

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Псковский государственный университет»  
Институт инженерных наук  
Кафедра автомобильного транспорта  
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов  
профиль «Автомобили и автомобильное хозяйство»

«Допустить к защите»

«Защищена с оценкой»

Зав. кафедрой \_\_\_\_\_ /А. А. Енаев /

(подпись)

«\_\_\_\_\_»

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Студента

Булатова Ильи Александровича

на тему

### **АВТОМОБИЛЬ ЛЕГКОВОЙ С ЛЁТНЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ СВОЙСТВАМИ**

#### **Пояснительная записка**

ЭТТМ.ВР84АХ.00000ПЗ

Руководитель работы:

профессор, доктор технических наук \_\_\_\_\_

А. А. Енаев

(подпись)

Консультанты:

по экономической части:

доцент, канд. эконом. Наук \_\_\_\_\_

Ю. Н. Дятлов

(подпись)

по разделу охрана труда, ИЗОС  
и действия в ЧС:

профессор, доктор педагогических наук \_\_\_\_\_

Н. И. Кужанова

(подпись)

Автор работы

студент группы 0034-05 \_\_\_\_\_

И.А. Булатов

(подпись)

Псков  
2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Псковский государственный университет»  
Институт инженерных наук  
Кафедра автомобильного транспорта

**УТВЕРЖДАЮ**

зав. кафедрой \_\_\_\_\_ А.А.Енаев  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ**  
**на выпускную квалификационную работу**

*студенту Булатову Илье Александровичу группы 0034-05*

Тема проекта Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами

утверждена приказом по университету № СКВ-3687 от 28.12. 2019г.

1. Содержание пояснительной записки (ПЗ):

Введение

1.1 Общая часть

1.2 Технологическая часть

1.3 Конструкторская часть

1.4 Охрана труда, инженерная защита окружающей среды и действия в чрезвычайных ситуациях

1.5 Экономическая часть

Заключение

Список использованных источников

Приложение (по необходимости)

2. Перечень графического материала

2.1 Автомобиль с лётными эксплуатационными свойствами (Сравнение вариантов) -1л.

2.2 Компоновочная и кинематическая схема легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами (Схема комбинированная принципиальная) -1л.

2.3 Результаты исследования эксплуатационных свойств (Диаграммы) -1л.

2.4 Устройство обеспечивающее полёт автомобиля (Чертёж общего вида) -1л.

2.5 Рабочие чертежи деталей -1л.

2.6 Подготовка автомобиля к полёту (Карта технологическая) 1л.

3. Задание по экономической части: Определение трудоемкости и продолжительности научно-исследовательской работы; расчет сметной себестоимости планируемой к выполнению научно-исследовательской темы; оценка эффективности научных исследований.

---

---

---

---

---

Выдано «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Консультант Ю.Н. Дятлов

4.Задание по охране труда, ИЗОС и действиям в ЧС: Эргономические требования к автомобилю с лётными эксплуатационными свойствами

---

---

---

---

---

Выдано «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.  
Консультант Н. И. Кужанова

5. Календарный план выполнения проекта

Наименование раздела ПЗ и графического материала	Срок выполнения, объем, %
<i>Введение; п.п. 1.1; 1.2, 1.3;</i>	<i>18.06.2020г.</i>
<i>п.п. 2.1; 2.2, 2.3;</i>	<i>50%</i>
<i>п.п. 1.4, 1.5, заключение;</i>	<i>25.06.2020г.</i>
<i>п. п. 2.4, 2.5, 2.6;</i>	<i>100 %</i>

6. Срок представления в ГЭК 25.06.2020г.

Руководитель проектирования  
профессор, докт. техн наук \_\_\_\_\_ А.А. Енаев

Задание принял к исполнению  
студент группы 0034-05 \_\_\_\_\_ И.А. Булатов

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1						
2			<u>Документация</u>			
3						
4	A4	ЭТТМ.ВР84АХ.000000ПЗ	Пояснительная записка	131		
5						
6	A1	ЭТТМ.ВР84АХ.000000СВ	Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами.	1		Лист 1
7						
8			Сравнение вариантов.			
9						
10	A1	ЭТТМ.ВР84АХ.000000СЗ	Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами.	1		Лист 2
11						
12			Компоновочная и			
13			кинематические схемы.			
14						
15	A1	ЭТТМ.ВР84АХ.000000ДИ	Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами.	1		Лист 3
16						
17			Тягово-скоростные свойства			
18			и топливная экономичность.			
19						
20	A1	ЭТТМ.ВР84АХ.000000ВО	Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами.	1		Лист 4
21						
22			Чертеж общего вида.			
23						
24	A1	ЭТТМ.ВР84АХ.000001	Крепёжный элемент №1	1		Лист 5

				<b>ЭТТМ.ВР84АХ.000000ВД</b>		
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
Разраб.	Булатов И.А.					
Пров.	Енаев А.А.					
Н.контр.						
Утв.						
				Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами Ведомость ВКР		
				Лит. К	Лист 3	Листов 131
				ПсковГЧ Группа 0034-05		
				Формат А4		

№ строки	Формат	Обозначение	Наименование	Кол. листов	№ экз.	Примечание
1		ЭТТМ.ВР84АХ.000002	Крепёжный элемент №2			
2		ЭТТМ.ВР84АХ.000003	Крепёжный элемент №3			
3		ЭТТМ.ВР84АХ.000004	Крепёжный элемент №4			
4		ЭТТМ.ВР84АХ.000005	Крепёжный элемент №5			
5		ЭТТМ.ВР84АХ.000006	Крепёжный элемент №6			
6		ЭТТМ.ВР84АХ.000007	Крепёжный элемент №7			
7						
8	A1	ЭТТМ.ВР84АХ.000000ТК	Подготовка автомобиля	1		Лист 6
9			к полёту.			
10			Технологическая карта.			
11						
12						
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						
25						
26						
27						
28						
29						

ЭТТМ.ВР84АХ.000000ВД

Лист  
4

## Реферат

### Выпускная квалификационная работа на тему «Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами»

Введение. Дано обоснование актуальности создания данного универсального транспортного средства.

Общая часть. Приведены существующие образцы летающих автомобилей, произведен анализ их конструкций и выбрана оптимальная конструктивная схема.

Технологическая часть. Произведен расчет внешней скоростной характеристики двигателя, определена полная масса модернизируемого автомобиля, определены параметры тягово-скоростных свойств и топливной экономичности.

Конструкторская часть. Произведен расчет необходимой и максимальной тяги, мощности подъемного устройства, подобраны электродвигатели, воздушные винты, регуляторы оборотов, полётный контроллер. Произведен расчет системы питания, входе которой выявили количество аккумуляторных батарей, суммарную мощность, емкость, время работы; определены скорости подъема. Описан процесс управления полётом. Подобраны материалы и произведен расчет на прочность несущего каркаса.

Охрана труда, ИЗОС и действия в ЧС. Были составлены требования к эргономике летающего автомобиля.

Экономическая часть. Определена трудоемкость исследовательской работы, её полная сметная стоимость и научно-технический эффект.

Выпускная квалификационная работа изложена на 131 странице машинописного текста и 6 листах графической части.

## Содержание

Введение.....	9
1. Общая часть.....	12
1.1. Анализ конструктивных схем.....	12
1.1.1. Материалы патентного поиска.....	12
1.1.2. Материалы литературного поиска.....	17
1.1.3. Выбор конструктивной схемы для легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами.....	27
1.2. Компоновочная и кинематическая схемы легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами.....	28
2. Технологическая часть.....	32
2.1. Определение полной массы легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами.....	32
2.2. Определение коэффициента полезного действия трансмиссии...34	34
2.3. Определение внешней скоростной характеристики двигателя...34	34
2.4. Определение тягово- скоростных свойств легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами.....	36
2.4.1. Оценочные параметры тягово-скоростных свойств.....	36
2.4.2. Алгоритм определения оценочных параметров.....	37
2.4.3. Определение тягово-скоростной характеристики.....	38
2.4.4. Определение максимальной скорости движения автомобиля.....	41
2.4.5. Определение динамической характеристики.....	41
2.4.6. Определение диаграммы ускорений.....	42
2.4.7. Определение пути и времени разгона.....	44

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>	<i>Автомобиль легковой с лётными эксплуатационными свойствами Пояснительная записка</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Разраб.</i>		<i>Бцлатов И.А.</i>					6	131
<i>Проб.</i>		<i>Енаев А.А.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Утв.</i>								<i>ПсковГУ Группа 0034-05</i>

2.4.8.	Анализ результатов расчета оценочных параметров тягово- скоростных свойств.....	47
2.5.	Топливная экономичность автомобиля.....	48
2.5.1.	Оценочные параметры.....	48
2.5.2.	Алгоритм определения топливно-экономической характеристики установившегося движения.....	48
2.5.3.	Расчет топливно-экономической характеристики установившегося движения.....	49
2.5.4.	Анализ результатов расчета топливно-экономической характеристики.....	53
3.	Конструкторская часть.....	54
3.1.	Назначение подъемного устройства и предъявляемые требования.....	54
3.2.	Определение подъемной силы винта. Определение диаметра, частоты вращения и мощности винта.....	56
3.3.	Выбор электродвигателя для привода винта.....	59
3.4.	Выбор регулятора скоростей электродвигателя.....	61
3.5.	Расчет системы питания электродвигателей.....	63
3.6.	Расчет максимальной тяги и потребляемой мощности подъемного устройства.....	66
3.7.	Выбор полётного контроллера.....	67
3.8.	Система управления полётом.....	69
3.9.	Несущий каркас.....	71
3.9.1.	Предлагаемая конструкция несущей рамы.....	71
3.9.2.	Выбор материала несущего каркаса.....	72
3.9.3.	Расчет на прочность, определение веса и конструктивных размеров несущего каркаса.....	75
3.10.	Стопорящее устройство.....	90
3.11.	Определение скорости вертикального полёта.....	91

4. Охрана труда, ИЗОС и действия в ЧС.....	93
4.1. Виды негативного воздействия автомобильного и воздушного транспорта.....	93
4.2. Эргономические требования к автомобилю с лётными эксплуатационными свойствами.....	95
5. Экономическая часть.....	106
5.1. Определение трудоемкости и продолжительности научно-исследовательской работы.....	106
5.2. Расчет сметной себестоимости, планируемой к выполнению научно-исследовательской темы.....	107
5.3. Оценка эффективности научных исследований.....	114
Заключение.....	117
Список использованных источников.....	119
Приложение А.....	125
Приложение Б.....	126
Приложение В.....	127
Приложение Г.....	128
Приложение Д.....	129
Приложение Е.....	130
Приложение Ж.....	131



округ и Северо - Кавказский федеральный округ (364 и 406 км дорог на 1000 км<sup>2</sup> территории). Далее плотность сети автомобильных дорог уменьшается по мере движения на север и восток, и составляет для Северо-Западного ФО 62 км на 1000 км<sup>2</sup>, Уральского ФО 43 км на 1000 км<sup>2</sup>, Сибирского ФО 37 км на 1000 км<sup>2</sup>, Дальневосточного ФО 12 км на 1000 км<sup>2</sup>. [4]

Минимальную протяженность автомобильных дорог имеют Южный ФО 141,4 тыс. км, Дальневосточный ФО 125,7 тыс. км, Уральский ФО 103,9 тыс. км, Северо – Кавказский ФО 88 тыс. км. [4]

Вследствие этого возникают трудности, связанные с передвижением между населёнными пунктами, не имеющими развитой дорожной сети и выхода к федеральным трассам. Перемещение между отдаленными населенными пунктами займет немало времени и физических сил. Отсутствие на долгом протяжении пути автозаправочных станций, станций технического обслуживания, мест стоянки и отдыха может поставить в нелегкое положение водителя.

В таких условиях создание автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами является актуальной задачей. Сочетая в себе все качества наземного легкового автомобиля и летательного аппарата, автомобиль с лётными эксплуатационными свойствами будет способным решить возникающие проблемы, связанные с передвижением человека.

Обыкновенный автомобиль во время движения является загрязнителем окружающей среды, выделяя в атмосферу токсичные продукты сгорания топливовоздушной смеси. Преодолевая большие расстояния по воздуху без использования двигателя внутреннего сгорания, летающий автомобиль внесет большой вклад в сохранение и улучшение экологической обстановки в стране.

Автомобиль с лётными эксплуатационными свойствами будет способен осуществить перемещение в населенном пункте по имеющимся автомобильным дорогам, не препятствуя транспортному потоку. При необходимости перемещения из городской среды в труднодоступный населенный пункт или место автомобиль, выехав за пределы населенного

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		10

пункта, приводится в лётное состояние. Отсутствие дополнительного навесного оборудования для осуществления полёта сделает этот процесс максимально коротким. Благодаря возможности вертикального взлета и посадки автолёту не нужно никакой специальной инфраструктуры в виде аэродромов, необходимо лишь относительно ровное и пустое пространство площадью не менее 40 м<sup>2</sup>.

Данный автомобиль с эксплуатационными свойствами, возможно, будет особенно актуальным для выполнения социально важных задач, например, для оказания скорой медицинской помощи людям, живущим в удаленных и труднодоступных местах, или для транспортировки и передачи почтовых отправлений.

Современный ритм жизни делает автомобиль просто незаменимым средством передвижения. Но, учитывая реалии, обыкновенный легковой автомобиль не справится с транспортировкой человека в труднодоступные места за короткое время. Таким образом, данный универсальный автомобиль, сочетая в себе качества наземного и воздушного транспорта, будет обладать уникальной мобильностью и большими вариантами сфер применения.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

## 1. Общая часть

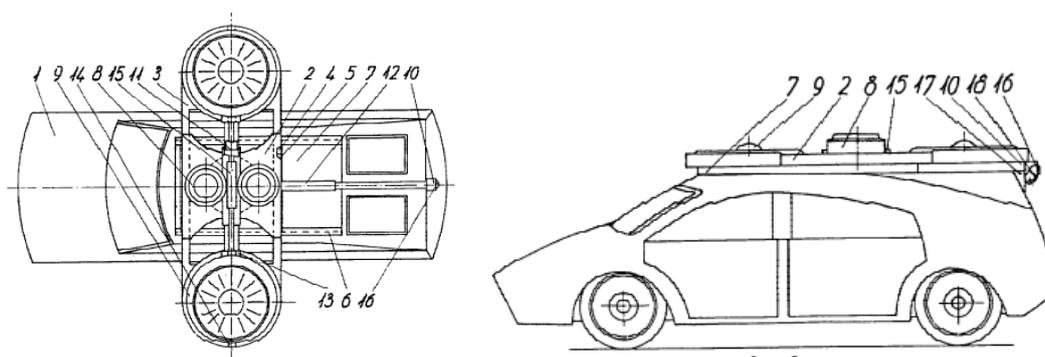
### 1.1. Анализ конструктивных схем

Для определения с тем, каким будет разрабатываемый летающий автомобиль необходимо проанализировать существующие в действительности или на бумаге образцы подобной техники, выявить их достоинства и недостатки, и на этой основе создать оптимальную конструктивную схему.

#### 1.1.1. Материалы патентного поиска

1. Патент РФ №128 556 «Автолет», автор Горобцов В.М. (рис. 1.1). Изобретение относится к области транспортных средств с сухопутным и воздушным режимами движения. Автолет имеет полетный комплекс в составе подвижной подъемно-несущей плоскости с встроенными в нее газогенераторами, турбовентиляторами с изменяемым вектором тяги, балансировочной платформы, связанной с подъемно-несущей плоскостью через осевой поворотный механизм, и продольных направляющих с продольными пазами, расположенных на несущей платформе поверх корпуса транспортного средства, с возможностью продольного перемещения в них балансировочной платформы и совмещения подъемно-несущей плоскости с центром тяжести транспортного средства. Транспортное средство также содержит трубопроводы газогенераторного газового привода турбовентиляторов, объединенные в единую газопроводящую магистраль, газоструйные рули и систему управления полетным комплексом и газоструйными рулями. Движение в сухопутном режиме обеспечивают независимыми энергосиловыми и управляющими механизмами автомобильного типа. [8]

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12



1 – корпус; 2 – центральная поворотная платформа; 3 – выдвигающиеся части поворотной платформы; 4 – штанги; 5 – кольцеобразный паз балансирующий платформу; 6 – продольные пазы; 7 – несущая платформа; 8 – газогенератор; 9 – турбовентилятор; 10 – газоструйный руль; 11, 12 – телескопические стыковочные узлы; 13 – трубчатая ось; 14 – цапфа; 15 – гидропривод; 16 – продольное сопло; 17 – поперечное сопло; 18 – подвижная газовая заслонка

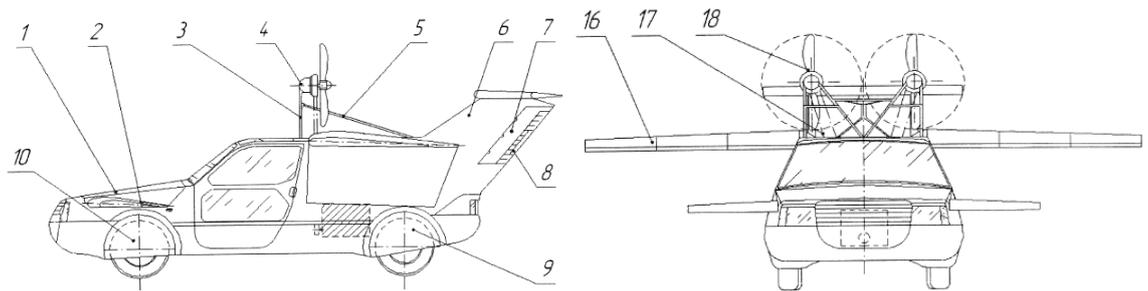
Рисунок 1.1 – Автолёт в режиме полета (слева), в режиме сухопутного движения (справа)

Достоинства: возможность вертикального взлета, небольшие габариты, универсальность.

Недостатки: сложность конструкции и изготовления.

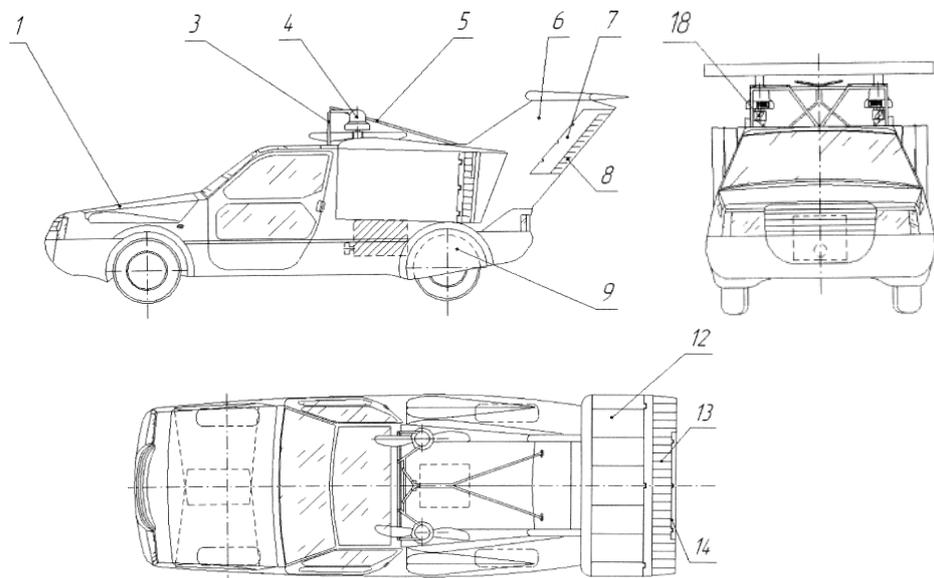
Патент РФ №128556 «Летающий автомобиль», авторы Енаев А.А., Кравчук Е.В., Лещенко Н.В. (Рис. 1.2, 1.3). Полезная модель относится к транспортным средствам способным передвигаться по земле и по воздуху. Технический результат - автономное переоборудование без специальных приспособлений автомобиля в самолет и обратно, отсутствие потребности в специальном месте хранения для летного комплекта. Технический результат достигается тем, что летающий автомобиль состоящий из автомобильной части, содержащей корпус, двигатель внутреннего сгорания, ходовую часть, руль направления и ручку для управления рулями высоты, и летного комплекта, содержащий крылья с элеронами и хвостовое оперение, на автомобиль устанавливается двигатель мощностью 176 кВт от которого при помощи ременной передачи приводятся в движение колеса и винт, трансмиссия выполнена таким образом, что колеса и винты могут работать вместе или по отдельности, на автомобиле применено верхнее расположение

основного крыла и нижнее расположение дополнительного крыла, а также ременный привод двух двухлопастных винтов, которые также находятся в верхней части автомобиля, при движении по земле крылья и винты имеют возможность складываться, а тяговое усилие двигателя передаваться на задние колеса. Каждая плоскость крыла состоит из трех складывающихся секций, имеющих возможность прятаться в специальные ниши по бокам автомобиля и выполнять роль наружных кузовных панелей, дополнительное крыло также имеет возможность прятаться в подкапотное пространство. [11]



1 – подкапотное пространство; 2 – дополнительное крыло; 3 – основные опоры; 4 – обтекатель; 5 – дополнительная опора; 6 – двойной киль; 7 – руль направления; 8 – триммер; 9 – стационарные колесные арки; 10 – съемные колесные арки; 16 – складное крыло; 17 - ременной привод; 18 – винты

Рисунок 1.2 - Летающий автомобиль в режиме полета



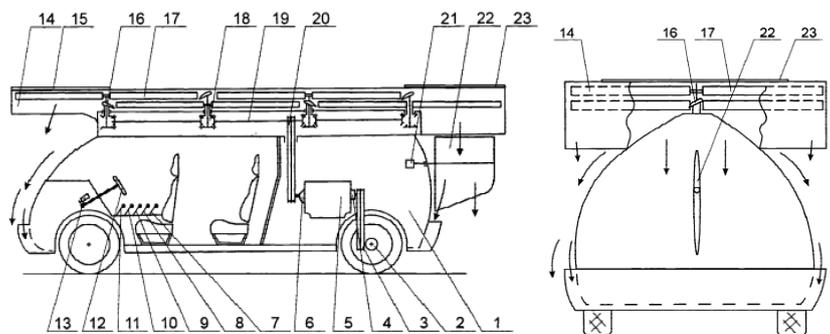
1 – подкапотное пространство; 3 – основные опоры; 4 – обтекатель; 5 – дополнительная опора; 6 – двойной киль; 7 – руль направления; 8, 14 – триммер; 9 – стационарные колесные арки; 12 – стабилизатор; 13 – руль высоты; 18 – винты

Рисунок 1.3 - Летающий автомобиль в режиме езды

Достоинства: простота и надежность конструкции, осуществление полёта и езды по дороге от одного двигателя.

