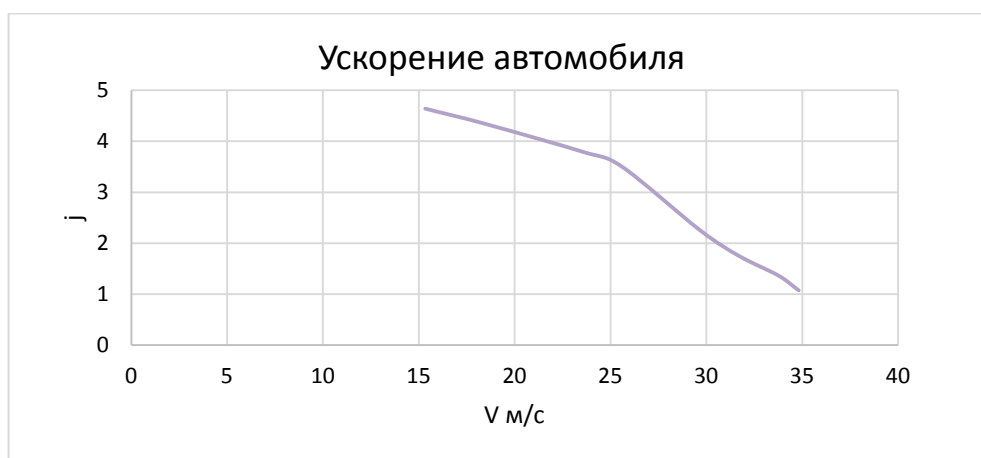


Рисунок 7- Ускорение автомобиля

«Затем, определяем значения обратных ускорений ( $1/j$ ) (рисунок 8) и заносим их в таблицу 5. Поскольку при скоростях  $V$ , близких к максимальной, ускорение стремится к нулю, то для расчета обратных ускорений ограничиваются скоростью  $V = (0,8 \dots 0,9) V_{\max}$ .» [4]

Таблица 6 – Значения обратных ускорений.

Обратные ускорения								
0,2	0,215	0,230	0,263	0,284	0,442	0,571	0,732	0,931

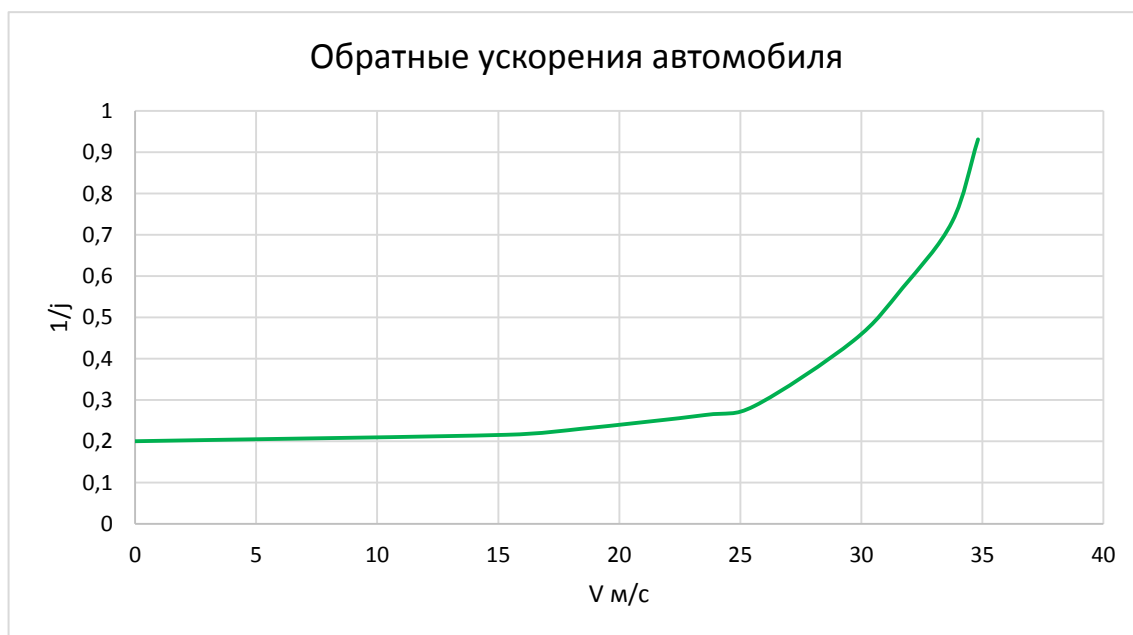


Рисунок 8- Обратные ускорение автомобиля

#### Время и путь разгона

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

$$\Delta t = \int_{V_i}^{V_{i+1}} \frac{1}{j} dV \approx \left( \frac{1}{j_{CP}} \right)_{i+1} \cdot (V_{i+1} - V_i) \quad (15)$$

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

$$\left(\frac{1}{j_{\text{CP}}}\right)_k = \frac{(1/j)_{k-1} + (1/j)_k}{2} \quad (16)$$

где:  $k$  – порядковый номер интервала.»[4]

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

$$\Delta t = \left(\frac{1}{j_{\text{CP}}}\right)_k \cdot (V_k - V_{k-1}), \quad (17)$$

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

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

$t_2$  – время разгона до скорости  $V_2$ .» [4]

Результаты расчета сводим в таблицу 3.7.

Таблица 7 – Значения скорости и времени.

$v_a$ , м/с	$t$ , с
15,33	3
18,41	3,67
23,52	4,92
25,56	5,47

Продолжение таблицы 7

29,66	6,95
31,7	7,98
33,75	9,31
34,81	10,18

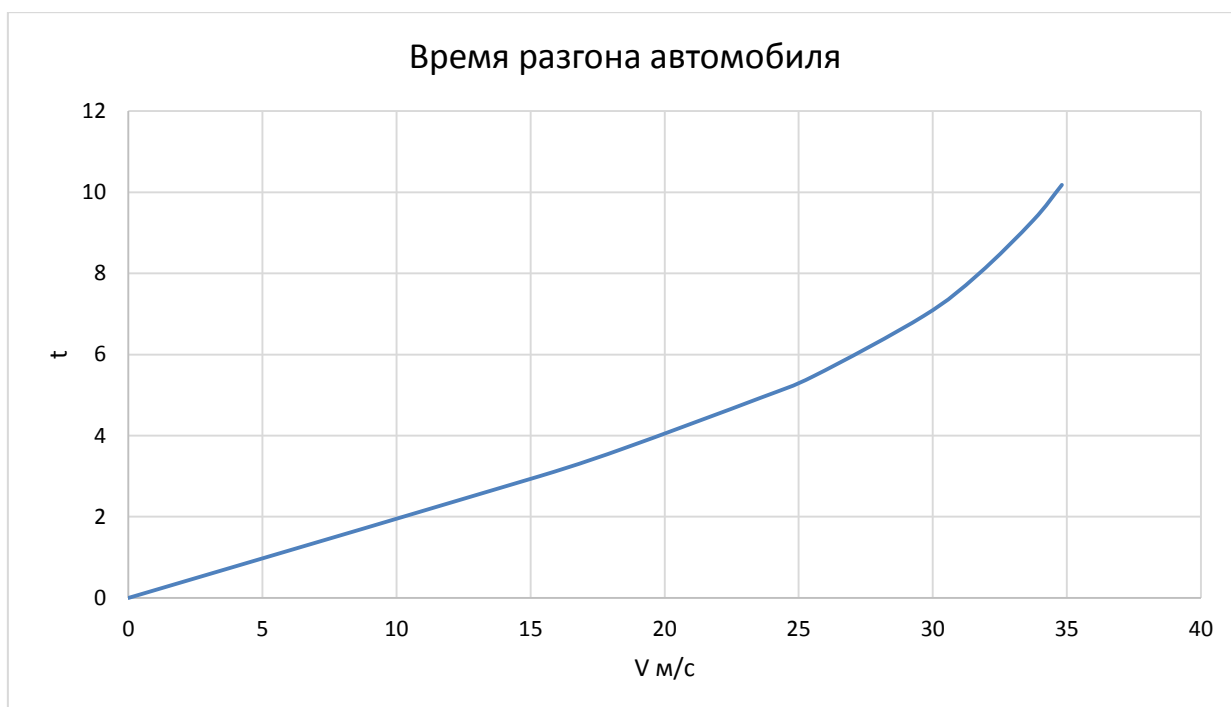


Рисунок 9– Время разгона автомобиля

«Аналогичным образом проводится графическое интегрирование (рисунок 10) зависимости  $t=f(V)$  для получения зависимости пути разгона  $S$  от скорости болида.

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

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  $V_{cpk}$ .» [4]

«Величина площади элементарного прямоугольника определяется следующим образом:

$$\Delta S = V_{cpk} \cdot (t_k - t_{k-1}) = V_{cpk} \cdot \Delta t_k \quad (18)$$

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  $V_n$ :  $S_n = \sum_{k=1}^m \Delta S_k$ .» [4]

Все результаты расчета заносим в таблицу 3.8.

Таблица 8 – Значение пути и скорости разгона.

$v_a$ , м/с	S, м
15,33	22,99
18,41	34,29
23,52	60,49
25,56	73,92
29,66	114,78
31,7	146,38
33,75	189,9
34,81	219,72



Рисунок 10 – Путь разгона автомобиля

Мощностной баланс электроболида

«Уравнение мощностного баланса:

$$N_T = N_e - N_{тр} = N_f + N_n + N_B + N_D \quad (19)$$

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

$$N_T = N_e \cdot \eta_{тр} = N_e \cdot 0,93 ,$$

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

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

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

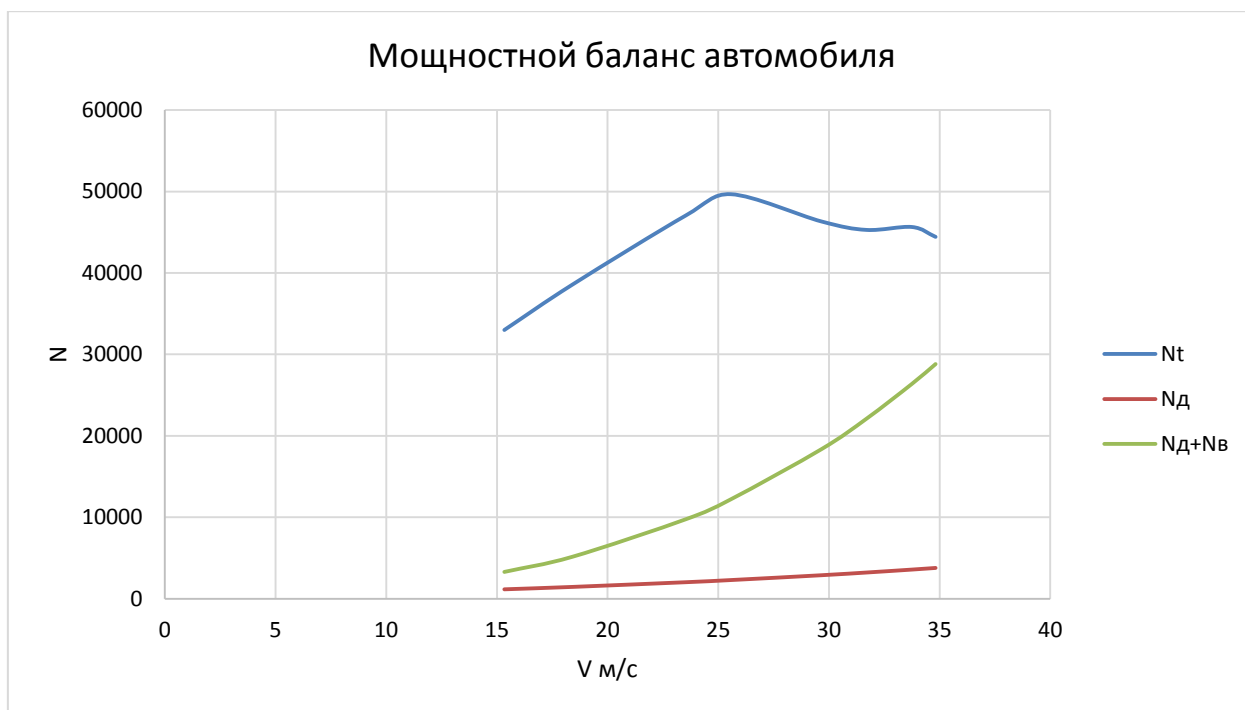
$N_D = F_D \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление силы инерции электроболида Вт.

Для выбранных ранее интервалов по угловой скорости коленвала двигателя и скорости автомобиля рассчитываем значения мощностного



баланса, заполняем таблицу 3.9 и строим графики (рисунок 11). Вверх от кривой  $N_T$  откладываем значения мощности сопротивления воздуха  $N_B$ .»[4]

Таблица 9 – Значения мощностного баланса автомобиля



Мощностной баланс автомобиля								
$N_T$	32998,6	38567,1	47047,7	49668,7	46320,2	45281,7	45639,9	44427,0
$N_D$	1159,9	1457,3	2033,3	2296,5	2890,9	3224,3	3586,2	3785,3
$N_{D+N_B}$	3297,9	5157,7	9757,1	12209,8	18366,4	22119,7	26391,3	28817,1