Недостатки: невозможность вертикального взлета, необходимость затрачивать время на приведение в лётное состояние.

Патент РФ №2484980 «Автолет», авторы Мухаметшин Х.Н., Мухаметшин И.Х. (Рис. 1.4). Изобретение представляет собой легковой автомобиль, пригодный для использования в качестве летательного аппарата с вертикальным взлетом и посадкой для полетов на малых высотах. Автолет содержит обтекаемый корпус автомобильной формы, рулевую систему, гиросtabilизатор, приводное шасси, силовую установку, хвостовое оперение, жалюзийные створки и подъемно-тяговое устройство. Подъемно-тяговое устройство расположено в верхней части корпуса и выполнено в виде нескольких продольно расположенных винтов, плоскости вращения которых пересекаются. Винты связаны с общим приводом, обеспечивающим попарно синхронное вращение винтов в противоположных направлениях. Винты заключены в оболочку, размещенную на корпусе автолета. [14]



1 – корпус; 2 – шасси; 3 – ременная передача; 4, 6 – муфта сцепления; 5 – силовая установка; 7 - ручка управления задними жалюзийными створками; 8 - ручка управления передними жалюзийными створками; 9 - рычаг включения сцепления; 10 - ручка газа; 11 - переключатель КПП; 12 – рулевое управление; 13 – датчик; 14 - эллипсообразная оболочка; 15 - передние жалюзийные створки; 16 - нижний винт; 17 - верхний винт; 18 – редуктор; 19 – вал; 20 – ременная передача; 21 – рулевая машинка; 22 – хвостовое оперение; 23 – задняя жалюзийная створка

Рисунок 1.4 – Автолет

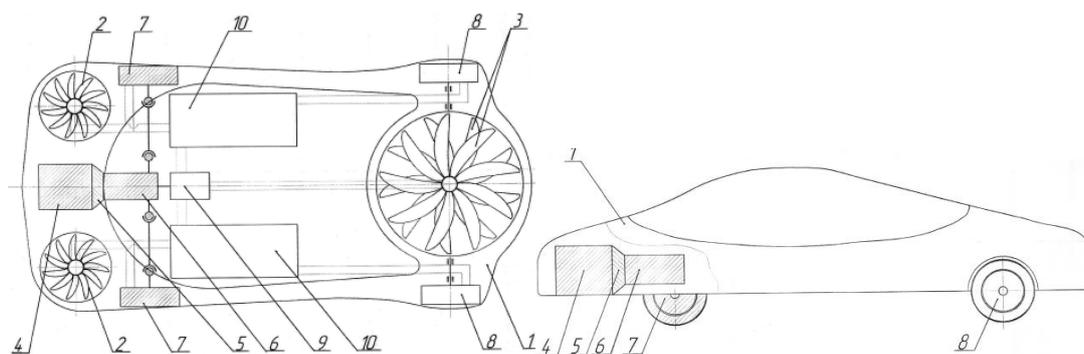
Достоинства: возможность вертикального полёта, отсутствие затрачиваемого времени на приведение в лётное состояние, привод на винты и колеса от одного двигателя.

Недостатки: сложность конструкции и в управлении.

Патент РФ №147630 «Автомобиль с летными эксплуатационными свойствами», авторы Енаев А.А., Белокрылов В.С. (Рис. 1.5). Полезная модель относится к транспортным средствам способным передвигаться по земле и по воздуху. Преимущество данной полезной модели - отсутствие крыльев, благодаря чему не требуется выполнение работ, а, следовательно, затрат времени на приведение автомобиля в летное состояние; возможность вертикального взлета и посадки. Преимущество достигается тем, что автомобиль с летными эксплуатационными свойствами, обладает несущим кузовом, двигателем внутреннего сгорания, ходовой частью, четырьмя воздушными винтами, расположенными в нижней части автомобиля в горизонтальной плоскости. Воздушные винты приводятся во вращение посредством электродвигателей, которые имеют возможность вращаться в разных направлениях и с разными угловыми скоростями. Установка четырех воздушных винтов в нижней части автомобиля в горизонтальной плоскости позволяет отказаться от установки крыльев и позволяет осуществлять вертикальный взлет автомобиля.

Автомобиль с летными эксплуатационными свойствами оснащен гибридной установкой, которая позволяет вырабатывать электрическую энергию для электродвигателей воздушных винтов как во время движения по дорогам, так и во время полета автомобиля. Движение автомобиля по земле осуществляется с помощью двигателя внутреннего сгорания, трансмиссии и ходовой части. [10]

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16



1 – несущий кузов; 2 – передние воздушные винты; 3 – задние воздушные винты; 4 – двигатель внутреннего сгорания; 5 – сцепление; 6 - коробка переключения передач; 7 - ведущее управляемое рекуперационное колесо; 8 – ведомое рекуперационное колесо; 9 - генератор электрического тока; 10 - аккумуляторные батареи

Рисунок 1.5 - Автомобиль с летными эксплуатационными свойствами

Достоинства: возможность вертикального полёта, отсутствие затрачиваемого времени на приведение в лётное состояние, гибридная схема, легкое управление.

Недостатки: сложность конструкции.

### 1.1.2. Материалы литературного поиска

**Конвэркар.** Автомобильная часть аппарата представляла собой более или менее обычный двухместный автомобиль с двигателем водяного охлаждения мощностью 26 л.с. (19,1 кВт) (рис. 1.6). Цельнометаллический летный комплект представлял собой практически целый самолет, который останавливался на крышу автомобиля и крепился через три ведущих узла, а также блок подсоединения агрегатов системы управления. Силовая установка летного комплекта включала самолётный двигатель «О-435» мощностью 180 л.с. (132 кВт) фирмы «Лайкоминг».

Одним из принципиальных новшеств этого транспортного средства являлось то, что наземная и лётная части предоставлялись отдельно. Лётный комплект предполагалось представлять владельцам таких автомобилей на арендных условиях – вы приезжаете в аэропорт на автомобиле, берете в аренду

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.00000ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		17

летный комплект, а по достижении пункта назначения оставляете комплект в аэропорту. [5]

Достоинства: дальность полёта, годится для комфортной езды по дорогам.

Недостатки: сложность конструкции, необходимость в взлетной полосе, арендодателях лётного комплекта, наличие затрачиваемого времени на приведение в лётное состояние.



Рисунок 1.6. – Конвэркар (1947)

**Плейнмобиль.** О созданном в 1947 г. «Плейнмобиле» (рис. 1.7) известно немного. Каркас фюзеляжа сварен из стальных труб и обтянут тканевой обшивкой. Двигатель А-40 фирмы «Континенталь» устанавливался в носовой части аппарата. Двигатель посредством вала приводил в движение (по земле) хвостовое колесо. Проблема размещения крыльев при движении по дороге была решена путем складывания крыла. [5]

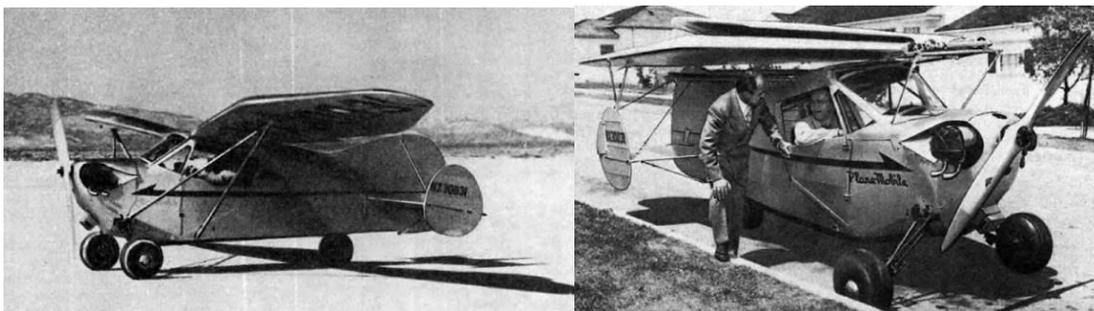


Рисунок 1.7 – Плейнмобиль

Достоинства: дальность полёта, привод на винт и колёса от одного двигателя.

Недостатки: сложность конструкции, необходимость в взлетной полосе, наличие затрачиваемого времени на приведение в лётное состояние, некомфортное перемещение по дорогам.

**«Аэрокар» М. Тейлора.** При его создании изобретатель использовал практически обычный автомобиль, который при движении по дороге вес за собой крылья, хвостовую часть и оперение на прицепе (рис. 1.8 (слева)). На аппарате использовался самолетный двигатель «O-290» мощностью 125 л.с. (92,0 кВт) фирмы «Лайкоминг». Воздушный винт располагался позади Y – образного оперения; винт соединялся с двигателем посредством длинного вала (рис. 1.8 (справа)).

Основные данные: размах крыла 10,37 м; площадь крыла 17,67 м<sup>2</sup>; взлетная масса 952,5 кг; максимальная скорость движения по земле 107 км/ч; крейсерская скорость полета 161 км/ч; посадочная скорость 80,5 км/ч. [5]



Рисунок 1.8 – Аэрокар М. Тейлора с самолетным комплектом (слева), аэрокар М. Тейлора в полёте (справа)

Достоинства: дальность полёта, привод на винт и колёса от одного двигателя, возможность перемещать летный комплект по необходимости.

Недостатки: сложность конструкции, необходимость в взлетной полосе, наличие затрачиваемого времени на приведение в лётное состояние.

**Автомобиль автожир PAL-V One** (рис. 1.9). На земле он представляет собой обтекаемый двухместный трицикл. Когда он приезжает на аэродром, за 10 минут раскладываются ротор и толкающий пропеллер, и машина превращается в автожир. Благодаря автожирной компоновке для взлёта ему нужна очень короткая полоса и небольшая скорость; даже если двигатель отказывает в полёте, машина садится на авторотации.

- Двигатель: 2 шт. фирмы Rotax;
- Мощность двигателя: 99 л.с. для езды в режиме автомобиля и 197 л.с. для полётов;
- Максимальная скорость на дороге: 160 км/ч;
- Максимальная скорость в воздухе: 185 км/ч;
- Разгон с 0 до 100 км/ч за 9,0 с;
- Время подготовки автомобиля к полёту: 5–10 минут
- Площадка для взлета: протяжённость до 200 м и ширина 20 м;
- Дистанция взлета: 165 м;
- Посадочный путь: 30 м;
- Дальность полёта составляет: 350 - 500 км;
- Максимальная высота полёта: 3500 м;
- Масса пустого транспортного средства: 680 кг;
- Максимальная взлетная масса: 910 кг;
- Количество мест: 2;
- Размеры (Длина/Ширина/Высота) 4.0 x 1.6 x 1.6 м;
- Расход топлива на земле: 8 л / 100 км;
- Расход топлива в воздухе: 36 л/ч;
- Запас хода на земле: 1200 км;
- Минимальная скорость для полета: 50 км/ч;
- Стоимость: около 10 млн. рублей

Для превращения автомобиля в аэромобиль необходимо остановиться и заглушить двигатель. Позади автомобиля выдвигается хвост со стабилизаторами, а над крышей раскладываются лопасти несущего винта.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						20
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Превращение происходит в полуавтоматическом режиме. При следующем запуске двигателя тяга будет подаваться уже на разгонный винт. Для управления аэрокармом необходимо иметь летную лицензию и водительские права. [16], [24]



Рисунок 1.9 - PAL-V One

Достоинства: автожирная компоновка позволяет не использовать двигатель для вращения несущего винта, простота управления.

Недостатки: сложность конструкции, необходимость в взлетной полосе, наличие затрачиваемого времени на приведение в лётное состояние.

**Terrafugia Transition** (рис. 1.10) представляет собой гибридную смесь автомобиля и компактного самолета со складными крыльями, работающего на двигателях внутреннего сгорания и несущего винта.

- Размах крыла: 8.08 м;
- Длина самолета: 6.02 м;
- Высота самолета: 1.98 м;
- Масса пустого самолета: 440 кг;
- Масса максимальная взлетная: 650 кг;
- Двигатель: 1 ПД Rotax 912ULS;
- Мощность двигателя взлетная: 59,6 кВт (80 л.с.) при 5800 об/мин;
- Мощность двигателя крейсерская: 58 кВт (77,8 л.с.) при 5500 об/мин ;
- Максимальная скорость полёта: 185 км/ч;
- Крейсерская скорость: 172 км/ч;

- Практическая дальность: 787 км;
- Практическая высота полёта: 3000 м;
- Экипаж: 2 чел.
- Длина взлетной площадки: 518 м;
- Расход топлива в воздухе: 22 л/ч;

Чтобы пассажиры чувствовали себя в безопасности, производитель оснастил транспортное средство парашютом. Для передвижения на Transition владельцу придётся получить лицензию Pilot Sport. Транспортное средство может безопасно планировать при поломке мотора и адекватно оценивать обстановку с помощью приборов. [16], [25], [26]



Рисунок 1.10 - Terrafugia Transition

Достоинства: надежность конструкции, самолётное управление.

Недостатки: необходимость использования аэродрома для взлета и посадки, наличие подготовительных работ по приведению автомобиля в лётное состояние, увеличенные в длину габариты автомобиля.

**AT Black Knight Transformer.** Аппарат (рис. 1.11) является гибридом внедорожника, мультикоптера и вертолета Blackhawk. Он предназначен для проведения беспилотных боевых операций. Аппарат имеет простую модульную конструкцию, а компьютеризированная система управления максимально облегчает процесс управления аппаратом, допуская использования режима ручного управления.

Здесь каждый ротор приводится в действие своим собственным турбодизельным двигателем внутреннего сгорания. Многороторная конструкция обеспечит этому аппарату стабильность полета в воздухе без необходимости использования хвостовых роторов или других стабилизирующих элементов. Система управления, окутанная множеством быстродействующих обратных связей, осуществляет автоматическое управление положением аппарата и направлением его полета, делая ручное управление его полета несложным процессом.

Передвигаясь по воздуху, это транспортное средство Blackhawk, сможет поднять пять человек или 450 килограмм груза и преодолеть расстояние в 463 километра, двигаясь со скоростью 240 километров в час. По земле АТ Black Knight Transformer будет способен перевозить восемь пассажиров или 730 килограмм груза, двигаясь со скоростью до 110 километров в час [27].



Рисунок 1.11 - АТ Black Knight Transformer

Достоинства: надежность конструкции, наличие возможности вертикального полета, стабильность полёта.

Недостатки: сложная и металлоемкая конструкция, высокий расход топлива, большие габариты.

**Parajet Skycar.** Проект представляет собой автомобиль-багги (рис. 1.12), оснащенный легким крылом, разворачивается которое при разгоне.

Площадь крыла равняется 38 кв.м., а максимальная высота полета гибрида 4500 м.

Необычный летательный аппарат оснащен мотором Yamaha R1 мощностью 140 л.с. С помощью этого двигателя приводится в движение пропеллер, который и разгоняет авто, на суше до 225 км/ч, а в воздухе до 160 км/ч. Максимальное расстояние, которое способен преодолеть пароплан, составляет 320 км. до «сотни» машина разгоняется за 4,2 сек, а стоит будет новинка 80 тыс. долларов.

Для взлета автомобилю-пароплану достаточно дистанции в 15 метров.

[28]



Рисунок 1.12 - Parajet Skycar

Достоинства: надежность и простота конструкции, привычное автомобильное управление.

Недостатки: необходимость взлётной полосы.

**La Moto Volante (Lazareth LMV 496).** Это летающий мотоцикл-трансформер (рис. 1.13). Он оборудуется электрическим двигателем, который обеспечивает на дороге поездку в 100 км. Необходимую для взлета мощность обеспечивают турбины. Общая мощность составляет около 1300 лошадиных сил для 2800 Н тяги. Переход из режима маршрута в режим полета осуществляется простым переключателем на приборной панели. Приборная панель выдает информацию о полете непосредственно пилоту. (Скорость,

высота, положение, обороты турбин) Кузов был выполнен из композитного материала [29].



Рисунок 1.13 - LMV 496

Достоинства: наличие возможности вертикального полета, стабильность полёта, простота управления, высокие скорости перемещения.

Недостатки: сложность и дороговизна конструкции, высокий расход топлива, небольшое время полёта.

**Carplane.** Созданный опытный образец летающего автомобиля (рис. 1.14) пока еще не может летать, пока он в состоянии передвигаться по дорогам как обычный автомобиль. Но все проведенные расчеты указывают на то, что автомобиль сможет взлететь и перемещаться по воздуху без каких-либо особых затруднений.



Рисунок 1.14 - Carplane

Как и летающие автомобили других проектов, автомобиль Carplane оснащен выдвигающимися раскладными крыльями и секциями хвостового оперения. Крылья складываются в промежуток между двумя фюзеляжами.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

Такой подход позволяет избежать использования дополнительных подвижных узлов и сочленений, что делает крылья автомобиля более прочными и позволяет, в дополнение к этому, не сильно увеличивать его габаритные размеры. В опытном образце крылья пока убираются и разворачиваются вручную.

Двойной вес фюзеляжа составляет 498 килограмм, стоит на четырех 15-дюймовых колесах. Колеса во время взлета помогают разгону автомобиля, благодаря чему для взлета требуется полоса, длиной всего в 85 метров.

Автомобиль приводится в движение 151-сильным двигателем внутреннего сгорания PC850, возможностей которого достаточно для подъема на высоту 4.5 тысяч метров на скорости около 200 километров в час. Дальность полёта составит 833 километра. Передвигаясь по дороге, автомобиль может развить скорость в 176 километров в час, а все его экологические характеристики удовлетворяют требованиям стандарта EURO-5. [30]

Достоинства: небольшие габариты при езде по дорогам

Недостатки: необходимость использования аэродрома для взлета и посадки, наличие подготовительных работ по приведению автомобиля в лётное состояние.

**TERRAFUGIA T-FX.** Terrafugia TF-X (рис. 1.15) будет оснащена гибридной силовой установкой. При движении по земле, а также во время взлёта необходимую тягу обеспечат электрические моторы с питанием от аккумуляторов. Во время полёта в дело вступит двигатель внутреннего сгорания мощностью 300 лошадиных сил, приводящий во вращение толкающий винт в кольцевом обтекателе, установленный в задней части машины. ДВС также может использоваться для генерации энергии для подзарядки батарей.

Крыло TF-X не прячется, как в предыдущих моделях, а находится в верхней части кузова автомобиля и приводится в действие электроприводом.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

Характеристики при движении на земле пока неизвестны. А по воздуху TF-X гарантирует беспосадочный перелет дальностью не менее 800 км на скоростях до 320 км/ч. Для безопасности TF-X будет непрерывно контролировать водителя и в случае чего вмешиваться в управление. Он сможет самостоятельно взлетать и садиться. [31].



Рисунок 1.15 - TERRAFUGIA T-FX

Достоинства: возможность вертикального полёта, высокие скорости перемещения, наличие гибридной установки, отсутствие работ по приведению автомобиля в лётное состояние, небольшие габариты при езде по дорогам.

Недостатки: сложность конструкции.

### 1.1.3. Выбор конструктивной схемы для легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами

Анализируя существующие образцы и идеи летающих автомобилей, их преимущества и недостатки составим для формулирования технической задачи критерии, которым должен соответствовать проектируемый автомобиль.

Проектируемый автомобиль с лётными эксплуатационными свойствами должен:

- Быть спроектирован на базе существующего автомобиля;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		27

- Иметь возможность вертикального взлёта и посадки;
- Иметь прочную, надёжную и легкую конструкцию, осуществляющую полёт;
- Иметь простое управление;
- Соответствовать габаритным требованиям для передвижения по дорогам общего пользования;
- Приводится в лётное состояние без дополнительных вмешательств и временных затрат.

Техническая задача – создание автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами способного осуществлять вертикальный взлет и посадку на базе существующего легкового автомобиля, который не требовал бы подготовительных работ для приведения автомобиля в лётное состояние.

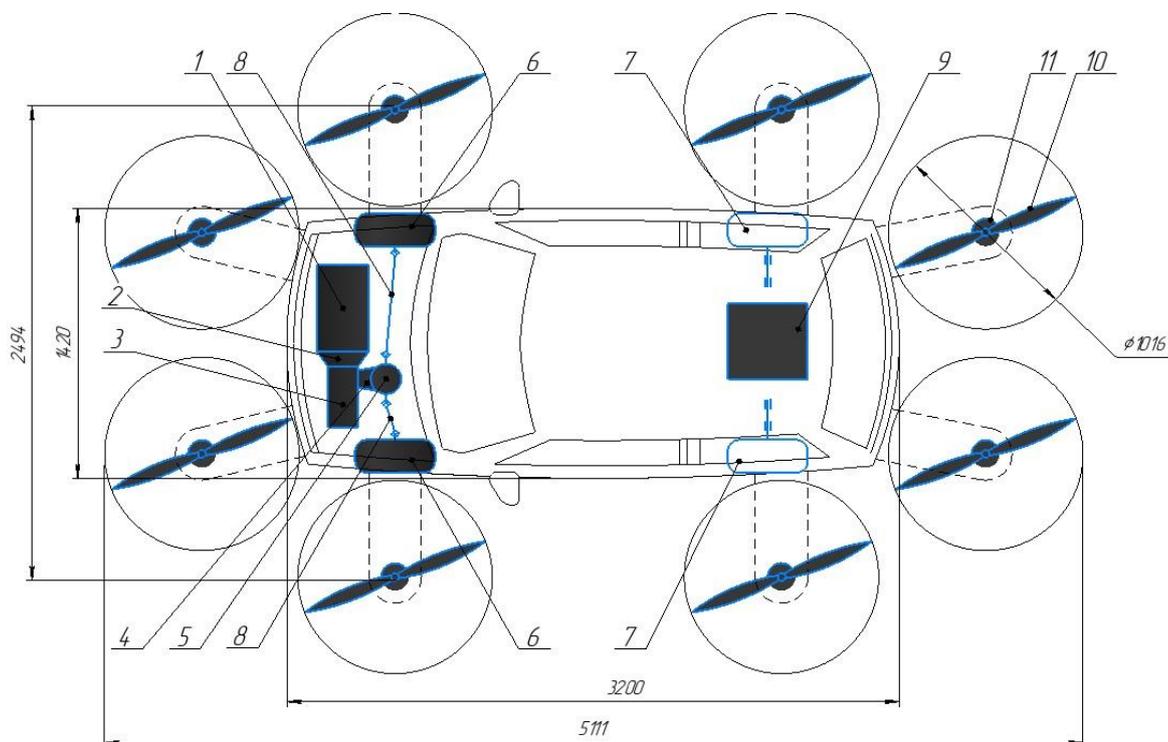
## **1.2. Компоновочная и кинематическая схемы легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами**

Техническая задача решается проектированием автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами на базе легкового автомобиля ВАЗ 1111 «Ока». Благодаря этому отсутствует вопрос о необходимости проектирования двигателя, трансмиссии, подвески, мостов, тормозной системы, рулевого управления и их компоновки.

Проектирование автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами будет осуществляться по принципу компоновки соосного мультикоптера, т.е. с использованием воздушных винтов, расположенных горизонтально по периметру кузова автомобиля в два ряда. Воздушные винты, в свою очередь, приводятся в движение электродвигателями. Регулируя частоту вращения электродвигателей аэромобиль будет изменять траекторию движения.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

Количество единиц винтомоторной группы 16. Питание электродвигателей осуществляется от блока аккумуляторных батарей. Компоновочная и кинематическая схемы представлены на рисунках 1.16 и 1.17.



1-двигатель внутреннего сгорания; 2-сцепление; 3-коробка передач; 4-главная передача; 5 - дифференциал; 6-ведущие управляемые колёса; 7-ведомые колёса; 8-шарниры равных угловых скоростей; 9 - аккумуляторная батарея; 10 – воздушный винт;  
11 - электродвигатель

Рисунок 1.16 - Компоновочная схема автолёта

Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

29



скоростями. И наконец крутящий момент через шарниры равных угловых скоростей передается к ведущим управляемым колёсам.

Для осуществления полёта на автомобиль будет смонтировано подъемное устройство, состоящее из рамы – несущего каркаса, электродвигателей, воздушных винтов, регуляторов скоростей электродвигателей, аккумуляторных батарей, полётного контроллера, пульта управления, акселерометра, гироскопа, барометра, электрических проводов.

В качестве источника питания электродвигателей будет установлен блок литий-полимерных аккумуляторов, который расположится по правую сторону от водителя и в задней части автомобиля для его уравнивания.

Каждая винтомоторная единица крепится к несущему каркасу, который, в свою очередь, с помощью специальных крепежных изделий крепится к кузову автомобиля. Винтомоторные единицы располагаются на одинаковой высоте, сохраняющей центр тяжести автолёта в низкой точке.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		31

## 2. Технологическая часть

### 2.1. Определение полной массы легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами

Автомобиль ВАЗ 1111 «Ока» имеет массу в снаряженном состоянии 635 кг. Для достижения поставленной задачи необходимо как можно больше снизить массу автомобиля.

Анализ источников [32], [33] показал, что кузов в сборе без обивки и сидений достигает массы в 172 кг. Предполагается, что металлический кузов будет заменен кузовом из стеклопластика.

Кузов в сборе предполагает наличие установленного в нем остекления, которое в целях уменьшения веса будет изготовлено из оргстекла. Габариты стекол следующие:

- Лобовое стекло: 1260\*643\*5, мм;
- Заднее стекло: 1074\*438\*3, мм;
- Боковое дверное, 2шт: 975\*560\*3, мм;
- Боковое кузовное, 2 шт: 727\*430\*3, мм;

Зная объем и плотность стекла ( $\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$ ) по формуле (2.1) найдем его массу:

$$V = \frac{m}{\rho}, \quad (2.1)$$

где  $m$  – масса лобового стекла.

$$m = \rho * V = 2500 * 1,26 * 0,643 * 0,005 = 10,12 \text{ кг}. \quad (2.2)$$

Заднее стекло имеет вес 3,52 кг; Боковые попарно весят 4 и 2,34 кг. В итоге получаем массу стекол равную 26,32 кг.

Вычтем массу стекол из массы кузова:

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		32

$$m = 172 - 26,32 = 145,7 \text{ кг.}$$

Зная плотность металла ( $\rho = 7856 \text{ кг/м}^3$ ) по формуле (2.1) вычислим объем кузова:

$$V = \frac{145,7}{7856} = 0,0185 \text{ м}^3.$$

Находим массу кузова из стеклопластика ( $\rho = 2120 \text{ кг/м}^3$ ):

$$m = \rho * V = 2120 * 0,0185 = 39,2 \text{ кг.}$$

Таким же образом находим массу стекол, изготовленных из оргстекла ( $\rho = 1190 \text{ кг/м}^3$ ).

Масса лобового стекла:

$$m = \rho * V = 1190 * 1,26 * 0,643 * 0,005 = 4,8 \text{ кг.}$$

Заднее стекло будет весить 1,7 кг; Боковые попарно весят 3,8 и 2,2 кг. В итоге получаем массу стекол равную 12,5 кг.

Также из снаряженного автомобиля можно убрать:

- Запасное колесо (12,5 кг);
- Заднее кресло (22,5 кг)
- Передние кресла (2\*15 кг);

$$\text{Итого: } 635 - 172 + 39,2 + 12,5 - 12,5 - 22,5 - 30 = 449,7 \text{ кг.}$$

Но автомобиль нуждается в дополнительном оборудовании для осуществления поставленной задачи. Закрепляем следующие оборудование:

- Облегченное кресло водителя (11 кг);
- Электродвигатели (16\* 3,8 кг);
- Аккумуляторные батареи (72\*2,4 кг);
- Регуляторы скоростей электродвигателей (16\*0,5 кг)

- Крепления двигателей (42 кг);

- Учитываем массу среднестатистического человека (75 кг);

Таким образом, получаем окончательную полную массу:

$$M_a = 449,7 + 11 + 60,8 + 172,3 + 8 + 42 + 75 = 818,8 \approx 820 \text{ кг.}$$

## 2.2. Определение коэффициента полезного действия трансмиссии

КПД механической трансмиссии равен произведению коэффициентов полезного действия входящих в трансмиссию механизмов, т.е.

$$\eta_{\text{тр}} = \eta_{\text{кп}} * \eta_{\text{кар}^B} * \eta_0, \quad (2.3)$$

где  $\eta_{\text{тр}}$  – КПД трансмиссии;

$\eta_{\text{кп}}$  – КПД коробки передач (принимается  $\eta_{\text{кп}} = 0,96 \dots 0,98$ );

$\eta_{\text{кар}^B}$  – КПД карданной передачи (для одного карданного шарнира принимается  $\eta_{\text{кар}^B} = 0,995$ ;  $v$  – число шарниров);

$\eta_0$  – КПД главной передачи ( $\eta_0 = 0,93 \dots 0,97$ ).

$$\eta_{\text{тр}} = 0,97 * 0,995^4 * 0,95 = 0,9$$

## 2.3. Определение внешней скоростной характеристики двигателя

Задаемся минимальной  $n_{\text{min}}$  и максимальной  $n_{\text{max}}$  частотой вращения коленчатого вала по выражениям (2.4) и (2.5):

$$n_{\text{min}} = 0,1 \dots 0,15 n_N, \text{ об/мин}, \quad (2.4)$$

где  $n_N$  – частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности

$$n_{\text{min}} = 0,12 * 5000 = 600 \text{ об/мин};$$

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		34

$$n_{max} = 1 \dots 1,15nN, \text{ об/мин}; \quad (2.5)$$

$$n_{max} = 1,12 * 5000 = 5600 \text{ об/мин.}$$

Полученный диапазон разбиваем на 8 интервалов:

- 1) 600-1225, об/мин;
- 2) 1225-1850, об/мин;
- 3) 1850-2475, об/мин;
- 4) 2475-3100, об/мин;
- 5) 3100-3725, об/мин;
- 6) 3725-4350, об/мин;
- 7) 4350-4975, об/мин;
- 8) 4975-5600, об/мин.

$$Nei = N_{max} * \left[ a * \left( \frac{ne}{nN} \right) + b * \left( \frac{ne}{nN} \right)^2 - c * \left( \frac{ne}{nN} \right)^3 \right], \quad (2.6)$$

где  $Nei$  – текущее значение мощности двигателя;

$N_{max}$  – номинальная максимальная мощность при частоте вращения коленчатого вала  $5000 \text{ мин}^{-1}$ ;

$ne$  – текущее значение оборотов двигателя;

$a, b, c$  – коэффициенты (для бензиновых двигателей.  $a, b, c = 1$ );

$$Ne1 = 20,7 * \left[ 1 * \left( \frac{600}{5000} \right) + 1 * \left( \frac{600}{5000} \right)^2 - 1 * \left( \frac{600}{5000} \right)^3 \right] = 2,7 \text{ кВт};$$

$$Mei = 9550 * \frac{Ne}{ne}, \text{ Н * м}, \quad (2.7)$$

где  $Mei$  – текущее значение крутящего момента двигателя;

$$Mei = 9550 * \frac{2,7}{600} = 42,9 \text{ Н * м};$$

$$Neiэ = Nei * 0,95, \text{ кВт}, \quad (2.8)$$

где  $Neiэ$  – эффективная мощность двигателя;

$$Neiэ = 2,7 * 0,95 = 2,6 \text{ кВт};$$

					ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		35

$$Meiэ = Mei * 0,95, н * м, \quad (2.9)$$

где  $Meiэ$  – эффективный крутящий момент двигателя;

$$Meiэ = 42,9 * 0,95 = 40,8, н * м.$$

Результаты расчетов мощностей и моментов сведем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты расчетов

$n_e, \text{min}^{-1}$	600	1225	1850	2475	3100	3725	4350	4975	5600
$Mei, \text{н} * \text{м}$	42,9	46,7	48,5	49,4	48,9	47,2	43,9	39,7	34,4
$Nei, \text{кВт}$	2,7	6,0	9,4	12,8	15,9	18,4	20,0	20,7	20,16
$Meiэ, \text{н} * \text{м}$	40,8	44,4	46,0	46,9	46,5	44,8	41,7	37,7	32,8
$Neiэ, \text{кВт}$	2,6	5,7	8,93	12,2	15,1	17,5	19	19,6	19,2

По результатам таблицы строим внешнюю скоростную характеристику (Приложение А).

## 2.4. Определение тягово- скоростных свойств легкового автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами

### 2.4.1. Оценочные параметры тягово-скоростных свойств

$V_{a\text{max}}$  – максимальная скорость движения автомобиля;

$J_{a\text{max}}$  – максимальное ускорение автомобиля;

$J_a = f(V_a)$  – диаграмма ускорения;

$P_T = f(V_a)$  – тягово – скоростная характеристика;

$N_t = f(V_a)$  – мощностная характеристика;

$D = f(V_a)$  – динамическая характеристика;

$D_{\text{max}}$  – максимальный динамический фактор

$t_p$  – время разгона до максимальной скорости;

$s_p$  – путь разгона до максимальной скорости;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата		36

Скоростная характеристика «Разгон – выбег»;

Скоростная характеристика разгона на высшей передаче

#### 2.4.2. Алгоритм определения оценочных параметров

Уравнение движения автомобиля:

$$P_T - P_K - P_{\Pi} - P_B = 0, \quad (2.10)$$

где  $P_T$  – тяговая сила, Н;

$P_K$  – сила сопротивления качению, Н;

$P_B$  – сила сопротивления воздуху, Н;

$P_{\Pi}$  – сила сопротивления подъему, Н;

Уравнение силового баланса:

$$P_T = P_K + P_{\Pi} + P_B; \quad (2.11)$$

Так как автомобиль движется по горизонтальной дороге уравнение силового баланса примет вид:

$$P_T = P_K + P_B; \quad (2.12)$$

Уравнение мощностного баланса:

$$N_t = N_k + N_b, \quad (2.13)$$

где  $N_t$  – тяговая мощность, кВт;

$N_k$  – мощность сопротивления качению, кВт;

$N_b$  – мощность сопротивления воздуху, кВт.

### 2.4.3. Определение тягово-скоростной характеристики

Тягово-скоростная характеристика – это зависимость тяговой силы от скорости на различных передачах.

$$P_T = f(V_a);$$

$$P_T = (M_e * I_{кп} * I_0 * \eta_{тр}) / R_d, \quad (2.14)$$

где  $M_e$  – крутящий момент, н\*м;

$I_{кп}$  – передаточное число КПП;

$I_0$  – передаточное число главной передачи;

$\eta_{тр}$  – КПД трансмиссии;

$R_d$  – динамический радиус колеса, м;

После подстановки числовых значений в зависимость (2.14) получаем:

$$P_T = \frac{40,8 * 3,7 * 4,54 * 0,9}{0,27} = 2284,5 \text{ Н};$$

$$V_a = 0,377 * \frac{R_d * n_e}{I_{кп} * I_0}, \quad (2.15)$$

где  $V_a$  – скорость автомобиля, км/ч;

$n_e$  – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин;

После подстановки числовых значений в зависимость (2.15) получаем:

$$V_a = 0,377 * \frac{0,27 * 600}{3,7 * 4,54} = 3,64 \text{ км/ч};$$

$$P_k = f_k * m_a * \cos \alpha, \quad (2.16)$$

где  $m_a$  – масса автомобиля, кг;

$\alpha$  – угол наклона дороги ( $\alpha=0$ ,  $\cos \alpha = 1$ );

$f_k$  – коэффициент сопротивления качению;

При скорости выше 50 км/ч:

$$f_k = f_0 \left(1 + \frac{v a^2}{20000}\right), \quad (2.17)$$

При скорости менее 50 км/ч:

$$f_k = f_0, \quad (2.18)$$

где  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению определенный при скорости движения менее 50 км/ч ( $f_0=0,01$  для асфальтовой дороги в хорошем состоянии).

После подстановки числовых значений в зависимость (2.16), (2.17), (2.18) получаем:

$$P_k = 0,01 * 820 * 9,81 * 1 = 80,44 \text{ Н};$$

$$P_v = K_v * F_v \frac{v a^2}{13}, \text{ Н} \quad (2.19)$$

где  $P_v$  – сила сопротивления воздуху, Н;

$K_v$  – коэффициент обтекаемости (принимается для легкового автомобиля  $K_v=0,3 \text{ н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ );

$F_v$  – площадь лобового сопротивления,  $\text{м}^2$ ;

Для автомобиля, оборудованном подъемным устройством:

$$F_v = 0,78 (Ш * Н + S_v), \text{ м}^2 \quad (2.20)$$

где  $Ш$  – ширина автомобиля, м;

$Н$  – высота автомобиля, м;

$S_v$  – лобовая площадь подъемного устройства,  $\text{м}^2$ ;

Подставим значения в выражение (2.20):

$$F_v = 0,78 (1,42 * 1,4 + 0,1) = 1,63 \text{ м}^2;$$

Подставим числовые значения в выражение (2.19):

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		39

$$P_B = 0,3 * 1,63 \frac{3,64^2}{13} = 0,5 \text{ Н};$$

Результаты расчетов занесем в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты определения тягово-скоростной характеристики

Икп	Определяем	nе, min <sup>-1</sup>									
		600,00	1225,0	1850,0	2475,0	3100,0	3725,0	4350,0	4975,0	5600,0	
1	ые параметры		0	0	0	0	0	0	0	0	
	Меэ, н*м	40,80	44,40	46,00	46,90	46,50	44,80	41,70	37,70	32,80	
	Рт, н	2284,5 3	2486,1 0	2575,6 9	2626,0 9	2603,6 9	2508,5 0	2334,9 2	2110,9 5	1836,5 8	
	Vа, км/ч	3,64	7,42	11,21	15,00	18,78	22,57	26,36	30,15	33,93	
	Рк, н	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	
	Рв, н	0,50	2,07	4,73	8,46	13,27	19,17	26,14	34,19	43,31	
	Рк+Рв, н	80,94	82,51	85,17	88,90	93,72	99,61	106,58	114,63	123,76	
	Икп	Меэ, н*м	40,80	44,40	46,00	46,90	46,50	44,80	41,70	37,70	32,80
2	Рт, н	1271,9 3	1384,1 6	1434,0 3	1462,0 9	1449,6 2	1396,6 3	1299,9 8	1175,2 8	1022,5 3	
	Vа, км/ч	6,53	13,33	20,14	26,94	33,74	40,54	47,34	54,15	60,95	
	Рк, н	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	92,23	95,38	
	Рв, н	1,60	6,69	15,25	27,29	42,82	61,83	84,32	110,28	139,74	
	Рк+Р, н	82,05	87,13	95,69	107,74	123,26	142,27	164,76	202,52	235,12	
Икп	3	Меэ, н*м	40,80	44,40	46,00	46,90	46,50	44,80	41,70	37,70	32,80
	Рт, н	784,15	853,34	884,09	901,39	893,70	861,03	801,45	724,57	630,39	
	Vа, км/ч	10,59	21,63	32,66	43,69	54,73	65,76	76,80	87,83	98,86	
	Рк, н	80,44	80,44	80,44	80,44	92,49	97,84	104,16	111,47	119,75	
	Рв, н	4,22	17,59	40,12	71,81	112,66	162,67	221,84	290,16	367,65	
	Рк+Р, н	84,66	98,03	120,57	152,26	205,15	260,51	326,00	401,63	487,40	
Икп	4	Меэ, н*м	40,80	44,40	46,00	46,90	46,50	44,80	41,70	37,70	32,80
	Рт, н	555,70	604,73	626,52	638,78	633,33	610,18	567,95	513,47	446,74	
	Vа, км/ч	14,95	30,52	46,09	61,66	77,23	92,80	108,37	123,94	139,51	
	Рк, н	80,44	80,44	80,44	95,73	104,43	115,08	127,67	142,22	158,72	
	Рв, н	8,40	35,03	79,90	143,00	224,34	323,92	441,73	577,78	732,07	
	Рк+Р, н	88,85	115,47	160,34	238,73	328,77	438,99	569,41	720,01	890,79	

По данным таблицы 2.2 строится диаграмма силового баланса (приложение Б).

#### 2.4.4. Определение максимальной скорости движения автомобиля

Максимальная скорость автомобиля определяется по диаграмме силового баланса (пересечение кривой 4 передачи и кривой препятствующих движению сил  $P_k + P_v$ )

$V_{a_{max}} = 108$  км/ч, согласно диаграмме силового баланса.

#### 2.4.5. Определение динамической характеристики

Зависимость динамического фактора от скорости представляет собой динамическую характеристику  $D = f(V_a)$ .