Рисунок 11– Мощностной баланс автомобиля

## 3.2 Расчет цепной передачи

Входные данные:

$$n_{вз} = 1000 \cdot \text{min}^{-1}$$

$$T_3 = 110 \text{ Nm}$$

$$U_{ц} = 3$$

3.2.1 Вычислим значение мощности на ведущей звездочке

$$P_{вз} = 2 \cdot \pi \cdot T_3 \cdot n_{вз} \quad (20)$$

$$P_{вз} = 11.519 \text{ кВт}$$

3.2.2 Определяем минимальное число зубьев ведущей звездочки

$$z_{з1min} = 29 - 2 \cdot U_{ц} \quad (21)$$

$$z_{з1min} = 23$$

3.2.3 Определяем число зубьев ведомой звездочки

$$z_{з2п} = z_{з1} \cdot U_{ц} \quad (22)$$

$$z_{з2п} = 69$$

3.2.4 Определяем фактическое передаточное число цепной передачи

$$U_{цп} = z_{з2} \div z_{з1} \quad (23)$$

$$U_{цп} = 3$$

3.2.5 Предварительно выбираем роликковую однорядную цепь нормально серии

3.2.6 Определяем допускаемое среднее давление в шарнирах цепи

$$\frac{(200 - 183.75) \cdot (34.3 - 29.4)}{200 - 50} + 29.4 = 29.931$$

$$[P] = 29.931 \text{ МПа}$$

3.2.7 Определяем коэффициент эксплуатации передачи

$K_M = 1.7$  – коэффициент, учитывающий число рядов цепи

$K_D = 1$  – коэффициент динамичности нагрузки

$K_A = 1$  – коэффициент влияния длины цепи

$K_H = 1$  – коэффициент расположения передачи

$K_{рег} = 1$  – коэффициент монтажа передачи (регулировка натяжения цепи)

$K_{см} = 1.5$  – коэффициент смазывания (способ смазки передачи)

$K_{реж} = 1.25$  – коэффициент режима работы

$$K_{ЭЦ} = K_d \cdot K_a \cdot K_H \cdot K_{рег} \cdot K_{см} \cdot K_{реж} \quad (23)$$

$$K_{ЭЦ} = 1.875$$

3.2.8 Определяем шаг цепи

$$k_{цсо} = 3.6$$

$$P_{Ц} = \sqrt[3]{\frac{K_{реж} \cdot K_{ЭЦ} \cdot k_{цсо}}{[P] \cdot z_{31} \cdot n_{вз} \cdot K_M}} \quad (24)$$

$$P_{Ц} = 15.856$$

3.2.9 Определяем межосевое расстояние цепной передачи

$$a_{цmin} = 30 \cdot P_{Ц} = 381 \text{ мм}$$

$$a_{цmax} = 50 \cdot P_{Ц} = 635 \text{ мм}$$

$a_{цср} = (a_{цmax} + a_{цmin}) \div 2 = 508 \text{ мм}$  – среднее значение

3.2.10 Определяем число звеньев цепи

$$W = 2 \cdot \frac{a}{p} + \frac{z_2 + z_1}{2} + \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2 \cdot \frac{P_{Ц}}{a} = 128$$

3.2.11 Определяем уточненное место межосевое расстояние

$$a_{цу} = \frac{P}{4} \cdot \left[ W - \frac{z_2 + z_1}{2} + \sqrt{\left( W - \frac{z_2 + z_1}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left( \frac{z_2 - z_1}{2\pi} \right)^2} \right] = 512.262 \text{ мм}$$

3.2.12 Определяем монтажное окончательное межосевое расстояние

$$a_M = 0,997 \cdot a = 510 \text{ мм}$$

3.2.13 Определяем скорость цепи

$$V = z_1 \cdot p \cdot n_1 = 4.868 \text{ м/с}$$

3.2.14 Уточняем условия смазки

В условия работы нашей цепи, допустимо применять периодическую смазку, поэтому  $K_{см} = 1.5$ .

3.2.15 Определяем делительные диаметры

$$D_{d1} = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z_1}} = 93.3 \text{ мм} - \text{ведущей звёздочки}$$

$$D_{d2} = \frac{p}{\sin \frac{180^\circ}{z_2}} = 279.031 \text{ мм} - \text{ведомой звёздочки}$$

3.2.16 Определяем диаметры окружности выступов

$$D_{e1} = p \cdot \left(0,5 + \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z_1}\right) = 98.749 \text{ мм} - \text{ведущей звёздочки}$$

$$D_{e2} = p \cdot \left(0,5 + \operatorname{ctg} \frac{180^\circ}{z_2}\right) = 285.092 \text{ мм} - \text{ведомой звёздочки}$$

3.2.17 Определяем диаметры окружности впадин звёздочек

$$D_{i1} = D_{d1} - 2r = 84.616 \text{ мм} - \text{ведущей звёздочки}$$

$$D_{i2} = D_{d2} - 2r = 270.379 \text{ мм} - \text{ведомой звёздочки}$$

3.2.18 Определяем радиус закругления зуба

$$r_1 = 1,7 \cdot d_1 = 14.467 \text{ мм} - \text{радиус закругления зуба}$$

$$h_1 = 0,8 \cdot d_1 = 6.808 \text{ мм} - \text{расстояние от вершины зуба до линии центров дуг закругления зуба}$$

$$b_1 = 0,93 \cdot B_{BH} - 0,15 = 17.567 \text{ мм} - \text{ширина зуба звёздочки}$$

$$D_{c1} = p \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{180^\circ}{z_1}\right) - 1,2 \cdot h_1 = 84.23 \text{ мм} - \text{диаметр обода ведущей}$$

звёздочки

$$D_{c2} = p \cdot \operatorname{ctg} \left(\frac{180^\circ}{z_2}\right) - 1,2 \cdot h_1 = 270.573 \text{ мм} - \text{диаметр обода ведомой}$$

звёздочки

3.2.19 Определяем окружную силу

$$F_t = \frac{P \cdot 10^3}{V} = 2336.143 \text{ Н}$$

3.2.20 Проверяем чистоту вращения звёздочки по условию

$[n_{вз}]_{max} = 2940 \text{ мин}^{-1}$  при  $P_{ц} = 31.75 \text{ мм.}$ , а  $n_{вз} = 94.08 \text{ мин}^{-1}$ , что меньше  $[n_{вз}]_{max}$ .

Условие выполнено.

3.2.21 Определяем число ударов и сравниваем с допусаемым числом

$$v = \frac{4 \cdot z_1 \cdot n_1}{60 \cdot W} = 11.979 \text{ с}^{-1} < [v] = 25 \text{ с}^{-1}$$

Условие выполнено.

3.2.22 Определяем удельное давление в шарнирах и сравниваем с допускаемым давлением

$$p = \frac{F_t \cdot K_3}{A \cdot K_m} = 29.031 \text{ МПа}$$

Условие выполнено.