Динамический фактор – это удельная величина, показывающая сколько свободной тяговой силы, приходится на единицу тяжести.

$$D = \frac{P_{тсв}}{mag} = \frac{P_T - P_v}{mag}, \quad (2.21)$$

где  $P_{тсв}$  – свободная тяговая сила;

Подставляя (2.11) в (2.21) получаем:

$$D = \frac{P_k + P_{\pi} + P_v - P_v}{mag} = \frac{mag * \cos\alpha * f_k + mag * \sin\alpha}{mag} = \cos\alpha * f_k + \sin\alpha \\ = \Psi,$$

где  $\Psi$  – суммарный коэффициент сопротивления дороги. Условием движения по динамическому фактору является:

$$D \geq \Psi, \quad (2.22)$$

Условием движения по динамическому фактору без буксования является:

$$\varphi x \geq D \geq \Psi, \quad (2.23)$$

где  $\varphi_x$  – коэффициент сцепления шин с дорогой (для расчетов принимаем  $\varphi_x = 0,7$ )

Для расчетов принято  $\Psi = f_k = 0,01$

После подстановки числовых значений в зависимость (2.21) получаем:

$$D = \frac{2284,5 - 0,5}{820 * 9,81} = 0,28;$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.3.

#### 2.4.6. Определение диаграммы ускорений

Диаграмма ускорений представляет собой зависимость ускорения от скорости:  $J_a = f(V_a)$ .

$$J_a = \frac{D - \psi}{\delta_{вр}} * g, \text{ м/с}^2 \quad (2.24)$$

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

$$\delta_{вр} = 1 + 0,05(1 + \text{Икп}^2), \quad (2.25)$$

где  $\text{Икп}$  – передаточное число ступени КПП

Подставляя значения в выражение (5.16) и (5.15) получаем:

$$\delta_{вр} = 1 + 0,05(1 + 3,72) = 1,73;$$

$$J_a = \frac{D - \psi}{\delta_{вр}} * g = \frac{0,28 - 0,01}{1,73} * 9,81 = 1,55 \text{ м/с}^2;$$

Полученные значения сводим в таблицу 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчетов

№	Определяем	Va, км/ч								
		3,64	7,42	11,21	15,00	18,78	22,57	26,36	30,15	33,93
Икп 1	ый параметр									
	Rт, н	2284,53	2486,10	2575,69	2626,09	2603,69	2508,50	2334,92	2110,95	1836,58
	Rв, н	0,50	2,07	4,73	8,46	13,27	19,17	26,14	34,19	43,31
	D	0,28	0,31	0,32	0,33	0,32	0,31	0,29	0,26	0,22
	Ψ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ja, м/с2	1,55	1,69	1,75	1,78	1,76	1,69	1,57	1,40	1,20
	δвр	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
Икп 2		Va, км/ч								
		6,53	13,33	20,14	26,94	33,74	40,54	47,34	54,15	60,95
	Rт, н	1271,93	1384,16	1434,03	1462,09	1449,62	1396,63	1299,98	1175,28	1022,53
	Rв, н	1,60	6,69	15,25	27,29	42,82	61,83	84,32	110,28	139,74
	D	0,16	0,17	0,18	0,18	0,17	0,17	0,15	0,13	0,11
	Ψ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ja, м/с2	1,15	1,25	1,29	1,31	1,28	1,21	1,10	0,94	0,76
	δвр	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26	1,26
Икп 3		Va, км/ч								
		10,59	21,63	32,66	43,69	54,73	65,76	76,80	87,83	98,86
	Rт, н	784,15	853,34	884,09	901,39	893,70	861,03	801,45	724,57	630,39
	Rв, н	4,22	17,59	40,12	71,81	112,66	162,67	221,84	290,16	367,65
	D	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,09	0,07	0,05	0,03
	Ψ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
	Ja, м/с2	0,75	0,81	0,82	0,81	0,74	0,65	0,51	0,35	0,15
	δвр	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13	1,13
Икп 4		Va, км/ч								
		14,95	30,52	46,09	61,66	77,23	92,80	108,37	123,94	139,51
	Rт, н	555,70	604,73	626,52	638,78	633,33	610,18	567,95	513,47	446,74
	Rв, н	8,40	35,03	79,90	143,00	224,34	323,92	441,73	577,78	732,07
	D	0,07	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,02	-0,01	-0,04
	Ψ	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
	Ja, м/с2	0,52	0,55	0,52	0,45	0,34	0,19	0,00	-0,23	-0,50
	δвр	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09

По результатам расчетов строим динамическую характеристику (приложение В) и диаграмму ускорений (приложение Г).

## 2.4.7. Определение пути и времени разгона

Для определения пути и времени разгона автомобиля до заданной скорости используют графоаналитический метод. Для этого каждую кривую диаграммы ускорений разбивают на 5-10 равных интервалов и далее для каждого интервала определяется время и путь разгона. Суммирование времени и пути разгона каждого интервала позволяет определить путь и время разгона.

При этом допускается ряд допущений:

- 1) В каждом интервале автомобиль движется с постоянной средней скоростью.
- 2) В каждом интервале автомобиль движется с постоянным средним ускорением.

$$J_{срi} = \frac{J_{нi} + J_{кi}}{2}, \quad (2.26)$$

где  $J_{срi}$  – среднее ускорение интервала, м/с<sup>2</sup>;

$J_{нi}$  – ускорение в начале i-го интервала, м/с<sup>2</sup>;

$J_{кi}$  – ускорение в конце i-го интервала, м/с<sup>2</sup>;

$$J_{срi} = \frac{\Delta V_i}{\Delta t_i}, \quad (2.27)$$

$$\Delta V_i = V_{кi} - V_{нi}, \quad (2.28)$$

где  $V_{кi}$  – скорость в конце i-го интервала, км/ч;

$V_{нi}$  – скорость в начале i-го интервала, км/ч;

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{J_{срi}} = \frac{V_{кi} - V_{нi}}{J_{срi}}, \quad (2.29)$$

где  $\Delta t_i$  – время разгона на i-ом интервале, с;

$$V_{срi} = \frac{V_{нi} + V_{кi}}{2}, \quad (2.30)$$

где  $V_{срi}$  – средняя скорость интервала, км/ч;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

$$V_{cpi} = \frac{\Delta S_i}{\Delta t_i}, \quad (2.31)$$

$$\Delta S_i = \frac{V_{cpi}(V_{ki} - V_{ni})}{J_{cpi}}, \quad (2.32)$$

где  $\Delta S_i$  – путь разгона на  $i$ -ом интервале, м;

$$t_{pi} = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n, \quad (2.33)$$

где  $t_{pi}$  – время разгона на  $i$ -ой передаче, с

$$S_{pi} = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n, \quad (2.34)$$

где  $S_{pi}$  – путь разгона на  $i$ -ой передаче, м

При построении скоростной характеристики учитывается:

$\Delta V_{п}$  – падение скорости при переключении передач;

$t_{п}$  – время переключения передач ( $t_{п} = 0,5 \dots 1,5$  с для бенз. двиг)

$S_{п}$  – путь, проходимый автомобилем за время переключения передач;

$$\Delta V_{п} = 33 t_{п} * \Psi, \text{ км/ч}; \quad (2.35)$$

$$S_{п} = (V_{п} - 17 t_{п} * \Psi) \frac{t_{п}}{3,6}, \text{ м}; \quad (2.36)$$

Подставляя данные для 1 интервала 1 передачи в выражения (2.26 – 2.36), при этом переводя км/ч в м/с, получим:

$$J_{cp1} = \frac{1,55 + 1,74}{2} = 1,65, \text{ м/с}^2;$$

$$\Delta t_1 = \frac{2,61 - 1,01}{1,65} = 0,97 \text{ с};$$

$$V_{cp1} = \frac{1,01 + 2,61}{2} = 1,81 \text{ м/с}$$

$$\Delta S_1 = \frac{1,81(2,61 - 1,01)}{1,65} = 1,77 \text{ м};$$

$$\Delta V_{п} = 33 * 1,5 * 0,01 = 0,5 \text{ км/ч};$$

$$S_{п} = (32,5 - 17 * 1,5 * 0,01) \frac{1}{3,6} = 10,3 \text{ м};$$

Полученные результаты сводим с таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов

№	Определяемый параметр	Номер интервала				
		1	2	3	4	5
Икп1	V <sub>н</sub> , км/ч	3,64	9,41	15,18	20,95	26,72
	V <sub>к</sub> , км/ч	9,41	15,18	20,95	26,72	32,49
	V <sub>н</sub> , м/с	1,01	2,61	4,22	5,82	7,42
	V <sub>к</sub> , м/с	2,61	4,22	5,82	7,42	9,03
	J <sub>н</sub> , м/с <sup>2</sup>	1,55	1,74	1,79	1,73	1,54
	J <sub>к</sub> , м/с <sup>2</sup>	1,74	1,79	1,73	1,54	1,29
	J <sub>ср</sub> , м/с <sup>2</sup>	1,65	1,77	1,76	1,64	1,42
	Δt, с	0,97	0,91	0,91	0,98	1,13
	V <sub>ср</sub> , км/ч	6,52	12,30	18,07	23,84	29,61
	V <sub>ср</sub> , м/с	1,81	3,42	5,02	6,62	8,22
	ΔS, м	1,77	3,10	4,57	6,49	9,32
	t <sub>р</sub> , с	0,90	1,81	2,72	3,70	4,83
	S <sub>р</sub> , м	1,65	4,75	9,32	15,81	25,13
Икп2	V <sub>н</sub> , км/ч	32,49	38,19	43,89	49,59	55,29
	V <sub>к</sub> , км/ч	38,19	43,89	49,59	55,29	60,99
	V <sub>н</sub> , м/с	9,03	10,61	12,19	13,78	15,36
	V <sub>к</sub> , м/с	10,61	12,19	13,77	15,36	16,94
	J <sub>н</sub> , м/с <sup>2</sup>	1,29	1,24	1,16	1,05	0,92
	J <sub>к</sub> , м/с <sup>2</sup>	1,24	1,16	1,05	0,92	0,76
	J <sub>ср</sub> , м/с <sup>2</sup>	1,27	1,20	1,11	0,99	0,84
	Δt, с	1,25	1,32	1,43	1,61	1,88
	V <sub>ср</sub> , км/ч	35,34	41,04	46,74	52,44	58,14
	V <sub>ср</sub> , м/с	9,82	11,40	12,98	14,57	16,15
	ΔS, м	12,28	15,04	18,60	23,41	30,43
	t <sub>р</sub> , с	1,08	2,40	3,83	5,44	7,32
	S <sub>р</sub> , м	10,70	25,73	44,33	67,73	98,16
Икп3	V <sub>н</sub> , км/ч	60,99	68,56	76,13	83,70	91,20
	V <sub>к</sub> , км/ч	68,56	76,13	83,70	91,27	98,77
	V <sub>н</sub> , м/с	16,94	19,04	21,15	23,25	25,33
	V <sub>к</sub> , м/с	19,05	21,15	23,25	25,35	27,44
	J <sub>н</sub> , м/с <sup>2</sup>	0,70	0,61	0,52	0,42	0,30
	J <sub>к</sub> , м/с <sup>2</sup>	0,61	0,52	0,42	0,30	0,15

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

46

Продолжение таблицы 2.4

	Жср, м/с <sup>2</sup>	0,66	0,57	0,47	0,36	0,23
	Vср, км/ч	64,78	72,35	79,92	87,49	94,99
	Vср, м/с	17,99	20,10	22,20	24,30	26,39
	ΔS, м	57,80	74,83	99,37	142,02	246,72
	тp, с	2,91	6,64	11,11	16,96	26,31
	Sp, м	51,60	126,44	225,81	367,83	614,55
Икп4	Vн, км/ч	98,77	101,84	104,91		
	Vк, км/ч	101,84	104,91	107,98		
	Vн, м/с	27,44	28,29	29,14		
	Vк, м/с	28,29	29,14	29,99		
	Жн, м/с <sup>2</sup>	0,12	0,10	0,06		
	Жк, м/с <sup>2</sup>	0,10	0,06	0,00		
	Жср, м/с <sup>2</sup>	0,11	0,08	0,03		
	Δt, с	7,75	10,66	28,43		
	Vср, км/ч	100,31	103,38	106,45		
	Vср, м/с	27,86	28,72	29,57		
	ΔS, м	216,00	306,10	840,50		
	тp, с	10,10	20,76	49,19		
	Sp, м	283,39	589,49	1429,99		

По результатам расчетов строим скоростную характеристику разгона (Приложение Д).

### 2.4.8. Анализ результатов расчета оценочных параметров тягово-скоростных свойств

Максимальная скорость на 1 передаче составила – 33,93 км/ч; на 2 – 60,95 км/ч; на 3 – 98,86 км/ч; на 4 – 107,98 км/ч.

Максимальная тяговая сила на 1 передаче составила 2626, 09 Н при скорости 15 км/ч; на 2 – 1462 Н, 09 при 26,94 км/ч; на 3 – 901,39 Н при 43,69 км/ч; на 4 – 638, 78 Н при 61,66 км/ч.

Максимальный динамический фактор на 1 передаче составил – 0,325 при 14, 998 км/ч; на 2 – 0,178 при 26, 937 км/ч; на 3 – 0,105 при 32, 660 км/ч; на 4 – 0,07 при 30,517 км/ч.

Максимальное ускорение на 1 передаче составило – 1,783 м/с<sup>2</sup> при 14,998 км/ч; на 2 – 1,308 м/с<sup>2</sup> при 26, 937 км/ч; на 3 – 0,823 м/с<sup>2</sup> при 32, 660 км/ч; на 4 – 0,547 м/с<sup>2</sup> при 30, 517 км/ч.

## 2.5. Топливная экономичность автомобиля

### 2.5.1. Оценочные параметры

$g_s$  – контрольный расход топлива, л/100 км;

$g_s^r$  – контрольный расход топлива в городском цикле, л/100 км;

$g_s^m$  – контрольный расход топлива в магистральном цикле;

$g_s = f(V_a)$  – топливно-экономическая характеристика;

$g_e$  – удельный эффективный расход топлива, г/кВт\*ч;

$G_t$  – часовой расход топлива, кг/час;

$g_p$  – расход топлива на единицу транспортной работы, л/100т\*км;

### 2.5.2. Алгоритм определения топливно-экономической характеристики установившегося движения

1. Определяется мощностная характеристика  $N_t = f(V_a)$ ;

2. Определяется зависимость  $N_k + N_{п} + N_{в} = f(V_a)$  и наносится на мощностную характеристику;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		48

3. Полученную диаграмму мощностного баланса разбивают на 5-10 равных интервалов;

4. Для каждого интервала определяется степень использования мощности:

$$И = \frac{N_{к+} + N_{п+} + N_{в}}{N_t}, \quad (2.37)$$

и по вспомогательному графику  $K_{и} = f(И)$  для каждого интервала определяется  $K_{и}$ .

5. Для каждого интервала определяется частота вращения коленчатого вала двигателя, по вспомогательному графику  $K_{об} = f\left(\frac{n_e}{n_N}\right)$  определяем  $K_{об}$ ;

6. Для каждого интервала определяем удельный расход топлива;

7. Для каждого интервала определяется контрольный расход топлива;

8. Строится топливно-экономическая характеристика

### 2.5.2. Расчет топливно-экономической характеристики установившегося движения

Степень использования мощности определяется по формуле:

$$И = \frac{N_{к+} + N_{п+} + N_{в}}{N_t}, \quad (2.38)$$

где  $N_{к}$  – мощность сопротивления качению;

$N_{п}$  – мощность сопротивления подъему;

$N_{в}$  – мощность сопротивления воздуху;

$N_T$  – тяговая мощность;

Удельный эффективный расход топлива определяется по формуле:

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						49
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

$$g_e = g_{en} * K_{и} * K_{об}, \quad (2.39)$$

где  $g_{en}$  – удельный эффективный расход топлива при номинальной мощности;

$K_{и}$  – коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от степени использования мощности И;

$K_{об}$  - коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от уменьшения частоты вращения коленчатого вала.

Коэффициенты  $K_{и}$  и  $K_{об}$  находятся по вспомогательным графикам.

Удельный эффективный расход топлива при максимальной мощности определяется по формуле:

$$g_{en} = (1,05 \dots 1,15) g_{emin}, \quad (2.40)$$

где  $g_{emin}$  – минимальный удельный расход топлива, г/квт\*ч; (для расчетов  $g_{emin} = 260..310$  г/квт\*ч)

$$g_{en} = 1,15 * 310 = 356,5, \frac{\text{г}}{\text{квт}} * \text{ч}$$

Подставим числовые значения в выражение (2.39):

$$g_e = 356,5 * 1,8 * 1,05 = 673,8 \text{ г/квт} * \text{ч};$$

Контрольный расход топлива при равномерном движении определяется по формуле:

$$g_s = \frac{g_e}{36000 * \rho * \eta_{тр}} * (P_k + P_{п} + P_{в}), \text{ л/100км}, \quad (2.41)$$

где  $\rho$  – плотность топлива (0,85 кг/л);

Подставим числовые значения в выражение (2.41) и получим:

$$g_s = \frac{673,8}{36000 * 0,85 * 0,9} * (95,38 + 139,7) = 5,75 \text{ л/100км}.$$

Полученные значения сводим в таблицу 2.5.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						50
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 2.5 – Результаты расчетов

№	Определяем ые параметры	ne, min <sup>-1</sup>								
		600	1225	1850	2475	3100	3725	4350	4975	5600
Икп 1	Neэ, кВт	2,60	5,70	8,93	12,20	15,10	17,50	19,00	19,60	19,20
	Nt,, кВт	2,34	5,13	8,04	10,98	13,59	15,75	17,10	17,64	17,28
	Va, км/ч	3,64	7,42	11,21	15,00	18,78	22,57	26,36	30,15	33,93
	Pк, н	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44
	Nк, кВт	0,08	0,17	0,25	0,34	0,42	0,50	0,59	0,67	0,76
	Pв, н	0,50	2,07	4,73	8,46	13,27	19,17	26,14	34,19	43,31
	Nв, кВт	0,00	0,00	0,01	0,04	0,07	0,12	0,19	0,29	0,41
	Nк+Nв, кВт	0,08	0,17	0,27	0,37	0,49	0,62	0,78	0,96	1,17
	И	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,07
	Ки	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,90
	ne/nN	0,12	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,87	1,00	1,12
	Коб	1,18	1,08	1,03	0,98	0,97	0,96	0,97	1,00	1,05
	ge, г/ кВт*ч	1262,0 1	1155,0 6	1101,5 9	1048,1 1	1037,4 2	1026,7 2	1037,4 2	1069,5 0	1085,5 4
gs, л/ 100 км	3,71	3,46	3,41	3,38	3,53	3,71	4,01	4,45	4,88	
Икп 2	Neэ, кВт	2,60	5,70	8,93	12,20	15,10	17,50	19,00	19,60	19,20
	Nt,, кВт	2,34	5,13	8,04	10,98	13,59	15,75	17,10	17,64	17,28
	Va,км/ч	6,53	13,33	20,14	26,94	33,74	40,54	47,34	54,15	60,95
	Pк, н	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	80,44	92,23	95,38
	Nк, кВт	0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,91	1,06	1,39	1,61
	Pв, н	1,60	6,69	15,25	27,29	42,82	61,83	84,32	110,28	139,74
	Nв, кВт	0,00	0,02	0,09	0,20	0,40	0,70	1,11	1,66	2,37
	Nк+N, кВт	0,15	0,32	0,54	0,81	1,16	1,60	2,17	3,05	3,98
	И	0,06	0,06	0,07	0,07	0,09	0,10	0,13	0,17	0,23
	Ки	2,90	2,90	2,88	2,80	2,70	2,60	2,40	2,20	1,80
	ne/nN	0,12	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,87	1,00	1,12
	Коб	1,18	1,08	1,03	0,98	0,97	0,96	0,97	1,00	1,05
	ge, г/ кВт*ч	1219,9 4	1116,5 6	1057,5 2	978,24	933,67	889,82	829,93	784,30	673,79
gs, л/ 100 км	3,63	3,53	3,67	3,83	4,18	4,60	4,97	5,77	5,75	
Икп 3	Neэ, кВт	2,60	5,70	8,93	12,20	15,10	17,50	19,00	19,60	19,20
	Nt,, кВт	2,34	5,13	8,04	10,98	13,59	15,75	17,10	17,64	17,28
	Va,км/ч	10,59	21,63	32,66	43,69	54,73	65,76	76,80	87,83	98,86
	Pк, н	80,44	80,44	80,44	80,44	92,49	97,84	104,16	111,47	119,75

Продолжение таблицы 2.5

	Nk, кВт	0,06	0,13	0,20	0,27	0,39	0,48	0,55	0,61	0,64
	Pв, н	4,22	17,59	40,12	71,81	112,66	162,67	221,84	290,16	367,65
	Nв, кВт	0,01	0,11	0,36	0,87	1,71	2,97	4,73	7,08	10,10
	Nk+Nв, кВт	0,07	0,23	0,56	1,14	2,10	3,45	5,28	7,69	10,74
	И	0,03	0,05	0,07	0,10	0,15	0,22	0,31	0,44	0,62
	Ки	3,00	3,00	2,80	2,60	2,30	1,80	1,50	1,25	1,00
	пе/пN	0,12	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,87	1,00	1,12
	Коб	1,18	1,08	1,03	0,98	0,97	0,96	0,97	1,00	1,05
	ge, г/ кВт*ч	1262,01	1155,06	1028,15	908,36	795,35	616,03	518,71	445,63	374,33
	gs, л /100 км	3,88	4,11	4,50	5,02	5,92	5,83	6,14	6,50	6,62
Икп 4	Neэ, кВт	2,60	5,70	8,93	12,20	15,10	17,50	19,00	19,60	19,20
	Nt., кВт	2,34	5,13	8,04	10,98	13,59	15,75	17,10	17,64	17,28
	Va, км/ч	14,95	30,52	46,09	61,66	77,23	92,80	108,37	123,94	139,51
	Pк, н	80,44	80,44	80,44	95,73	104,43	115,08	127,67	142,22	158,72
	Nk, кВт	0,06	0,13	0,20	0,32	0,44	0,56	0,67	0,77	0,85
	Pв, н	8,40	35,03	79,90	143,00	224,34	323,92	441,73	577,78	732,07
	Nв, кВт	0,03	0,30	1,02	2,45	4,81	8,35	13,30	19,89	28,37
	Nk+Nв, кВт	0,09	0,42	1,22	2,77	5,25	8,91	13,97	20,67	29,22
	И	0,04	0,08	0,15	0,25	0,39	0,57	0,82	1,17	1,69
	Ки	3,00	2,70	2,30	1,60	1,30	1,00	0,90	1,20	1,40
	пе/пN	0,12	0,25	0,37	0,50	0,62	0,75	0,87	1,00	1,12
	Коб	1,18	1,08	1,03	0,98	0,97	0,96	0,97	1,00	1,05
	ge, г/ кВт*ч	1262,01	1039,55	844,55	558,99	449,55	342,24	311,22	427,80	524,06
	gs, л/ 100 км	4,07	4,36	4,92	4,85	5,37	5,46	6,43	11,18	16,95

По результатам таблицы 6.1 строим диаграмму мощностного баланса (приложение Е) и топливно-экономическую характеристику (приложение Ж).

#### 2.5.4. Анализ результатов расчета топливно-экономической характеристики

По итогам расчета получаем следующие результаты:

- на 1 передаче  $g_{\min} = 3,38$  л/100 км при скорости 14,9 км/ч;
- на 2 передаче  $g_{\min} = 3,53$  л/100 км при скорости 13,3 км/ч;
- на 3 передаче  $g_{\min} = 3,88$  л/100 км при скорости 10,6 км/ч;
- на 4 передаче  $g_{\min} = 4,07$  л/100 км при скорости 14,9 км/ч;

					ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		53

### 3. Конструкторская часть

#### 3.1. Назначение подъемного устройства и предъявляемые требования

Проектируемое подъемное устройство для автомобиля ВАЗ 1111 «Ока» предназначено для осуществления перемещения автомобиля в воздушной среде. Основными компонентами устройства являются:

- Несущий каркас;
- Электродвигатели;
- Воздушные винты;
- Система питания электродвигателей;
- Регуляторы скоростей электродвигателей;
- Полётный контроллер;

Несущий каркас предназначен для размещения и крепления на нем электродвигателей с винтами. Он должен соответствовать следующими требованиям:

- Быть достаточно жестким и прочным;
- Иметь малый вес;
- Используемый материал должен быть доступным и широко применяемым.

Электродвигатели предназначены для преобразования электрической энергии в механическую, для приведения в движение воздушных винтов. К ним предъявляются следующие требования:

- Должны иметь высокий КПД;
- Обладать широким диапазоном частоты вращения;
- Иметь длительный режим работы;
- Иметь малое сопротивление обмоток;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

- Быть достаточно мощными.

Воздушные винты предназначены для создания силы тяги, необходимой для осуществления движения автомобиля в надземной среде. К воздушным винтам предъявляются следующие требования:

- Винт должен иметь малый вес и высокую прочность;
- Должен обладать весовой, геометрической и аэродинамической симметрией;
- Должен развивать необходимую тягу;
- Должен работать с наибольшим коэффициентом полезного действия;
- Должен выпускаться промышленностью.

Система питания электродвигателей должна обеспечивать энергией всю электрическую систему подъемного устройства. Она состоит из аккумуляторов, соединенных между собой по параллельно-последовательной схеме. К аккумуляторным батареям предъявляются требования:

- Должны иметь большую плотность энергии на единицу объема массы;
- Обладать низким саморазрядом;
- Быть достаточно емкими;
- Обладать оптимальным уровнем токоотдачи;
- Иметь малый вес и небольшие габаритные размеры;

Регуляторы оборотов электродвигателей (ESC) предназначены для передачи энергии постоянного тока от аккумулятора к трехфазному бесколлекторному мотору, тем самым регулируя его частоту вращения. Современный ESC должен:

- Автоматически определять величину напряжения силовой батареи;
- Иметь защиту от перегрузки по току;
- Иметь защиту от запуска при механически заблокированном двигателе;
- Автоматически подстраиваться под количество полюсов конкретного двигателя;

- иметь защиту от срыва синхронизации фазы.

Полётный контроллер предназначен для управления полётом транспортного средства. Полётный контроллер должен:

- Посылать управляющие сигналы на регуляторы оборотов;
- Стабилизировать автомобиль в воздухе;
- Удерживать высоту полёта.

### 3.2. Определение подъемной силы винта. Определение диаметра, частоты вращения и мощности винта

Подъемная сила всех винтомоторных групп должна быть равна массе автомобиля в статическом режиме полета (3.1) и быть больше для динамического режима полёта (3.2):

$$T = ma * g, \text{Н}, \quad (3.1)$$

где  $ma$  – полная масса автомобиля;

$g$  – ускорение свободного падения.

$$T > ma * g, \text{Н}; \quad (3.2)$$

$$T = ma * g = 820 * 9,81 = 8044,2 \text{ Н}.$$

Чтобы узнать сколько силы тяги должен создавать 1 винт воспользуемся следующим выражением:

$$T1 = \frac{T}{m}, \text{Н} \quad (3.3)$$

где  $m$  – количество винтов

Учитывая, что мы применяем соосную схему расположения винтов, при которой сила тяги винтов нижнего ряда будет меньше силы тяги винтов верхнего ряда примерно на 10-15%, получаем:

$$T_1 = \frac{8044,2}{8+(8*0,85)} = \frac{8044,2}{14,8} = 543,52 \text{ Н.}$$

Тяга воздушного винта находится по формуле:

$$T = \alpha \rho n^2 D^4, \text{ Н,} \quad (3.4)$$

где  $\alpha$  – коэффициент тяги винта, учитывающий форму лопасти в плане, форму профиля и угла атаки (определяется экспериментально);

$\rho$  – плотность воздуха (при 20 °С  $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$ );

$n$  – частота вращения винта,  $\text{с}^{-1}$ ;

$D$  – диаметр винта, м;

Мощность винта - это мощность, затрачиваемая на его вращение, находится по формуле:

$$N = \beta \rho n^3 D^5, \text{ Вт,} \quad (3.5)$$

где  $\beta$  – коэффициент мощности вета, находится экспериментально.

Возьмем для подъемного устройства воздушный винт G40x13.1CF фирмы T-Motor (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 - Винт G40x13.1CF

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		57

Винт имеет следующие технические характеристики:

- Диаметр: 1,016 м;
- Шаг: 0,33 м;
- Вес: 237 г;
- Рабочая температура: от -40 °С до 65 °С;
- Материал: CF (Carbon Fiber) +Ероху– углеродное волокно+ эпоксидная смола;

Взглянем на данные, получившиеся при совместном использовании винта G40x13.1CF и электродвигателя T-Motor U15<sup>II</sup> KV100 при загрузке 85% (табл. 3.1):

Таблица 3.1 – Данные нагрузочного тестирования

Load Testing Data										
Ambient Temperature			20°C		Voltage			DC Power Supplier		
Item No.	Voltage (V)	Prop	Throttle	Current (A)	Power (W)	Thrust (G)	RPM	Efficiency (G/W)	Torque (N*m)	Operating Temperature (°C)
U15 <sup>II</sup> KV100	60	T-MOTOR G36x11.5CF	50%	27.6	1656	12000	2595	7.25	5.1	97
			55%	40.2	2412	15300	2933	6.34	6.6	
			60%	51.3	3078	18300	3160	5.95	7.9	
			65%	62	3720	20700	3345	5.56	9	
			75%	86.1	5166	25600	3700	4.96	11.4	
			85%	115.1	6906	30400	3985	4.40	13.9	
			100%	165.7	9942	37000	4328	3.72	17	
	50	T-MOTOR G40x13.1CF	50%	31.3	1565	12800	2141	8.18	6.1	112
			55%	43	2150	15500	2370	7.21	7.6	
			60%	52.6	2630	17800	2515	6.77	8.6	
			65%	60.3	3015	20300	2628	6.73	9.6	
			75%	92.9	4645	25300	2986	5.45	12.2	
			85%	122.3	6115	29800	3198	4.87	14.7	
			100%	171	8550	35500	3473	4.15	17.8	

$$T = 29800 \text{ г} = 292,34 \text{ Н};$$

$$n = 3198 \text{ об/мин} = 53,3 \text{ с}^{-1}$$

$$N = 6115 \text{ Вт};$$

Применяя формулы (3.4) и (3.5) найдем коэффициенты  $\alpha$  и  $\beta$  при нагрузке 85% для выбранного винта:

$$\alpha = \frac{T}{\rho n^2 D^4} = \frac{292,34}{1,2 * 2840,89 * 1,0655} = 0,08;$$

$$\beta = \frac{N}{\rho n^3 D^5} = \frac{6115}{1,2 * 151419,44 * 1,0826} = 0,031.$$

Используя найденные значения коэффициентов подставим их в выражения (3.4) и (3.5) для нахождения значений необходимой для режима висения частоты вращения и затрачиваемой мощности:

$$n1 = \sqrt{\frac{T1}{\alpha \rho D^4}} = \sqrt{\frac{543,52}{0,08 * 1,2 * 1,0655}} = 72,89 \text{ с}^{-1} = 4373,7 \text{ об/мин};$$

$$N1 = \beta \rho n^3 D^5 = 0,031 * 1,2 * 387334,5 * 1,0826 = 15599 \text{ Вт};$$

### 3.3. Выбор электродвигателя для привода винта

Для привода винта мы выберем трёхфазный бесколлекторный электродвигатель постоянного тока. Электрический бесколлекторный двигатель имеет много достоинств, а именно:

- Срок службы значительно дольше, чем у обычных коллекторных аналогов;
- Высокий КПД;
- Быстрый набор максимальной скорости вращения;
- Обладает большей мощностью, чем коллекторный двигатель;
- Отсутствие искр при работе позволяет использовать привод в пожароопасных условиях;
- Не требуется дополнительное охлаждение;
- Простая эксплуатация.

Существенный недостаток, который ограничивает использование бесколлекторного двигателя – их относительно высокая стоимость и невозможность использования без регулятора оборотов (ESC).

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.м.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		59

Необходимым условием выбора двигателя является его мощность. В нашем случае будет справедливо:

$$N_{\text{дв}} > N,$$

где  $N_{\text{дв}}$  - номинальная мощность двигателя, Вт;

$N$  – мощность, затрачиваемая на вращение винта, Вт;

В результате поиска был выбран двигатель фирмы DC motor MP 120100 KV80 (рис. 3.2, 3.3), имеющий следующие технические характеристики:

- KV (оборот на вольт): 80;
- Максимальная мощность: 25 кВт;
- Максимальная частота вращения: 7200 об/мин;
- Эффективность: 90%;
- Максимальный ток: 300 А;
- Максимальное напряжение: 100 В;
- Ток холостого хода: 6 А;
- Вес: 3,8 кг;
- Диаметр вала: 12 мм;
- ESC: 350/ 400А;
- Имеет датчик Холла.



Рисунок 3.2 – Двигатель MP Power 12090/KV130

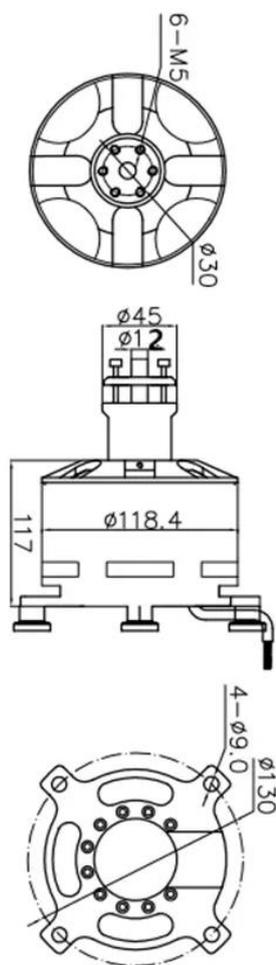


Рисунок 3.3 – Размеры двигателя

### 3.4. Выбор регулятора скоростей электродвигателя

Использование данного двигателя без ESC (Electric speed controller - Электронный контроллер скорости) не представляется возможным. Задача контроллера состоит в том, чтобы передать энергию постоянного тока от аккумулятора к трехфазному бесколлекторному мотору. Критериями выбора контроллера служит максимально допустимый рабочий ток, и диапазон рабочих напряжений.

Принцип работы ESC: на вход подается напряжение с аккумулятора и сигналы от полетного контроллера, на выходе из регулятора подается управляющее напряжение для привода.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		61

К этому двигателю подойдет регулятор оборотов марки FLIER, модели 380A 2-22S (рис. 3.4), имеющий следующие технические характеристики:

- Рабочее напряжение: 2-22 S (макс. 81,4 В);
- Максимальный ток: 380 А;
- Наличие программируемых характеристик;
- Размер: 155\*65\*40 мм;
- Вес 462 г;



Рисунок 3.4 - ESC 380A 2-22S

Схема подключения ESC представлена на рисунке 3.5.

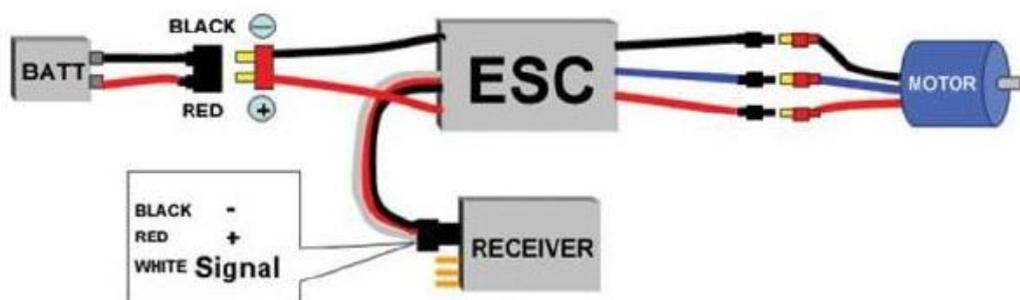


Рисунок 3.5 – Схема подключения ESC

Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

62

### 3.5. Расчет системы питания электродвигателей

Аккумуляторная батарея является источником питания всей электрической системы подъемного устройства, от нее зависит продолжительность полета и способность двигателя выдавать необходимую мощность.

В качестве источника питания мы выберем LiPo-аккумулятор (литий-полимерный, Li-Po, Li-Pol или Li-polymer) - один из типов литиевых аккумуляторов. Более совершенная конструкция литий-ионного аккумулятора. В качестве электролита используется полимерный материал с включениями гелеобразного литий-проводящего наполнителя.

Выберем имеющийся аккумулятор наибольшей емкости. Им будет являться аккумулятор Multistar High Capacity 6S 20000mAh Multi-Rotor Lipo Pack (рис. 3.6), имеющий следующие технические характеристики:

- Ёмкость: 20000 мА\*ч;
- Количество банок: 6 S
- Максимальный ток разряда: 10 С
- Максимальный ток заряда: 2 С
- Масса: 2405 г
- Габариты: 200\*90\*60 мм;



Рисунок 3.6 – АКБ Multistar High Capacity

Параметр S - это сокращение от serial или sequential - последовательное соединение элементов. Li-Po-аккумуляторы состоят из одной или нескольких элементов («банок»). Каждая банка имеет номинальное напряжение 3,7В, которые соединены последовательно. Таким образом, один аккумулятор имеет напряжение 22,2 В.

Важной характеристикой LiPo-аккумуляторов является максимальный разрядный ток (токоотдача), то есть способность обеспечивать в нагрузочной цепи некий максимальный разрядный ток. Токоотдача измеряется в единицах C, и вычисляется как отношение допустимого разрядного тока к эквивалентной ёмкости аккумулятора (заряду в ампер-часах).

Для достижения высокого напряжения и емкости соединяем батареи по параллельно-последовательной схеме.

Номинальное напряжение блока батарей выражается по формуле:

$$V_{bank} = V_{bat} * N_s, В, \quad (3.6)$$

где  $V_{bat}$  – номинальное напряжение батареи, В

$N_s$  - количество батарей в одной из нескольких групп последовательно соединенных батарей;

$$V_{bank} = 22,2 * 3 = 66,6 В.$$

Максимальный потребляемый ток электродвигателем составляет  $I = 300$  А, следовательно, суммарное максимальное потребление тока электродвигателями составит:  $I_{max} = 4800$  А.

Ток, отдаваемый в нагрузку одной батареей:

$$I_{bat} = C_{rate} * C_{bat}, А, \quad (3.7)$$

где  $C_{rate}$  - относительная скорость разряда батареи;

$C_{bat}$  - номинальная емкость батареи, А\*ч;

$$I_{bat} = 10 * 20 = 200 А.$$

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	Лист
						64
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

Количество соединенных параллельно групп с последовательным соединением:

$$n = \frac{I_{max}}{I_{bat}}, \text{ шт}; \quad (3.8)$$

$$n = \frac{4800}{200} = 24 \text{ шт.}$$

Таким образом, количество батарей в группе с последовательным соединением 3, количество соединенных параллельно групп с последовательным соединением 24. Рассчитаем необходимые параметры блока аккумуляторных батарей:

Емкость блока батарей в ампер-часах определяется по формуле:

$$C_{bank} = C_{bat} * N_p, \text{ А * ч}, \quad (3.9)$$

где  $N_p$  - количество групп соединенных последовательно батарей, соединенных параллельно;

$$C_{bank} = 20 * 24 = 480 \text{ А * ч.}$$

Номинальная запасаемая в батарее энергия в ватт-часах рассчитывается по формуле:

$$E_{bat} = V_{bat} * C_{bat}, \text{ Вт * ч}, \quad (3.10)$$

$$E_{bat} = 22,2 * 20 = 444 \text{ Вт * ч.}$$

Номинальная энергия блока батарей в ватт-часах выражается таким образом:

$$E_{bank} = E_{bat} * N_p * N_s, \text{ Вт * ч}, \quad (3.11)$$

$$E_{bank} = 444 * 24 * 3 = 31,968 \text{ кВт * ч.}$$

Энергия в джоулях рассчитывается следующим образом:

$$E_{bank, joules} = 3600 * E_{bank}, \text{ Дж}, \quad (3.12)$$

$$E_{bank, joules} = 3600 * 31,968 = 115 \text{ МДж.}$$

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		65

Ток разряда блока батарей рассчитывается по формуле:

$$I_{bank} = I_{bat} * N_p, A, \quad (3.13)$$

$$I_{bank} = 200 * 24 = 4800 A.$$

Время работы одной батареи:

$$t_{bat} = \frac{1}{C_{rate}}, \text{ ч}; \quad (3.14)$$

$$t_{bat} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ ч.}$$

Время работы блока батарей:

$$t_{bank} = t_{bat} * N_p, \text{ ч}, \quad (3.15)$$

$$t_{bank} = 0,1 * 24 = 2,4 \text{ ч.}$$

Отметим, что это теоретическое время работы. В связи с разнообразными внешними факторами, реальное время работы будет примерно на 30% меньше рассчитанного по этой формуле. Следует также учесть, что допустимая глубина разряда батареи еще больше ограничивает время ее работы.

Примерное реальное время работы:

$$tr = t_{bank} - (t_{bank} * 0,3), \text{ ч}; \quad (3.16)$$

$$tr = 2,4 - (2,4 * 0,3) = 1,68 \text{ ч} = 100,8 \text{ мин.}$$

### **3.6. Расчет максимальной тяги и потребляемой мощности подъемного устройства**

Максимальная развиваемая тяга зависит прежде всего от мощности двигателя. Максимальная мощность двигателя ограничена максимальным

потребляемым током и напряжением. Найдем максимальную мощность двигателя:

$$N_{max} = V_{bank} * I; \quad (3.17)$$

$$N_{max} = 66,6 * 300 = 19980 \text{ Вт.}$$

Применяя уже известные формулы (3.4) и (3.5), и значение максимальной мощности двигателя мы найдем максимальную частоту вращения и максимальную тягу.

$$n = \sqrt[3]{\frac{19980}{0,031 * 1,2 * 1,0826}} = 79,16 \text{ с}^{-1} = 4750 \text{ об/мин};$$

$$T = 0,08 * 1,2 * 6266,95 * 1,0655 = 641 \text{ Н} = 65,3 \text{ кг.}$$

Умножаем на количество винтов (с учётом потерь) и получаем:

$$T_{max} = 65,3 * 14,8 = 967 \text{ кг.}$$

Таким образом, запас тяги равен 147 кг, что положительно скажется на его динамических и скоростных свойствах в полёте.