3.2.23 Определяем статистическую прочность цепи.

$$S_{ц} = \frac{Q_{ц}}{k_g \cdot F_{тц} + F_v + F_0} = 12.67$$

$$F_v = q \cdot V^2 = 33.181 \text{ Н}$$

$$F_0 = 9,81 \cdot K_f \cdot q \cdot a = 109.156 \text{ Н}$$

3.2.24 Вычислим силу, действующую на опоры валов цепной передачи

$$F_{оп} = K_g \cdot F_t + 2 \cdot F_0 \quad (25)$$

$$F_{оп} = 2584.456 \text{ Н}$$

### 3.3 Математическое моделирование

После проведения всех расчетов, требуется провести симуляцию движения автомобиля по кругу. Это поможет нам определить достоверность расчетов и сравнить характеристики автомобиля при изменении передаточного числа главной передачи. [14]

«Для этого мы используем программу OptimumLap – это программное обеспечение позволяющие упрощенно моделировать транспортные средства, которое оценивает характеристики транспортного средства на заданной гоночной трассе.» [5]

Симуляции производились на таких гоночных трассах, как ускорение длиной 75 метров, восьмерка и гонка на выносливость (рисунок 12, 13, 14). При этом, менялись передаточные числа главной передачи для того, чтобы наглядно посмотреть преимущество и недостатки каждой из них. Сравнение было между числами «3» и «2,7».

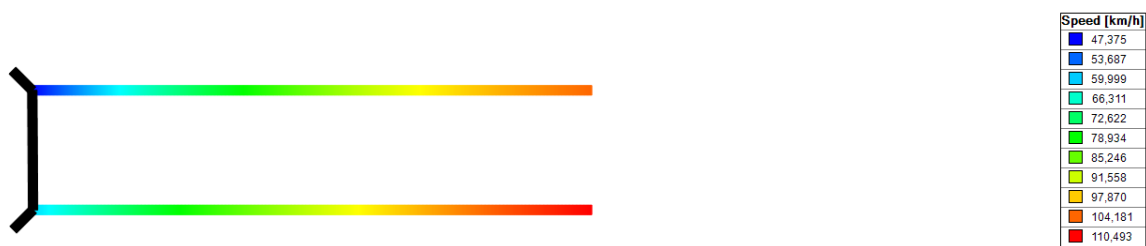


Рисунок 12 – Симуляция электроботида на трассе Ускорение на 75 метров

Проведя данную симуляцию, как показано на рисунке 12, можно увидеть, что с передаточным числом «2,7» болид показал время на данном

типе трассы «3,10 секунд», по сравнению с передаточным числом «3» и его временем «3,43 секунд».

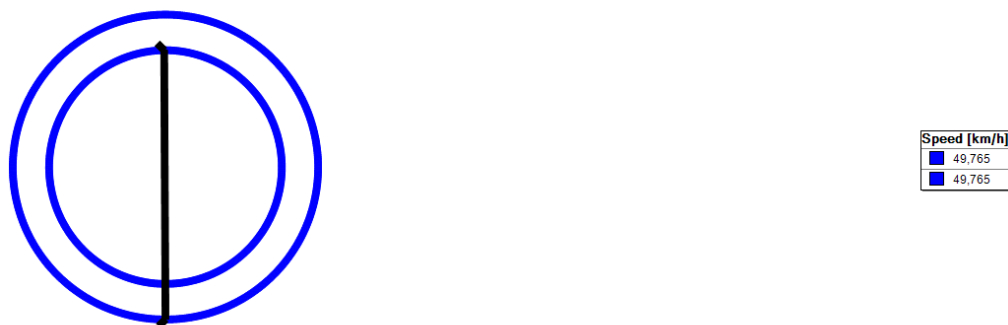


Рисунок 13 – Симуляция электроботида на трассе Восьмерка

На рисунке 13 можно заметить, что скорость и время абсолютно одинаковые, не зависимо от передаточного числа главной передачи. Это означает что, для такой конфигурации трассы нам подходят, как и передаточное число «3» так и передаточное число «2,7».

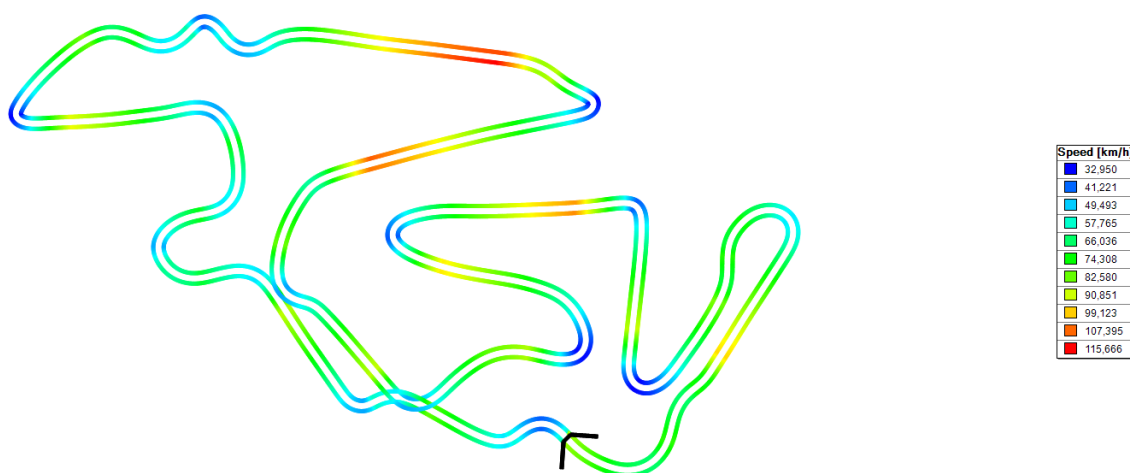


Рисунок 14 – Симуляция электроботида на трассе Гонка на выносливость

При такой не скоростной конфигурации трассы, замечено явное преимущество передаточного числа «3» по сравнению с «2,7», т.к. с числом «3» нам нужно тратить меньше времени на ускорение автомобиля на выходе из поворота.

### **3.4 Разработка конструкции крепления тягового узла**

Опираясь на опыт прошлых лет (рисунок17), было принято решение использовать схожие алюминиевые плиты. Как показала практика, они обеспечивают необходимую жесткость, позволяют скомпоновать узел компактно (рисунок 20), сделать его разборным и ремонтпригодным и позволяют снизить вес конструкции. [3] В данной конструкции плиты будут использоваться не как крепление дифференциала, а как крепление всего тягового узла (рисунок 15, 16).



Рисунок 15– 3D-модель плиты крепления тягового узла





Рисунок 16– Плиты в сборе, с макетом электродвигателя

На рисунке 16 мы наблюдаем, как будут стоять кронштейны на болиде. С помощью макета, мы можем проверить правильность сборки и компоновки всего узла в целом. [8]

Крепление ведомых звезд будет осуществляться с помощью гильз, в которых, на подшипниках, установлены шарниры равных угловых скоростей (ШРУС).