### 3.7. Выбор полётного контроллера

Одним из самых основных компонентов управления является полетный контроллер. Он является связующим элементом между всеми компонентами ответственными за полёт. Он отвечает за координацию, стабилизацию и управление. За счет управления газом контроллер управляет углами крена, тангажа и рысканья. Контроллер оснащен набором миниатюрных интегральных сенсоров, непрерывно отслеживающих положение объекта. Контроллер выполняет задачи:

- собирает информацию с датчиков. Они бывают встроенными, либо внешними: гироскопы, акселерометры, барометр;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		67

- рассчитывает свое положение в пространстве, по показаниям датчиков;
- собирает информацию о внешних воздействиях, таких как отклонения рычагов пилотом, алгоритм программы;
- отправляет управляющие сигналы на регуляторы оборотов (ESC).

Примем полётный контроллер фирмы AutoQuad модели AQ M4 (рис. 3.7). Данный контроллер годен для создания как миниатюрных квадрокоптерных систем, использующих традиционную схему с 4 винтами, так и для создания тяжелых мультикоптеров, применяющих для своего подъема 16 винтомоторных групп. с помощью специальных плат расширения

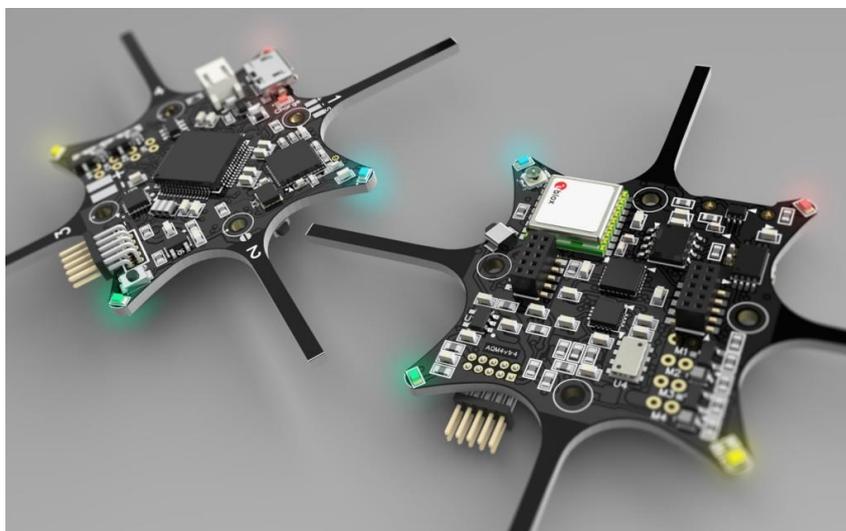


Рисунок 3.7 - AutoQuad M4

AutoQuad M4 предоставляется с программным обеспечением QGround Control, в котором можно производить калибровку различных систем, например, инерционно измерительного устройства, состоящего из гироскопа и акселерометра, для улучшения стабильности и управляемости.

В программном обеспечении также подбирается конфигурация мультикоптерной системы: количество двигателей и их отношение друг к другу в пространстве. Это необходимо для изменения вычислительных алгоритмов контроллера. Но использование контроллера более чем с 4 винтами возможно только с применением дополнительных плат расширения, которые беспрепятственно подключаются к основной плате.

### 3.8. Система управления полётом

Полёт осуществляется следующим образом: 8 из 16 винтов вращаются по часовой стрелке, а 8 других — в противоположном направлении. (рис. 3.8) За счет этой особенности автолёт использует осевое вращение влево/вправо, путем увеличения скорости одних двигателей и снижением скорости других. Горизонтальное движение возможно за счет увеличения тяги оборотами. Ускорение достигается при помощи двигателей. Показатели увеличиваются на одной из сторон и снижаются на противоположной. За счет этого происходит наклон автолёта в необходимом направлении. После этого баланс тяги восстанавливается. Угол наклона устанавливается скоростью движения. Компенсация порывов ветра осуществляется автоматическим наклоном в соответствующую направлению сторону. Условная схема управления представлена на рисунке 3.9.

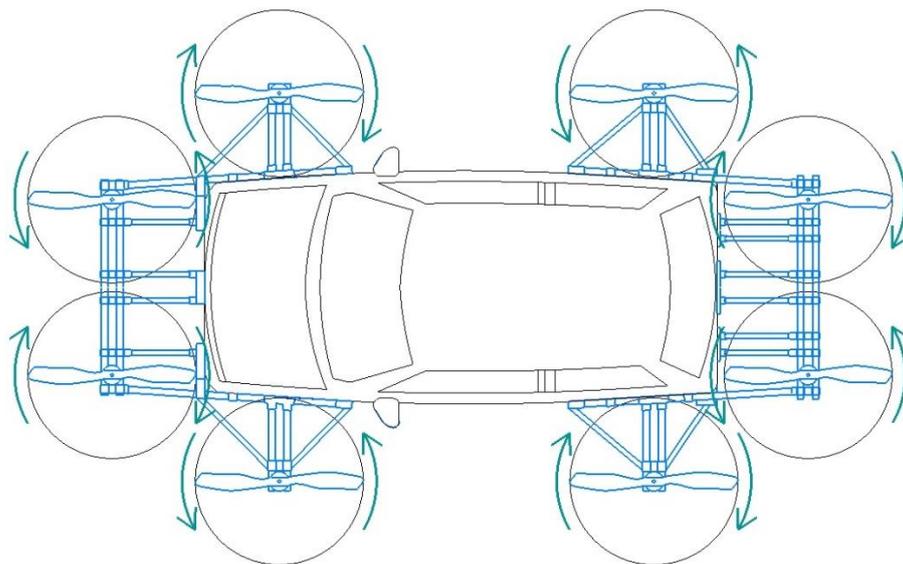


Рисунок 3.8 – Направления вращения винтов

Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

69

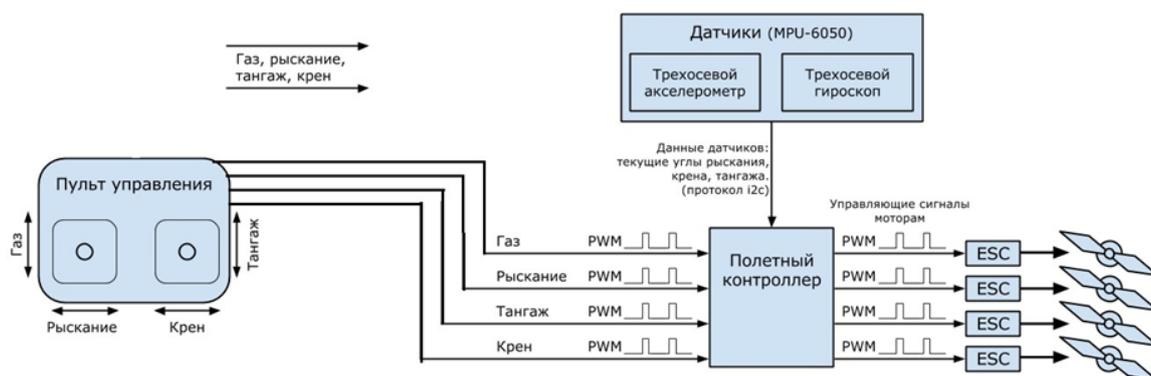


Рисунок 3.9 – Условная схема управления полётом

В нашем случае совокупность двух рычагов управления, расположенных возле сидения водителя-пилота, будет являться пультом управления полётом.

Движение вверх левым рычагом отвечает за увеличение оборотов электродвигателей (автомобиль взлетает); движение вниз – торможение и снижение автолёта. Наклон рычага влево поворачивает автолёт против часовой стрелки, наклон вправо – по часовой стрелке.

Движение вверх правым рычагом отвечает за наклон автолёта назад, движение вниз – за наклон вперед. Отклонение рычага влево осуществляет наклон влево, отклонение рычага вправо производит наклон вправо.

Полётный контроллер программируется и имеет несколько режимов координации полёта, при которых активирована бортовая электроника контроля стабилизации и доступна функция удержания высоты за счет датчика-барометра. В этом режиме автолёт держится в воздухе, даже если отпустить рычаг управления на пульте. Автомобиль просто зависнет. Водителю - пилоту остается только регулировать его горизонтальное смещение.

### 3.9. Несущий каркас

#### 3.9.1. Предлагаемая конструкция несущей рамы

Предлагаемая конструкция представлена на рисунках 3.10, 3.11, 3.12. Она состоит из сваренных между собой труб, крепящихся к днищу автомобиля и к боковым сторонам кузова с помощью специальных крепежных элементов.

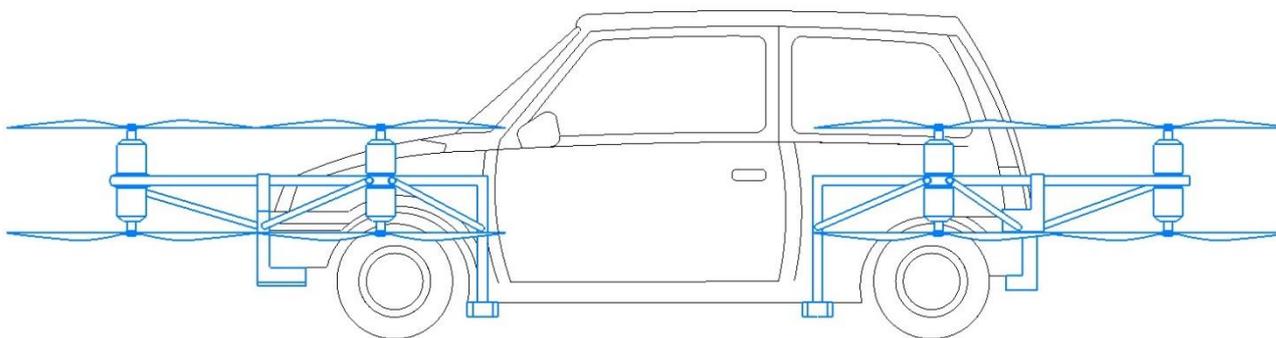


Рисунок 3.10 – Вид сбоку

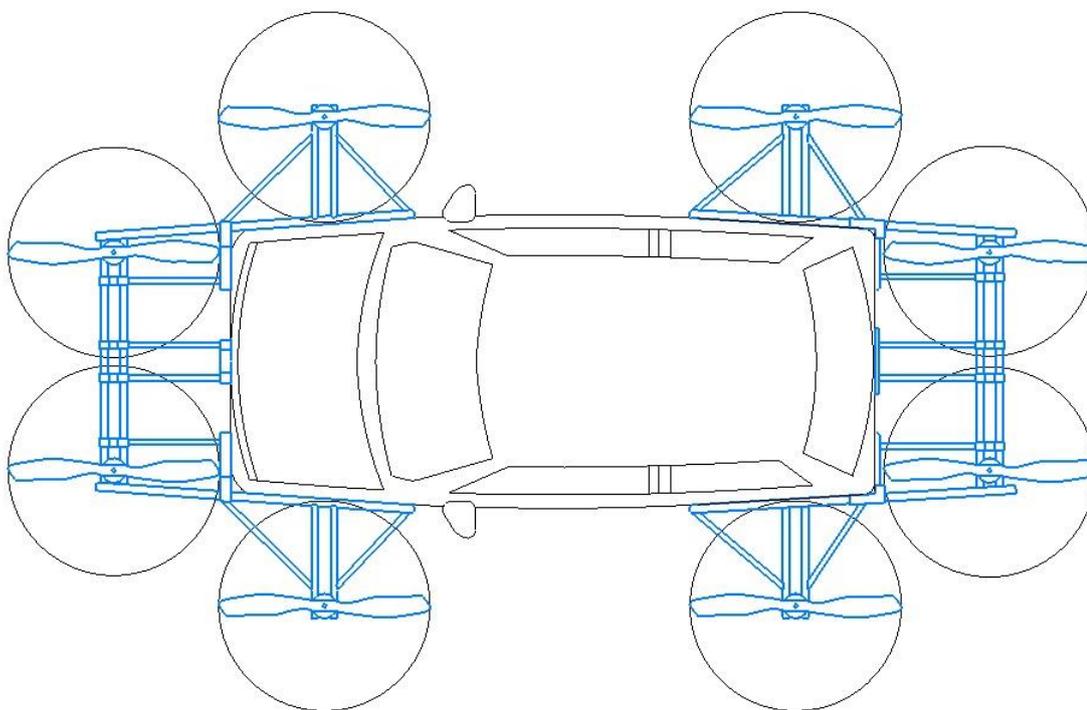


Рисунок 3.11 – Вид сверху

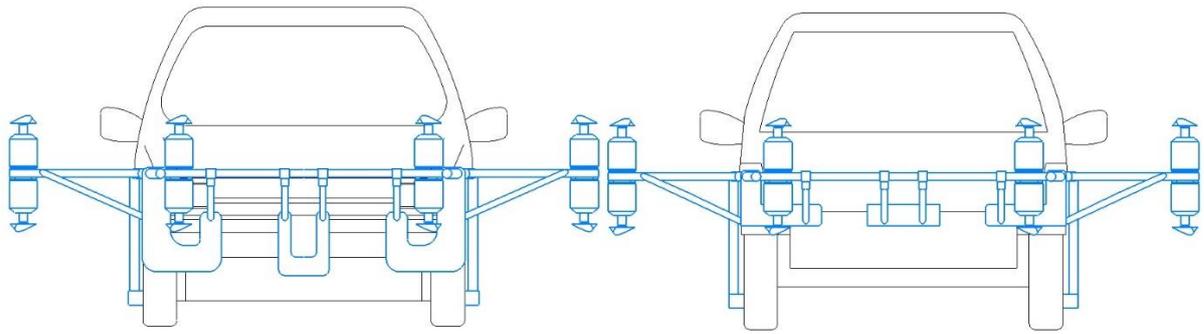


Рисунок 3.12 – Вид спереди (слева), сзади (справа)

### 3.9.2. Выбор материала несущего каркаса

Материалом несущего каркаса будет служить алюминиевый сплав 6061 в закаленном и искусственном состаренном состоянии (6061-T6). Алюминиевый сплав 6061 – полный аналог отечественного сплава АД33 по ГОСТ 4784-97 – принадлежит к серии алюминиевых сплавов бxxx (Al-Mg-Si). Сплав 6061-T6 является аналогом сплава АД33Т1. Сплав является деформируемым, термически упрочняемым, обладает хорошей коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью, технологичностью. Эти сплавы подвергаются цветному анодированию, эматалированию, эмалированию. В горячем состоянии из них производят профили, заготовки и полуфабрикаты сложной формы.

Химический состав сплава по EN 573-2 (табл. 3.2)

Таблица 3.2 - Химический состав сплава

**Химический состав сплава 6061 по EN 573-3**

Массовая доля элементов, %									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Прочие элементы	
								Каждый	Сумма
0,40-0,8	0,7	0,15-0,40	0,15	0,8-1,2	0,04-0,35	0,25	0,15	0,05	0,15

#### Типичное применение

- рамы велосипедов
- грузовые автомобили

- пассажирские вагоны
- спортивные снаряды
- конструкционные трубы
- конструкционные детали, которые требуют повышенную прочность, хорошую свариваемость и высокую коррозионная стойкость
- детали рамы, направляющих сидений, бамперы пассажирских автомобилей

Механические свойства представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Механические свойства сплавов

Страна	Состояние	Система сплавов	Марка сплавов и состояние поставки	Механические свойства		
				$\sigma_u$ , МПа	$\sigma_{0,2}$ , МПа	$\delta$ , %
США	Термически не упрочняемые	Al–Mg	5083M	320–350	220–230	18
			5056M	350–400	280–340	15–20
			5456M	295–325	–	–
	Термически упрочняемые	Al–Mg–Si	6061–T4	246	147	25
			6061–T6	316	280	17
			6062–T4	246	147	25
			6062–T6	316	280	17
			6063–T4	176	91	22
			6063–T6	246	218	12
			2014–T4	436	295	20
	Al–Cu–Mg	2014–T6	492	422	13	

$\sigma_u$  – предел прочности;  $\sigma_{0,2}$  – условный предел текучести;  $\delta$  – относительное удлинение; T4 – закаленное и естественно состаренное состояние; T6 – закаленное и искусственно состаренное состояние.

- Твердость в состоянии T6 составляет 95 НВ;
- Модуль упругости при растяжении 68900 МПа, при сжатии 69700 МПа;
- Плотность 2,70 г/см<sup>3</sup> при 20 °С

### Свариваемость

Хорошо сваривается дуговой сваркой в среде инертного газа, в частности, аргонно-дуговой сваркой, как неплавящимся электродом (GTAW-TIG), так и плавящимся электродом (GMWA-MIG). Обычный сварочный

сплав – 4043. Прочность сварных соединений равна  $0,6—0,7\sigma_b$  основного материала. Последующие закалка и старение повышают прочность до  $0,9—0,95\sigma_b$  основного материала.

Повышенная пластичность этого сплава позволяет изготавливать трубы сложного профиля и переменной толщины стенки. Пластичность, возможность термоупрочнения, коррозионная стойкость и хорошая свариваемость делают сплав 6061 (или АД33) отличным материалом для изготовления несущего каркаса.

В качестве материала для крепёжных элементов, которые применяются для фиксации несущего каркаса к кузову автомобиля, используем алюминиевый сплав АЛ 8.

Материал АЛ 8 является алюминиевым коррозионно-стойким литейным сплавом, применяемым для изготовления фасонных отливок.

Химический состав представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Химический состав в % материала АЛ 8.

Fe	Si	Mn	Ti	Al	Cu	Zr	Be	Mg	Zn	Примесей
до 0.3	до 0.3	до 0.1	до 0.07	89 - 90.5	до 0.1	до 0.2	до 0.07	9.5 - 10	до 0.1	всего 1

Механические свойства представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 - Механические свойства при  $T=20^{\circ}C$  материала АЛ8

Сортамент	$\sigma_b$ , МПа	$\sigma_T$ , МПа	$\sigma_5$ , %	$\Psi$ , %	КСУ, кДж/м <sup>2</sup>	Термообр.
Литье в песчаную форму	320	170	11	-	1000	-

$\sigma_b$  – предел прочности;  $\sigma_T$  - предел пропорциональности (предел текучести для остаточной деформации);  $\sigma_5$  - относительное удлинение при разрыве;  $\Psi$  - относительное сужение; КСУ - ударная вязкость

- Модуль упругости первого рода  $E = 0,7 \cdot 10^5$  МПа;
- Плотность материала  $\rho = 2550$  кг/м<sup>3</sup>;
- Твердость по Бринеллю  $HV = 70$  МПа;
- Линейная усадка равна 1,3 %.

Таким образом, сочетание небольшого веса и высокой прочности получаемых деталей делает этот материал отличным вариантом для применения в наших целях.

### 3.9.3. Расчет на прочность, определение веса и конструктивных размеров несущего каркаса

Одним из ключевых факторов работоспособности является обеспечение необходимой прочности, то есть способности выдерживать нагрузки без разрушения. В данном случае было важно обеспечить прочность конструкции не только в стандартных условиях эксплуатации, но и в условиях непредвиденных ситуаций, наиболее неблагоприятная из которых – перегрузка в результате нагружения чрезмерно большим дополнительным весом и, как следствие, возможная поломка и выход каркаса из строя. Для моделирования такой ситуации было предложено приложить в центре конструкции бесконечную массу. В этом случае, рама не может подняться в воздух и работает на изгиб, по причине чего можно заменить бесконечную массу в центре на заделку. В данной ситуации, получаемые нагрузки на луч будут максимально возможными, поскольку они ограничены тягой на конце луча, в любой реальной ситуации нагрузки будут гораздо меньшими. А значит, при обеспечении прочности каркаса в моделируемой ситуации, автоматически обеспечивается и прочность в любом жизненном применении.

Максимальная развиваемая сила тяги автолёта равна 9486,3 Н. Тогда на каждый из восьми лучей будет действовать нагрузка:

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		75

$$\frac{F}{n} = \frac{9486,3}{8} = 1185,8 \text{ Н}, \quad (3.18)$$

где  $F$  – сила тяги;  $n$  – количество лучей.

Расположение и нумерация рассчитываемых элементов представлена на рисунке 3.13.

Каждый луч каркаса состоит из 2 расположенных горизонтально труб. Допускаем, что нагрузка делится поровну. Следовательно, на каждую трубу будет действовать нагрузка в 592,9 Н.

Рассмотрим схематично трубу луча под номером 1 (рис. 3.14).

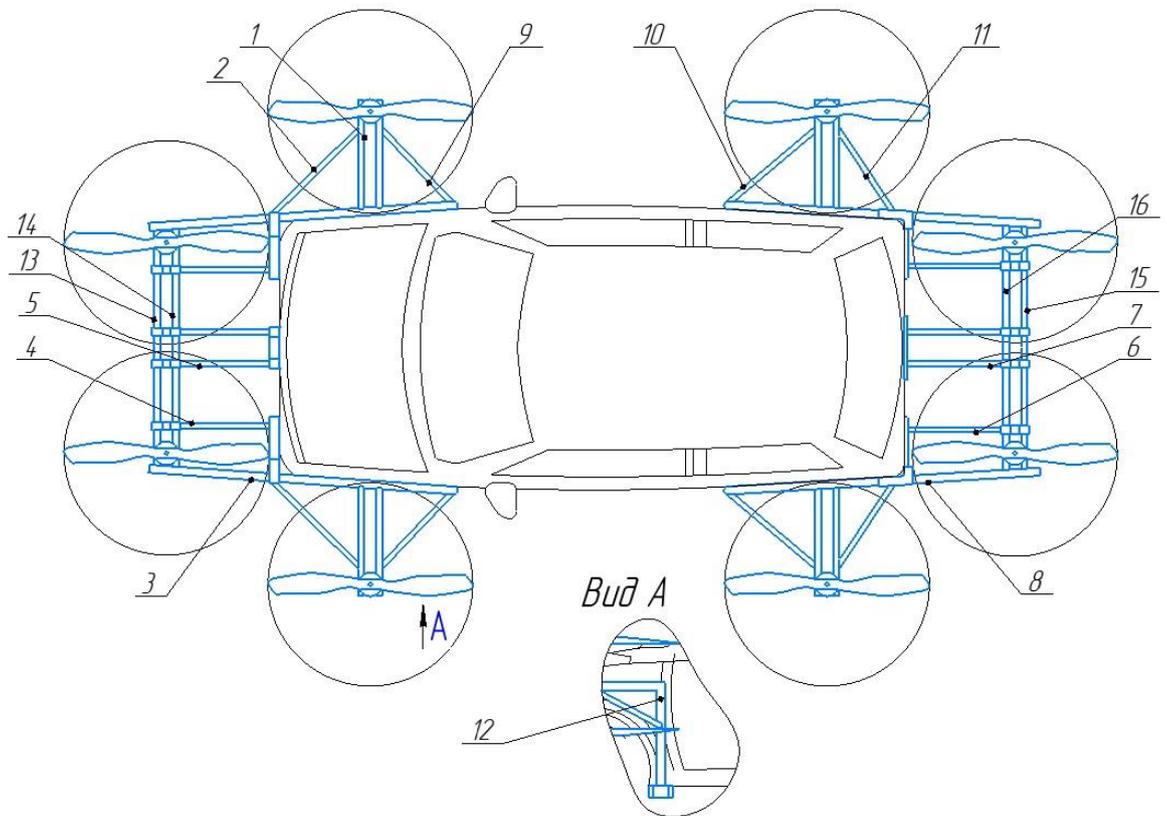


Рисунок 3.13 – Расположение рассчитываемых элементов

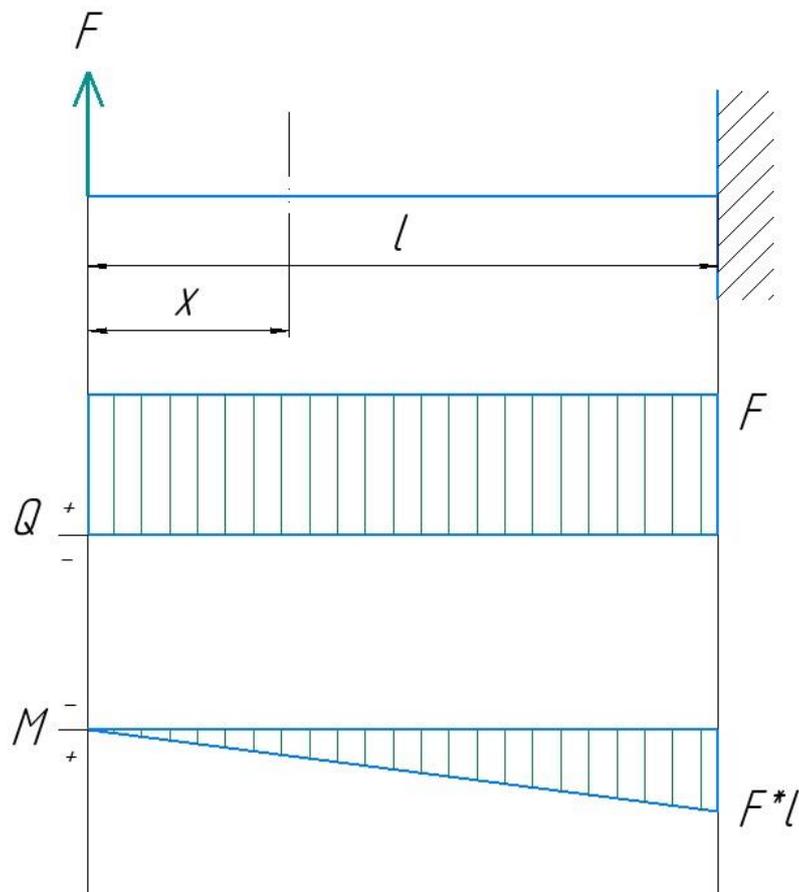


Рисунок 3.14 – Эпюры поперечной силы и изгибающего момента трубы

Исходные данные:  $F = 592,9 \text{ Н}$ ;  $l = 0,54 \text{ м}$ .

Находим поперечную силу:

I участок:  $0 \leq x \leq l$ .

$$\sum y = 0; \quad (3.19)$$

$$F - Q_{(x)} = 0; \quad (3.20)$$

$$Q_{(x)} = F = 592,9 \text{ Н}; \quad (3.21)$$

Находим изгибающий момент:

I участок:  $0 \leq x \leq l$ .

$$\sum M_z = 0; \quad (3.22)$$

$$-F * x + M_{(x)} = 0; \quad (3.23)$$

$$M_{(x)} = F * x; \quad (3.24)$$

$$M_{x=0} = 0; \quad (3.25)$$

$$M_{x=l} = F * l = 592,9 * 0,54 = 326 \text{ Н * м}; \quad (3.26)$$

Условие прочности по нормальным напряжениям имеет вид:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} \leq \sigma_{adm}, \quad (3.27)$$

где  $M$  – наибольший изгибающий момент;  $W_x$  – осевой момент сопротивления при изгибе;  $\sigma_{adm}$  – допускаемое напряжение.

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_u}{n_{adm}}, \quad (3.28)$$

где  $\sigma_u$  – предельное напряжение материала;  $n_{adm}$  – коэффициент запаса прочности.

В качестве предельного напряжения для пластичных материалов принимают предел текучести. Для алюминиевого сплава 6061 – Т6 условный предел текучести равен  $\sigma_{0,2} = 280$  МПа.

Коэффициент запаса прочности вводится для обеспечения безопасной, надежной работы конструкции и отдельных её частей, несмотря на возможные неблагоприятные отклонения действительных условий работы от расчетных.

Коэффициент запаса прочности состоит из частных коэффициентов запаса:

$$n_{adm} = n_1 * n_2 * n_3, \quad (3.29)$$

где  $n_1$  – коэффициент, учитывающий неточность в определении нагрузок и напряжений (при высокой точности расчета 1,2 - 1,5);  $n_2$  – коэффициент, учитывающий неоднородность материала, повышенную чувствительность к недостаткам механической обработки (принимается в

зависимости от отношения предела текучести к пределу прочности по специальным таблицам);  $n_3$ , - коэффициент условий работы, учитывающий степень ответственности деталей (1 - 1,5). Таким образом, коэффициент запаса прочности равен:

$$n_{adm} = 1,5 * 0,85 * 1,25 = 1,6.$$

Тогда допускаемое напряжение равно:

$$\sigma_{adm} = \frac{280}{1,6} = 175 \text{ МПа.}$$

Осевой момент сопротивления является геометрической характеристикой поперечного сечения балки, определяющей ее прочность при изгибе. Для кольца  $W_x$  имеет вид:

$$W_x = 0,1D^3(1 - c^4), \quad (3.30)$$

где  $D$  – внешний диаметр кольца;  $c = d/D$ .

Примем трубу с диаметрами  $d = 25$  мм;  $D = 32$  мм по ГОСТ 18475-82. Трубы холоднодеформированные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия [2].

$$c = \frac{0,025}{0,032} = 0,78 \quad (3.31)$$

Тогда осевой момент сопротивления равен:

$$W_x = 0,1 * 0,032^3(1 - 0,78^4) = 2,0 * 10^{-6} \text{ м}^3.$$

Подставляем полученные значения в (3.27).

$$\sigma = \frac{326}{2 * 10^{-6}} = 163 \leq 175 \text{ МПа;}$$

Условие прочности по нормальным напряжениям выполнено.

Наличие поперечной силы связано с возникновением касательных напряжений в поперечных сечениях балки, а по закону парности касательных

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		79

напряжений – и в её продольных сечениях. По мере укорочения длины балки роль нормальных напряжений снижается, а касательных, напротив, увеличивается, поэтому необходимо проверить балку на прочность по касательным напряжениям.

Условие прочности по касательным напряжениям имеет вид:

$$\tau_{max} \leq \tau_{adm}, \quad (3.32)$$

где  $\tau_{max}$  - наибольшее касательное напряжение;  $\tau_{adm}$  – допустимое касательное напряжение.

$$\tau_{adm} = 0,6\sigma_{adm}; \quad (3.33)$$

$$\tau_{adm} = 0,6 * 175 = 105 \text{ МПа.}$$

Для кольцевого сечения  $\tau_{max}$  имеет вид:

$$\tau_{max} = \frac{2Q}{A}, \quad (3.34)$$

где  $A$  – площадь сечения.

$$A = \pi(R^2 - r^2); \quad (3.35)$$

$$A = 3,14(0,016^2 - 0,0125^2) = 0,000313 \text{ м}^2;$$

Подставляем полученные значения в (3.34):

$$\tau_{max} = \frac{2 * 592,9}{0,000313} = 3,78 \leq 105 \text{ МПа};$$

Условие прочности по касательным напряжениям выполнено.

Под действием нагрузки балка искривляется. Прогиб балки вычисляется по формуле:

$$v_B = \frac{Fl^3}{3EI}, \quad (3.36)$$

где  $I$  – осевой момент инерции сечения;  $E$  – модуль продольной упругости ( $E = 68900 \text{ МПа}$ ).

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	Лист
						80
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		

$$I_{x0} = I_{y0} = 0,05D^4(1 - c^4); \quad (3.37)$$

$$I_{x0} = I_{y0} = 0,05 * 0,032^4(1 - 0,78^4) = 3,3 * 10^{-8} \text{ м}^4;$$

Прогиб балки будет равняться:

$$v_B = \frac{592,9 * 0,55^3}{3 * 68900 * 10^6 * 3,3 * 10^{-8}} = 0,014 \text{ м} = 14 \text{ мм.}$$

Для устранения прогиба и усиления конструкции установим подкос (элемент №2, см. рис. 3.13) (рис. 3.15).

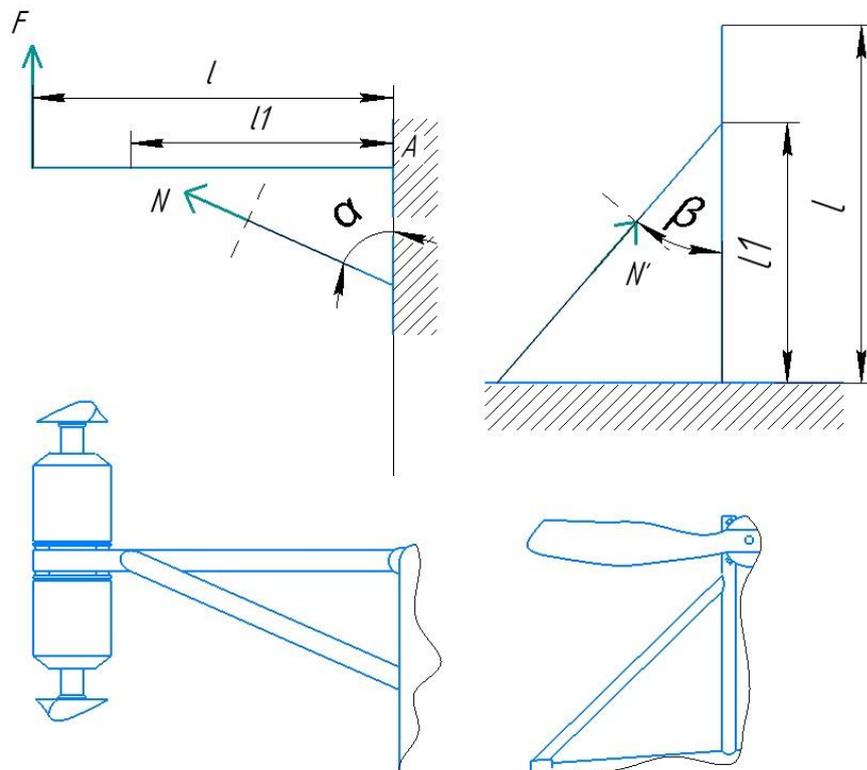


Рисунок 3.15 - Расчетная схема

Исходные данные:  $F = 592,9 \text{ Н}$ ;  $l = 0,54 \text{ м}$ ;  $l1 = 0,4 \text{ м}$ ;  $\alpha = 65^\circ$ ;  $\beta = 45^\circ$ .

Для нахождения продольной силы  $N$  составим уравнение крутящих моментов:

$$\sum M_a = 0; \quad (3.38)$$

$$-F * l + N * \cos 65 * l1 = 0; \quad (3.39)$$

$$N * 0,168 = 320,16;$$

Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

81

$$N = 1905,75 \text{ Н};$$

$$N' = \frac{N}{\cos 45}; \quad (3.40)$$

$$N' = \frac{1905,75}{0,7} = 2722,5 \text{ Н.}$$

Усилие в данном стержне растягивающее.

Примем для данного подкоса трубу длиной 674 мм с диаметрами  $D = 26$  мм,  $d = 22$  мм.

Для определения напряжений воспользуемся формулой:

$$\sigma = \frac{N'}{A}. \quad (3.41)$$

По формуле (3.35) площадь сечения трубы  $A = 150,7 \text{ мм}^2$ .

$$\sigma = \frac{2722,5}{150,7} = 18 \text{ МПа} \leq 175 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполнено.

Результаты расчетов аналогичных элементов № 9, 10, 11 сведем в таблицу 3.4.

Таблица 3.4 – Результаты расчетов элементов 9, 10, 11.

№	$\sigma_{adm}$ , МПа	$l(l_1)$ , м	$D(d)$ , мм	$N(N')$ , МПа	$\alpha$ , градус	$\beta$ , градус	$\sigma$ , МПа	Длина трубы, мм
9	175	0,54 (0,4)	26 (22)	1778,6 (2432)	63	43	16,1	616
10				1777 (2709,8)	63	49	17,9	640
11				2001 (2385,9)	65	33	15,8	543

Рассмотрим стержень №3 (см. рис. 3.13), крепящийся к кузову автомобиля (рис. 3.16, 3.17).

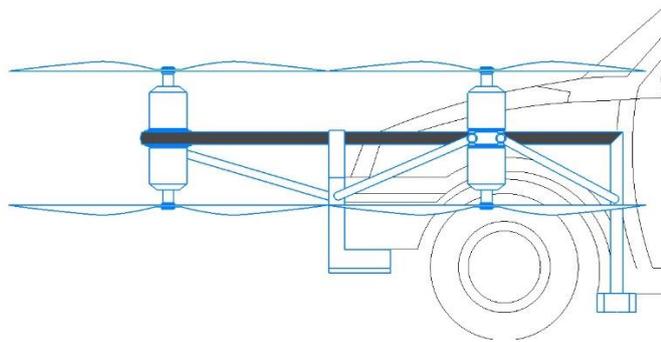


Рисунок 3.16 - Рассматриваемый стержень

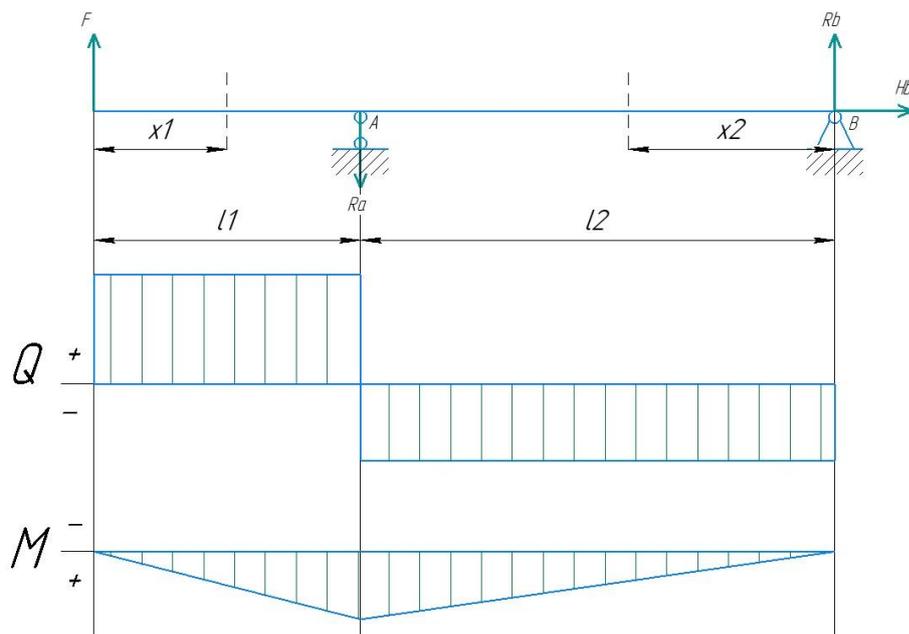


Рисунок 3.17 - Эпюры поперечной сил и изгибающего момента рассматриваемого стержня

Допустим, что нагрузка от двух соосно расположенных двигателей распределится следующим образом: половину нагрузки воспримет рассматриваемый стержень, другую часть нагрузки элементы 4 и 5 (см. рис. 3.13).

Исходные данные:  $l_1=0,62$  м;  $l_2=0,91$  м;  $F = 592,9$  Н.

Для определения реакций  $R_a$  и  $R_b$  составим уравнение статического равновесия балки:

$$\sum M_a = 0; \tag{3.42}$$

$$-F * l1 + Rb * l2 = 0; \quad (3.43)$$

$$-592,9 * 0,62 + Rb * 0,91 = 0;$$

$$Rb = 403,9 \text{ Н.}$$

$$\sum Mb = 0; \quad (3.44)$$

$$-F * (l1 + l2) - Ra * l2 = 0; \quad (3.45)$$

$$-592,9 * (0,62 + 0,91) - Ra * 0,91 = 0;$$

$$Ra = -996,8 \text{ Н.}$$

Находим поперечные силы и изгибающие моменты:

Участок I:  $0 \leq X1 \leq A$ . Рассматриваем левую отсеченную часть.

$$Q_{(x1)} = F = 592,9 \text{ Н} = \text{const}; \quad (3.46)$$

$$M_{(x1)} = F * x1; \quad (3.47)$$

$$M_{(x1=0)} = 0;$$

$$M_{(x1=A)} = F * l1 = 592,9 * 0,62 = 367,6 \text{ Н * м.}$$

Участок II:  $0 \leq X2 \leq A$ . Рассматриваем правую отсеченную часть.

$$Q_{(x2)} = -Rb = -403,9 \text{ Н} = \text{const}; \quad (3.48)$$

$$M_{(x2)} = Rb * x2; \quad (3.49)$$

$$M_{(x2=0)} = 0;$$

$$M_{(x2=A)} = Rb * l2 = 367,6 \text{ Н * м.}$$

Примем трубу с диаметрами  $d = 36 \text{ мм}$ ;  $D = 40 \text{ мм}$ .

$$c = \frac{0,036}{0,04} = 0,9$$

Осевой момент сопротивления по формуле (3.30) равен:

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		84

$$W_x = 0,1 * 0,04^3 (1 - 0,9^4) = 2,24 * 10^{-7} \text{ м}^3.$$

Подставляем полученные значения в (3.27).

$$\sigma = \frac{367,6}{2,24 * 10^{-7}} = 164,1 \leq 175 \text{ МПа};$$

Условие прочности по нормальным напряжениям выполнено.

По формулам (3.34) и (3.35) вычислим максимальные касательные напряжения:

$$\tau_{max} = \frac{2 * 592,9}{238,64} = 4,96 \text{ МПа} \leq 105 \text{ МПа}.$$

Условие прочности по касательным напряжениям выполнено.

Рассматриваемый стержень идентичен элементу № 8, все нагрузки и напряжения одинаковы.

Для принятия оставшейся нагрузки от двигателей и предотвращения прогиба трубы установим два подкоса (элементы 4, 5; см. рис. 3.13) (рис. 3.18).