Рисунок 17– Кронштейны крепления дифференциала в сборе болида Scorpion G2

Обратив внимание на рисунок 17, можно увидеть, что была успешная практика в использовании кронштейнов в виде алюминиевых плит.

Произведя тягово-динамический расчет и расчет цепной передачи, было получено определенное передаточное число. [11] И было принято решение использовать ведущую звезду (рисунок 18), которая имеет число зубьев 15. Такое решение позволило получить хороший момент с начала движения, а также хорошие динамические характеристики на всем диапазоне скоростей.[13]



Рисунок 18 – Ведущая звезда на электроболид 2021 года на 15 зубьев

Ведомая звезда (рисунок 19) выбиралась так же по тягово-динамическому расчету, и должна была иметь 45 зубьев, и подходит под «428» цепь. Данная цепь дает хорошую динамическую и скоростную характеристику на колеса.



Рисунок 19–Ведомая звезда с проставкой на ШРУС электроболида 2021 года на 45 зубьев

Цепь было решено использовать «428». По опыту прошлых лет, цепь показала себя отлично, выдерживала все нагрузки и имела меньший вес, по сравнению с «530» цепью.

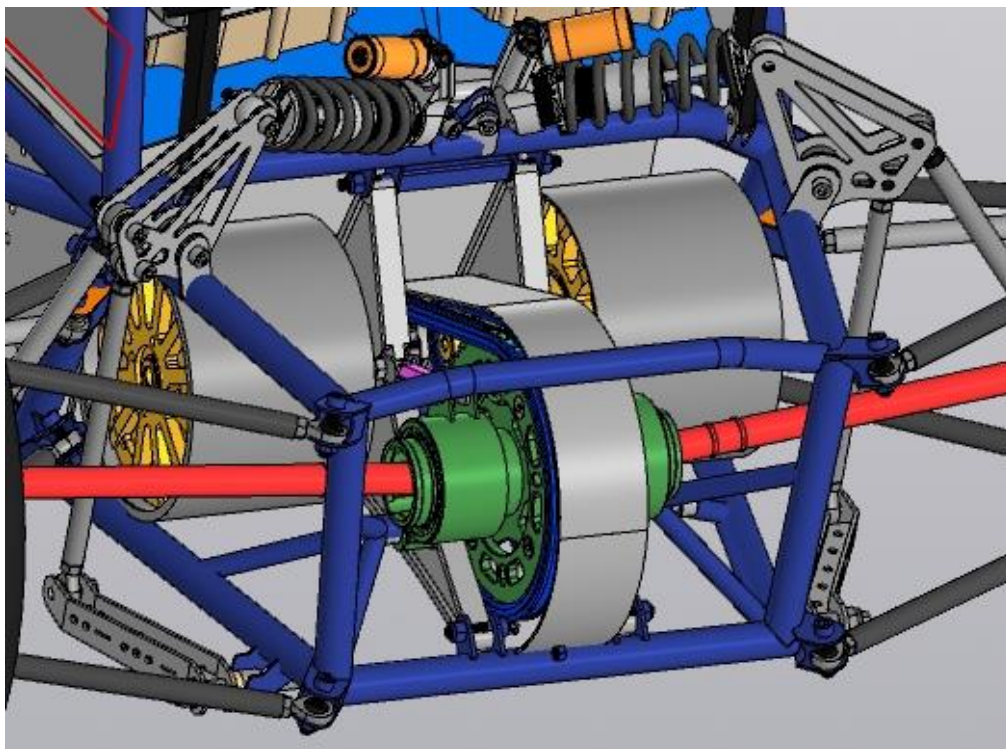


Рисунок 20 - 3D-модель трансмиссии на элетроболиде

### **3.5 Технологическая оснастка для изготовления узлов трансмиссии**

Крепление ведомых звезд будет осуществляться с помощью гильз, в которых на подшипниках установлены шарниры равных угловых скоростей.

К самим гильзам привариваются проушины для крепления к кронштейнам крепления двигателя и втулки, с помощью которых, можно добиться нужного натяжения цепи. [14]

Детали стапеля как показано на рисунке 21, изготавливаются на лазерной разке и на токарном станке, что позволяет достичь необходимой точности. И на выходе мы получаем точную гильзу, со всеми кронштейнами крепления. [8]



Рисунок 21– Сборка гильзы в стапеле

Отдельные детали (рисунок 22), такие как плиты крепления тягового узла, изготавливаются на ЧПУ станках, к примеру, фрезерный. [1] Это позволяет получить очень точные и качественные детали.

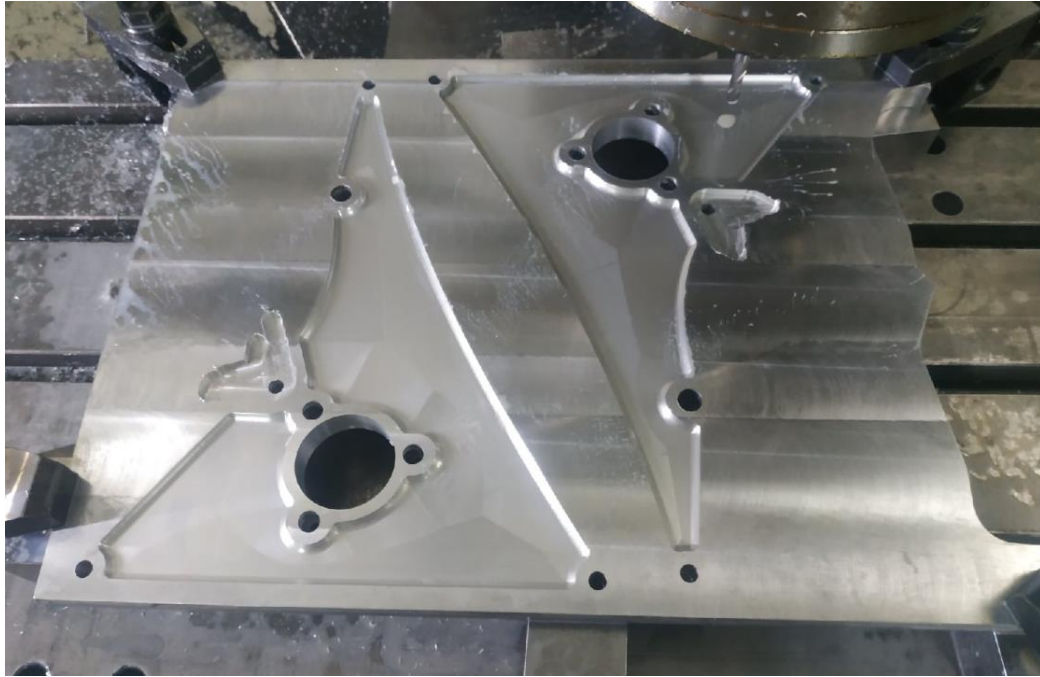


Рисунок 22 – Изготовления кронштейнов крепления тягового узла.

Вывод по разделу

Для того чтобы правильно и грамотно разработать тяговый узел, нужно рассчитать главную передачу, подходящую нам по всем критериям.

После подбора параметров и расчетов производим разработку трансмиссии.

## **4 Разработка процесса сборки узла**

### **4.1 Описание трансмиссии и принципа работы сборочного механизма**

«Трансмиссия в своем составе имеет детали и агрегаты, передающие усилие от двигателя на ведущие колеса.

Основные функции указанной системы:

- передача усилия от мотора на ведущие колеса;
- изменение частоты и направления вращения колес;
- регулирование распределения усилия между колесами.

Все агрегаты и электронные системы, которые входят в состав данной системы, обеспечивают передачу вращения от силового агрегата на колеса, а также с их помощью изменяется скорость передвижения и направление, распределяется усилие между колесами.

Основные составляющие трансмиссии электроботида класса «Формула Студент», она включает такие элементы:

- Главная передача, помогает увеличить крутящий момент;
- Цепь передает вращение от электромотора на звезды;
- Электронная система «Dynamic Torque Vectoring» служит для распределения усилия между колесами, благодаря чему, они могут вращаться с разной частотой и так же подруливать, это надо во время выполнения поворота авто.» [13]

## 4.2 Анализ технологической конструкции изделия

Для крепления тягового узла используются пластины, с тремя точками крепления (каждой пластины) к раме автомобиля. [1] В каждой пластине имеются отверстия под электродвигатели, отверстия крепления гильз и отверстия для механизма натяжения цепи (рисунок 23).



Рисунок 23 – Тяговый узел в сборе, с макетом электродвигателя

Так как у нас двухмоторная компоновка, на каждое колесо приходится своя звезда, которая прикручивается напрямую к шарниру равных угловых



скоростей.[8] Шарниры, вместе с подшипниками, запрессовываются в гильзы (рисунок 24, 25).



Рисунок 24 – Ведомая звезда с гильзой в сборе



Рисунок 25 – Ведомая звезда с переходной пластиной к ШРУС

Все детали и узлы создавались и рассчитывались в программах по 3D-моделированию. [7] Затем компоновка в 3D-модели. Так же, в программах разрабатывается стапель для изготовления гильз ШРУСов.

Часть деталей, а именно стапель и некоторые кронштейны крепления, изготавливается на лазерной резке, что позволяет достичь точности и симметричности деталей. [4] Гильзы вытачиваются на токарном станке, со всеми допусками и посадками. Плиты крепления тягового узла изготавливались на программируемом (чпу) фрезерном станке.[14]

### 4.3 Разработка технологической карты сборки тягового узла

Для того чтобы узел был правильно собран и в правильной последовательности, создается инструктивно-технологическая карта сборки тягового узла для автомобиля формульного типа. [9] В инструктивно-технологической карте указывают операции при сборке узлов и агрегатов тягового узла с учетом затраченного времени на операции. [12]

Таблица 10– Инструктивно-технологической карта сборки тягового узла.

№	Наименование и содержание работ	Количество точек воздействия	Оборудование и инструмент	Оперативное время, мин	Технические требования
1	Сборка приводной гильзы				
1.1	Закрепить шарнир равных угловых скоростей в приспособление	1	Оправка	0,5	Не повредив посадочные места подшипников
1.2	Запрессовать подшипник	1	Оправка, пресс	1	Усилие запрессовки 3
1.3	Перевернуть ШРУС	1			На 90 градусов
1.4	Запрессовать подшипник	1	Оправка, пресс	1	Усилие запрессовки
1.5	Установить гильзу в приспособление	1	Оправка	0,5	Бортиком вниз
1.6	Запрессовать ШРУС с подшипниками в гильзу	1	Оправка, пресс	2	Не допускать перекоса
Примечание: Если произошел перекос, впрессовать, проверить подшипники на вращение. В случае если подшипники целы, проделать пункт 1.6.					
1.6	Приварить буртик подшипников	1	Полуавтомат сварочный	3	При сварке охлаждать
Примечание: Если произошел перегрев подшипников, заменить и проделать пункты 1.1 – 1.6.					

Продолжение таблица 10– Инструктивно-технологической карта сборки тягового узла.

1.7	Установить ведомую звезду на гильзу в сборе	1		0,3	Обеспечить соосность отверстий звезды с отверстиями ШРУС
1.8	Прикрутить звезду	6	Шестигранный ключ на 6	2	Болты должны быть каленые и шляпка должна быть просверлена сверлом 1,2 мм для фиксирующей проволоки. ГОСТ 11738-84 Момент затяжки 5 кгс·м.
1.9	Застопорить болты проволокой	6	Кусачки	6	Проволока должна быть надежно зафиксирована
2	Сборка привода				
2.1	Закрепить привод в приспособлении	1	Тиски	1	Шлицевые части доступны для работы
2.2	Установить стопорные кольца в посадочные места на концах	2	Отвертка «-» (плоская)	1	Не повредив геометрию кольца
Примечание: Если стопорное кольцо погнулось, заменить его.					
2.3	Запрессовать трипод внутреннего ШРУСа	1	Оправка, пресс	2	Не допускать перекоса
Примечание: Если стопорное кольцо встало в перекося, поправить его. Если оно изменила свою форму, заменить.					
2.5	Надеть пыльники с хомутами на привод	4		4	Не затягивая хомуты
3	Установка электродвигателя				
3.1	Установить электродвигатель в посадочное отверстие	1		0,3	Штуцерам охлаждения вверх
3.2	Прикрутить электродвигатель болтами М8	3	Шестигранный ключ на 6мм	2	Момент 7 кгс·м
3.4	Установить ведомую звезду	1	Шестигранный ключ на 3 мм	2	Зафиксировать звезду стопорными винтами с моментом 2 кгс·м
3.5	Проверить электродвигатель	1		0,2	Убедиться что двигатель и звезда ничего не задевают
4	Сборка тягового узла				
4.1	Проделать операции 3.1-3.5	1		4	
4.2	Установить гильзу в сборе	1	Ключ накидной (рожковый) 19мм, шестигранный ключ 6мм	3	Вставить болты в кронштейны крепления гильзы
4.3	Установить распорный-направляющий кронштейн	1		6	Закрутить все болты М12 с моментом 15 кг·м, М8 Момент 7 кгс·м

Продолжение таблицы 10 – Инструктивно-технологической карта сборки тягового узла.

4.4	Установить распорку механизма натяжения цепи	1	Шестигранный ключ 6мм, ключ накидной (рожковый) 13мм	3	Момент 7 кгс·м.
4.5	Надеть цепь	1	Пассатижи, отвертка «-» (плоская)	2	Закрытой часть замка по ходу движения. После проделанной операции повернуть узел, убедиться в отсутствии перекоса звезд и перетяжки цепи
4.6	Проверить двигатель	1		2	Убедиться в отсутствии перекоса звезд и перетяжки цепи
Примечание: Если цепь перетянута, ослабить. Если перекос звезд, убедиться в правильности сборки.					
4.7	Установить защиту цепи	1	Шестигранный ключ 4 мм, шестигранный ключ 5 мм, ключ накидной (рожковый) 8 мм	4	Момент 1 кгс·м
Оперативное время, мин				54,8	-

Вывод по разделу:

Для правильно сборки тягового узла, необходимо было описать конструкцию и принцип его работы, так же, разработать инструктивно-технологическую карту для правильной сборки и обслуживания.

## 5 Технологический проект участка

«Производство компонентов трансмиссии 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 законы, действующие в России. [6] 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.» [14]

Для производства корпуса дифференциала необходимы сварочные, сборочные работы.

Таблица 11 – ОВПФ сварочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
1	2	3	4
Сварочные работы	Сварка деталей	Сварочная оснастка, источник сварочного тока, пинцы, ручной инструмент.	<u>Физические</u> : - механизмы, изделия. Острые кромки; - повышенная запыленность и загазованность; - высокая температура. Ультрафиолетовое и инфракрасное излучение, излишняя яркость сварочной дуги. - опасность ожогов, возможность взрыва баллонов и систем, электромагнитные поля.
			<u>Химические</u> : - аргон, вольфрам, хлориды железа, натрия и калия.

«Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- необходимо подготовиться и произвести сборку перед сварочными операциями;
- проверка работоспособности и настройка рабочего оборудования происходит перед работы началом;
- ознакомление с инструктажем 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.»[14]

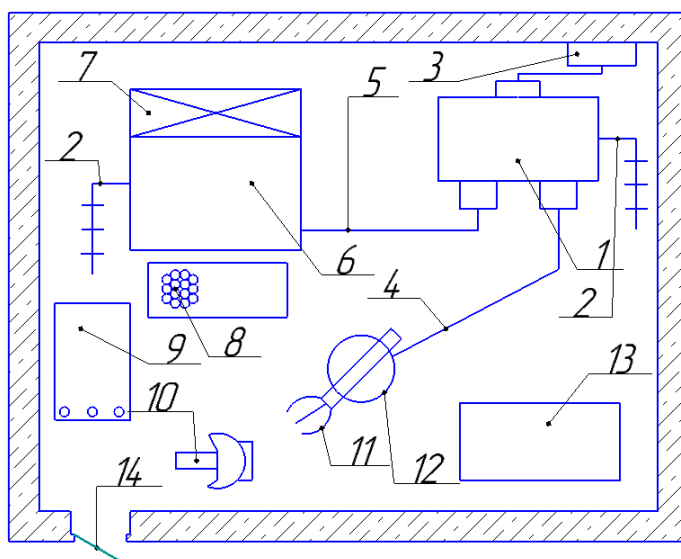


Рисунок 26–Рабочие место для проведения сварочных работ

1 –сварочный аппарат; 2- заземление; 3 – силовой провод питания; 4 – шланг для подачи проволоки и газа; 5 – обратный токоподводящий провод; 6 - верстак; 7 - вентиляция; 8 – резиновая изоляция рабочего; 9 - проволока; 10 - щиток; 11 –пистолет для подачи проволоки и газа; 12 - стул; 13 - ящик для отходов; 14 - дверной проем.

«К основным задачам сварщика относятся:

- производить сварку конструкций из любых материалов, которые обладают необходимыми свойствами;
- выполнять прихватки деталей;
- ликвидировать дефекты по средствам зачистки;
- резать простые детали с помощью дуговой сварки;
- осуществлять контроль качества сварочного шва и его проникание в материал после сварки, специальными инструментами.» [14]

Таблица 12 – ОВПФ сборочных работ

Направление работы	Сущность работы	Список необходимых инструментов	ОВПФ
Сборочные работы	Сборка узла с упором на чертежи и модели	- стол для работы, тиски, инструмент (зубило, молоток, напильник), инструменты для измерения (линейка, штангенциркуль), электроинструмент.	<u>Физические:</u> -части разрушившегося изделия, острые края ; -повышенный уровень шума;- абразивная пыль, воздействие электрического тока

«Для данного рабочего действуют требования по технике безопасности:

- ознакомление с инструктажами по технике безопасности
- промышленная санитария (чистота рабочего места)
- дисциплина на рабочем месте;
- использование оборудования по назначению;
- при обнаружении поломки - сообщать спецгруппе по ремонту оборудования.» [14]

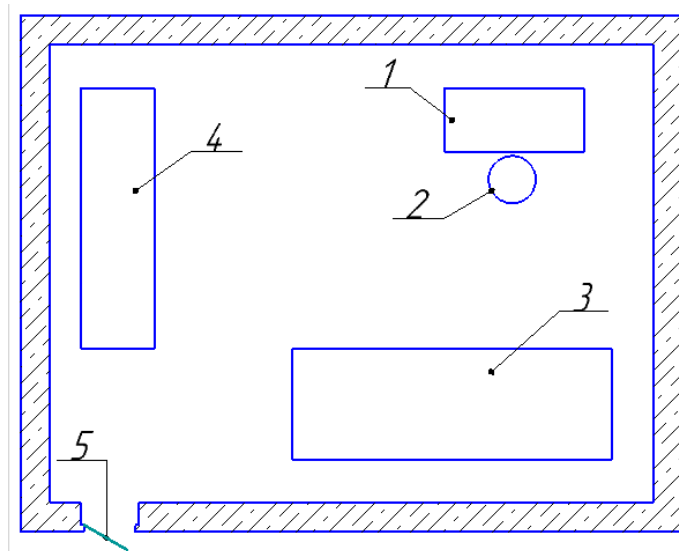


Рисунок 27– Рабочее место для сборочных работ

1 –рабочее место; 2- стул; 3 - верстак; 4 –инструментальный шкаф; 5 - дверной проем.

«К основным задачам сборщика относятся:

- сборка деталей или узлов конструкции в кондукторе по чертежу либо модели;
- проверка точности установки деталей с опорой на чертежи при помощи измерительных инструментов;
- указание примечаний для дальнейшей работы с данным узлом (деталью).» [14]

Вывод по разделу:

Для изготовления трансмиссии необходимые рабочие места, соответствующие всем требованиям безопасности, которые регламентируется положением по охране труда.



## Заключение

В первой главе рассмотрены основные положения участия в соревнованиях «Формула студент», описана основная цель регламента, статистических и динамических дисциплин. Рассмотрено так же назначение трансмиссии в целом, принцип работы и описание работы всех технических систем трансмиссии.

Во второй рассмотрены аналоги тяговых узлов электроболидов «FormulaStudent», их достоинства и недостатки. На основе которых мы могли учесть ошибки проектирования других команд и разработать надежный тяговый узел.

В третьей главе была проделана расчетная работа по тяговому узлу, в виде тягово-динамического расчета, расчета цепной передачи и математического моделирования движения автомобиля по кругу, которая помогла нам проанализировать поведение автомобиля на гоночной трассе и посмотреть время и скорость на круге. Так же, третья глава включает себя разработку крепления и технологической оснастки, для точного изготовления узлов трансмиссии с точками крепления.

В четвертой главе описан принцип работы тягового узла электроболида, проанализирована данная конструкция из чего она состоит, детали и узлы. Разработана инструктивно-технологическая карта сборки трансмиссии, узлов и агрегатов, последовательно с инструментом и оборудованием.

В пятой главе мы рассмотрели экологичность и безопасность рабочих мест, требования безопасности рабочего на данном месте, его обязанности и оборудование, которое он использует для сборки тягового узла.

В итоге, мы получаем тяговый узел, рассчитанный, спроектированный, математически проверен, имеющий соответствие по всем параметрам регламента.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. 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.
2. 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.
3. Горбацевич, А.Ф. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие для вузов/ А.Ф. Горбацевич, В.А. Шкред. М: – ООО ИД «Альянс», 2007 – 256 с.
4. 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.
5. 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.
6. Капова, 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. Капова. –Т.: ТГУ, 2007. –63 с.
7. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: учебник / В. В. Клепиков [и др.]. – М.: ИНФРА-М, 2017. - 295 с.
8. 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.).
9. Косов, Н.П. Технологическая оснастка: вопросы и ответы: Учебное пособие для вузов. / Н.П. Косов, А.Н. Исаев, А.Г. Схиртладзе. — Электрон.дан. — М.: Машиностроение, 2007. — 304 с

10. 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.
11. 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.
12. Михайлов, А.В. Оформление документов на технологические процессы обработки резанием: Метод.указания/Сост.Михайлов А.В.-Т.: ТолПИ, 1993.
13. Пашкевич, М.Ф. Технология машиностроения: учеб.пособие для вузов / под ред. М. Ф. Пашкевича. – Мин.: Новое знание, 2008. - 477 с.
14. Петрова, М.С. Охрана труда на производстве и в учебном процессе: учеб. пособие. / М.С. Петрова – М.: ЭНАС, 2006.-232с.
15. 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.
16. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля: Учеб.пособие / Сост. Л.А. Черепанов. – Тольятти: ТолПИ, 2001. – 40 с.
17. Регламент международных соревнований  
2021 FormulaSAE® Rules, 110 с.
18. Сергель, Н.Н. Технологическое оборудование машиностроительных предприятий: учеб. пособие / Н. Н. Сергель. - Минск: Новое знание; М.: ИНФРА-М, 2013. - 732 с.
19. Суслов, А. Г. Технология машиностроения: учеб. для вузов / А. Г. Суслов. - 2-е изд., перераб. и доп. ; Гриф МО. – М.: Машиностроение, 2007. - 429 с.

20. Харламов, Г.А. Припуски на механическую обработку: справочник. / Г.А. Харламов, А.С. Тарапанов. — Электрон.дан. — М.: Машиностроение, 2013. — 256 с.
21. 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.
22. Dassault Systemes Solidworks 1995-2010, 156 с.
23. Graham Bell Performance Tuning in Theory and Four Strokes. М.:Haynes Publishing Group, 1981, 252 с.
24. Pet Clarke, «Technical introduction for the New Teams», 2014
25. Training manual for the program «Optimum Lap», Claude Rouleau, 56 с.

Приложение А  
**Спецификация к сборочному чертежу**

Перв. примен.	Формат Экз.	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
				<u>Документация</u>		
	А0		21.РБ.ПЭА.383.01.00.000	Сборочный чертеж		
				<u>Сборочные единицы</u>		
Справ. №		1	21.РБ.ПЭА.383.01.00.001	Корпус ШРУС	1	
		2	21.РБ.ПЭА.383.01.00.002	Шрус	1	
		3	21.РБ.ПЭА.383.01.00.003	Электромотор RV-160Ет	1	
				<u>Детали</u>		
		4	21.РБ.ПЭА.383.01.00.004	Болт М8 специальный	6	
		5	21.РБ.ПЭА.383.01.00.005	Вал приводной	1	
		6	21.РБ.ПЭА.383.01.00.006	Гайка соединительная	1	
		7	21.РБ.ПЭА.383.01.00.007	Звезда ведущая	1	
		8	21.РБ.ПЭА.383.01.00.008	Звезда ведомая	1	
		9	21.РБ.ПЭА.383.01.00.009	Защита цепи	1	
		10	21.РБ.ПЭА.383.01.00.010	Кольцо упорное	1	
		11	21.РБ.ПЭА.383.01.00.011	Плита	1	
		12	21.РБ.ПЭА.383.01.00.012	Пластина-натяжитель	1	
		13	21.РБ.ПЭА.383.01.00.013	Серьга тяговая	1	
		14	21.РБ.ПЭА.383.01.00.014	Серьга тяговая	1	
		15	21.РБ.ПЭА.383.01.00.015	Фланец	1	
	16	21.РБ.ПЭА.383.01.00.016	Экран мотора защитный	1		
			<b>21.РБ.ПЭА.383.01.00.000</b>			
Инв. № табл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
	Разраб.	Чукунов Н.Ю.				
	Проб.	Бабровский А.В.				
	Н.контр.	Бабровский А.В.				
	Утв.	Бабровский А.В.				
				Трансмиссия электроболота		Лит. Лист Листов
				класса "Формула-студент"		1
				ТГУ, каф. ПЭА		
				гр. ЭТКбз-1601а		
				Копировал		Формат А4

Рисунок А.1 – Спецификация, лист 1

Продолжение Приложения А

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	Лист
							<i>Стандартные изделия</i>			
					17		<i>Болт М8 с внутренним Шестигранником DIN 912</i>	5		
					18		<i>Болт М12 ГОСТ 7805-70</i>	1		
					19		<i>Винт М8 с потайной Головкой DIN 7991</i>	4		
					20		<i>Винт установочный DIN 916</i>	1		
					21		<i>Гайка М8 самоконтрящаяся DIN 985</i>	6		
					22		<i>Гайка М12 ГОСТ 5916-70</i>	1		
					23		<i>Подшипник 61812-2RZ</i>	2		
					24		<i>Цепь роликовая 08В-1</i>	1		
					25		<i>Шайба А.8.01.08кп.016 ГОСТ 11371-78</i>	9		
					26		<i>Шайба А.12.01.08кп.016 ГОСТ 11371-78</i>	1		
					27		<i>Шпонка 8x5x30 ГОСТ 23360-78</i>	1		
<b>21.РБ.ПЭА.383.01.00.000</b>										Лист
Копировал										Формат А4

Рисунок А.2 – Спецификация, лист 2