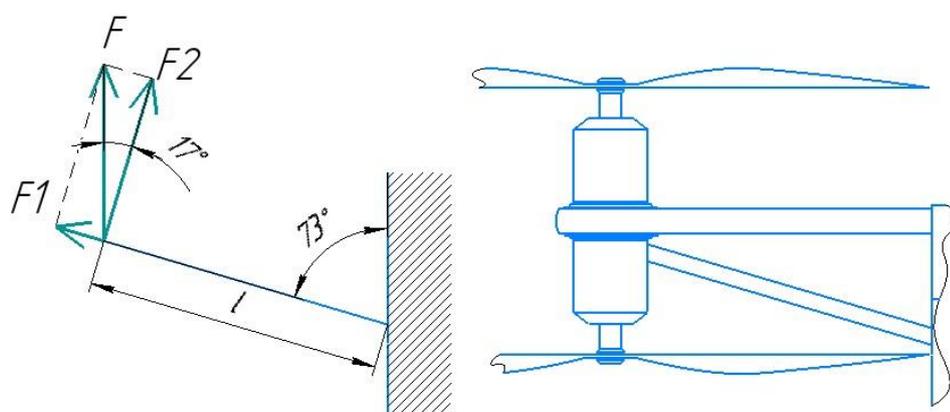


Рисунок 3.18 - Расчетная схема подкоса

Воспринимая часть нагрузки подкос будет испытывать сложное сопротивление, а именно изгиб с растяжением. Для этого случая условие прочности будет иметь следующий вид:

$$\sigma_{max} = \frac{N}{A} + \frac{M}{W_x} \leq \sigma_{adm}. \quad (3.50)$$

Примем для данного подкоса трубу длиной 570 мм с диаметрами  $D = 26$  мм,  $d = 22$  мм. Площадь сечения  $A = 150,7$  мм<sup>2</sup>. Воспринимаемая нагрузка  $F$  равна 296,45 Н.

Напряжение от продольной нагрузки:

$$\sigma = \frac{N}{A} = \frac{F_1}{A} = \frac{F \cdot \cos 73}{150,7} = \frac{296,45 \cdot 0,29}{150,7} = 0,57 \text{ МПа};$$

Осейвой момент сопротивления по формуле (3.30) равен:

$$W_x = 0,1 * 0,026^3 (1 - 0,84^4) = 8,57 * 10^{-7} \text{ м}^3;$$

Изгибающий момент:

$$M = F * \cos 17 * l = 296,45 * 0,95 * 0,57 = 161,6 \text{ Н * м};$$

Напряжение от изгибающего момента:

$$\sigma = \frac{M}{W_x} = \frac{161,6}{8,57 * 10^{-7}} = 18,8 \text{ МПа};$$

Суммарное напряжение:

$$\sigma_{max} = 0,57 + 18,8 = 19,4 \text{ МПа} \leq 175 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполнено.

Элементы № 6, 7 (см. рис. 3.13) также будут воспринимать сложное напряженное состояние (рис. 3.19).

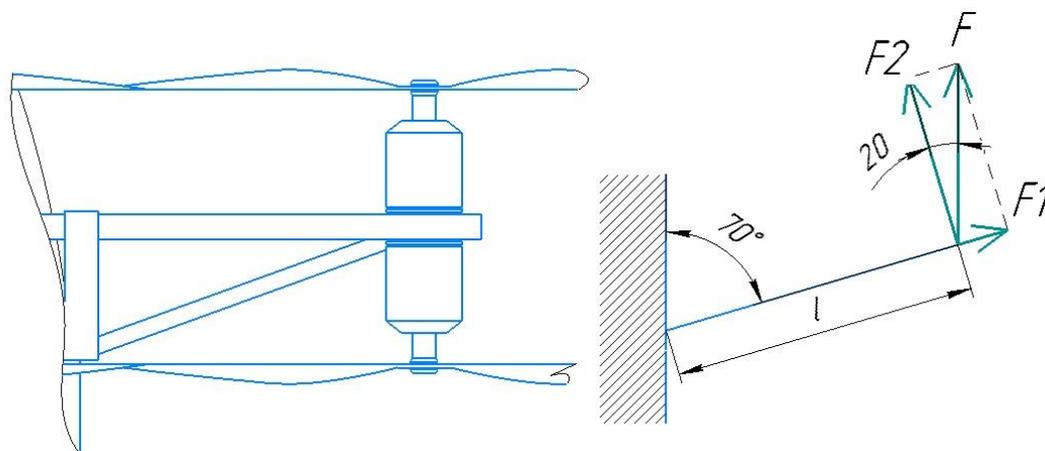


Рисунок 3.19 – Расчетная схема элемента № 6, 7

Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

86

Примем для данного подкоса трубу длиной 550 мм с диаметрами  $D = 26$  мм,  $d = 22$  мм. Площадь сечения  $A = 150,7$  мм<sup>2</sup>. Воспринимаемая нагрузка  $F$  равна 296,45 Н.

Напряжение от продольной нагрузки  $\sigma = 0,67$  МПа;

Изгибающий момент  $M = 153,2$  Н \* м;

Напряжение от изгибающего момента  $\sigma = 17,8$  МПа;

Суммарное напряжение  $\sigma_{max} = 18,47$  МПа, что меньше максимально допустимого напряжения. Условие прочности выполнено.

Проведенный расчет на прочность показал, что при заданных условиях каждый элемент несущего каркаса не будет разрушаться под воздействием внешних сил.

Зная геометрические размеры труб и плотность алюминиевого сплава ( $\rho=2,70$  г/см<sup>3</sup>) найдем вес несущего каркаса без учета крепежных элементов, результаты расчета сведем в таблицу 3.6:

Таблица 3.6 – Результаты расчетов веса труб каркаса

№	п, шт	L, мм	A, мм <sup>2</sup>	m <sub>0</sub> , кг	m <sub>к</sub> , кг
1	8	540	313,21	0,46	3,68
2	2	674	150,7	0,28	0,56
3, 8	4	1530	238,64	0,99	3,96
4, 5	4	570	150,7	0,23	0,92
6, 7	4	550	150,7	0,22	0,88
9	2	616	150,7	0,25	0,5
10	2	640	150,7	0,26	0,52
11	2	543	150,7	0,22	0,44
12	4	570	238,64	0,37	1,48
13	1	1175	188,4	0,60	0,60
14	1	1190	188,4	0,61	0,61

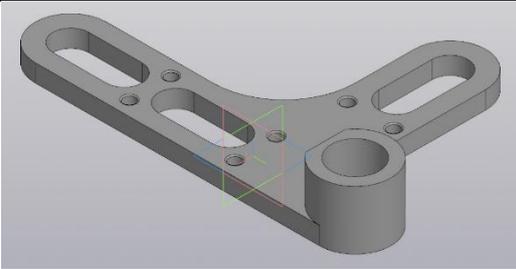
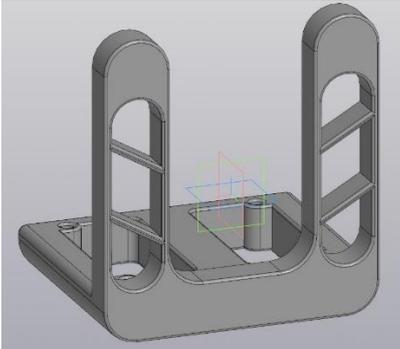
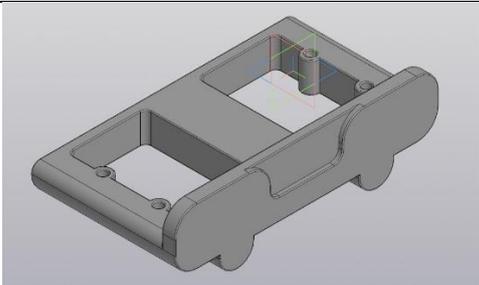
Продолжение таблицы 3.6

15	1	1210	188,4	0,62	0,62
16	1	1220	188,4	0,62	0,62
Итого					15,39

Примечание:  $m_0$  – масса одной трубы;  $m_k$  – масса n-го количества труб

Примерный внешний вид, количество и массовые характеристики крепёжных элементов представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Внешний вид и масса крепёжных элементов

№ элемента	Внешний вид	Кол-во	Масса единицы, кг	Масса n штук, кг
1		4	0,84	3,36
2		1	2,23	2,23
3		1	2,33	2,33

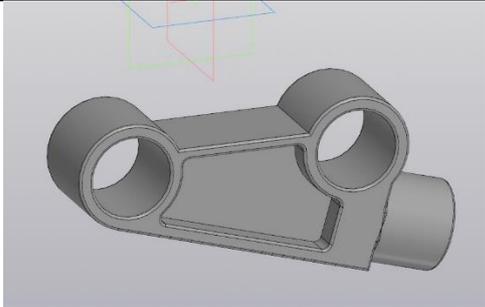
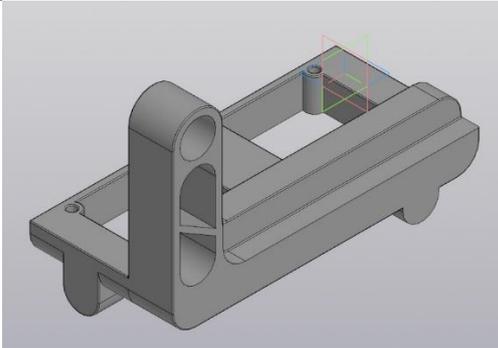
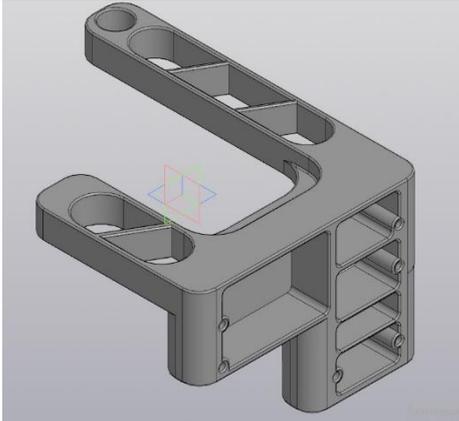
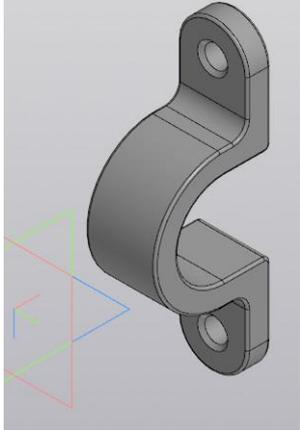
Изм.	Лист	№ док-м.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

88

Продолжение таблицы 3.7

4		8	0,34	2,72
5		2	4,22	8,44
6		2	6,01	12,02
7		12	0,14	1,68
Итого				32,78

Изм.	Лист	№ док.м.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

89

Тогда полный вес несущего каркаса равен:

$$15,39+32,78 = 48,17 \text{ кг}, \quad (3.51)$$

что больше принятой нами массе на 6,17 кг.

### 3.10. Стопорящее устройство

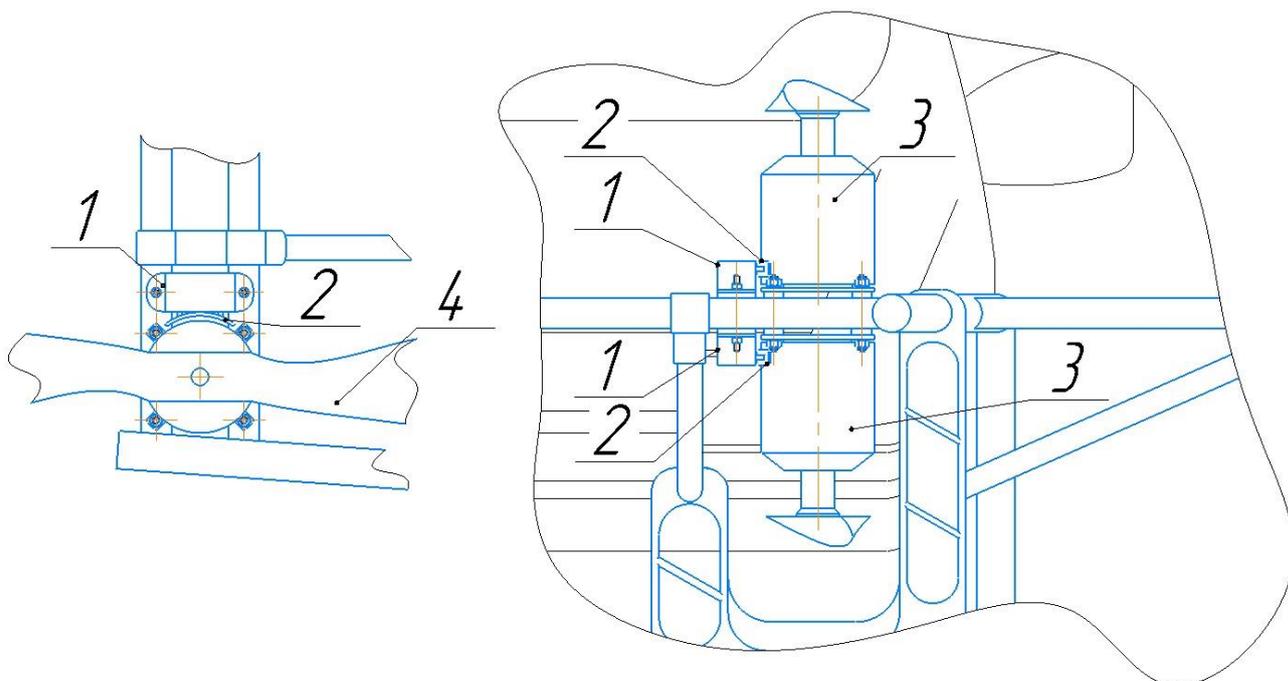
В приложении №3 к Правилам перевозок грузов автомобильным транспортом [1] указано, что максимальная ширина транспортного средства для передвижения по дорогам общего пользования должна быть 2,55 метра. Исходя из этого возникает необходимость обеспечить, относительно кузова автомобиля, такое положение воздушных винтов, при котором транспортное средство вписывается в указанный предел.

Достижение необходимой ширины возможно, когда лопасти четырёх боковых воздушных винтов направлены вдоль кузова автомобиля, как показано на рисунке 3.13.

Данное положение обеспечивается точным позиционированием электродвигателя. Необходимый угол поворота вала электродвигателя настраивается в программном обеспечении регулятора скоростей (ESC).

Для фиксации электродвигателя в определенном положении применим стопорящее устройство (рис. 3.20). Данное устройство нуждается в разработке и изготовлении. Но на данном этапе можно сказать, что принцип его работы будет заключаться во втягивании и вытягивании прижимной колодки за счет электромагнитных сил. Оно должно обеспечивать сохранение угла поворота корпуса электродвигателя, а, следовательно, и угла поворота воздушного винта под действием внешних сил.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		90



1 – стопорящее устройство; 2 – прижимная колодка; 3 – корпус электродвигателя; 4 – воздушный винт

Рисунок 3.20 – Стопорящее устройство

### 3.11. Определение скорости вертикального полёта

Скорость набора высоты в режиме вертикального взлета определяется избытком располагаемой мощности  $\Delta N$  над мощностью, потребной для висения.

$$\Delta N = \frac{TV_y}{75}, \text{ л. с.}, \quad (3.52)$$

где  $T$  – тяга воздушного винта, кг;

$V_y$  – вертикальная скорость набора высоты, м/с.

Из этой формулы определяется  $V_y$ :

$$V_y = \frac{75 \cdot \Delta N}{T}; \quad (3.53)$$

Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

91

Так, в момент использования максимальной тяги винта, при работе электродвигателя на полную мощность, скорость вертикального подъема составит:

$$V_y = \frac{75 \cdot 5,87}{65,33} = 6,74 \text{ м/с.}$$

Составим таблицу, отражающей зависимость скорости вертикального подъема от развиваемой тяги воздушного винта и запаса мощности (табл. 3.8).

Таблица 3.8 – Результаты расчетов

Частота вращения винта, с <sup>-1</sup>	72,89	73,79	74,68	75,58	76,47	77,37	78,26	79,16
Тяга винта, кг	55,40	56,77	58,15	59,56	60,98	62,41	63,87	65,34
Запас мощности, л.с.	0,00	0,78	1,58	2,40	3,24	4,10	4,98	5,87
Скорость подъема, м/с	0,00	1,03	2,04	3,02	3,98	4,92	5,84	6,74

Данные скорости справедливы как для каждого отдельного винта, так и для всего автолёта в целом.

## 4. Охрана труда, ИЗОС и действия в ЧС

### 4.1. Виды негативного воздействия автомобильного и воздушного транспорта

Автомобиль с лётными эксплуатационными свойствами можно охарактеризовать как транспортное средство, находящийся на стыке двух совершенно разных видов транспортной техники. Поэтому летающему автомобилю присуще наличие негативных воздействий на окружающую среду и человека как от обычного легкового автомобиля, так и от воздушного транспортного средства.

В нашей стране выбрасывается в атмосферу от автотранспортных средств около 13 млн т загрязняющих веществ в год. Удельный вес автомобильного транспорта в общих выбросах загрязняющих веществ от всех отраслей экономики составляет примерно 41%. В структуре выбросов транспортного комплекса на долю автомобильного транспорта приходится более 90% суммарного объема (без учета трубопроводного транспорта).

Загрязнение атмосферы автотранспортом происходит в большей степени отработавшими газами через выпускную систему двигателя, а также, в меньшей степени, картерными газами через систему вентиляции картера двигателя и углеводородными испарениями бензина из системы питания двигателя при заправке и в процессе эксплуатации.

Автомобиль является источником искусственного шумового фона города, как правило, отрицательно воздействующего на человека. В процессе полёта автомобиль с лётными эксплуатационными свойствами будет являться источником шума вращения, который возникает из-за действия на лопасти винта аэродинамических сил сопротивления вращения и тяге, и вихревого шума, являющегося следствием срыва вихрей с вращающихся лопастей.

					ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		93

Под действием шума определенной интенсивности возникают изменения в циркуляции крови, работе сердца и желез внутренней секреции, снижается мышечная выносливость. Статистические данные свидетельствуют о том, что процент нервно-психических заболеваний выше среди лиц, работающих в условиях повышенного уровня шума. Реакция на шум зачастую выражается в повышенной возбудимости и раздражительности.

Вибрация, возникающая при движении автотранспорта, негативно воздействует как на человека, так и на внешнюю среду. Она может негативно сказываться на целостности инженерных сооружений, может провоцировать природные явления, такие как, оползни, сходы лавин. Постоянная вибрация вызывает так называемую вибрационную болезнь, т.е. целый комплекс нарушений в организме. У водителя снижается острота зрения, сужается поле видимости, может измениться восприятие цвета или способность оценивать расстояние до встречного автомобиля.

В процессе технического обслуживания и проведения ремонтных работ могут загрязняться различными бытовыми отходами, ненужными металлическими, пластиковыми, резиновыми изделиями, нефтепродуктами и тяжелыми металлами прилегающие территории, сточные воды. Сточная вода, проникшая в почву, поражает растительность, дальнейшее ее проникновение в грунтовые воды, а с ними – в водоемы, губит животный мир.

Таким образом, необходимо контролировать и существенно уменьшать негативное воздействие автотранспорта на жизнь человека и окружающую среду. Рассматриваемые далее эргономические требования к проектируемому летающему автомобилю напрямую способствуют этому.

## 4.2. Эргономические требования к автомобилю с лётными эксплуатационными свойствами

Эргономика – наука о приспособлении орудий труда к человеку. Основной задачей эргономики является повышение надежности функционирования человекомашинных систем путем согласования конструкции машины в той ее части, которая связана с человеком, с его психологическими и физиологическими характеристиками.

*Требования к компоновке рабочего места водителя автомобиля.* В легковом автомобиле водитель располагается низко, ноги почти вытянуты, спинка сиденья отклонена от вертикали на значительный угол, что позволяет получить небольшую высоту автомобиля, соответственно уменьшив аэродинамическое сопротивление.

Для определения положения сиденья водителя по длине и наклону спинки пользуются данными из стандартов (ОСТ 37.001.413-86) (табл. 4.1, рис.4.1).

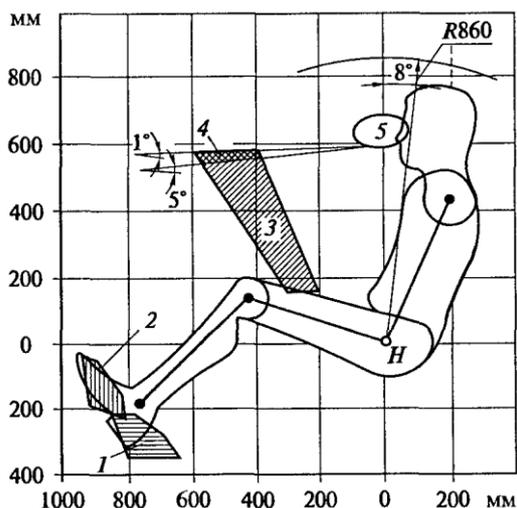
Таблица 1 – Параметры позы водителя

Наименование параметра	Обозначение на рис. 2.2	Значение, °
Угол отклонения туловища от вертикали	$A_1$	10 ... 25
Угол между туловищем и бедром	$A_2$	90 ... 120
Угол между бедром и голенью	$A_3$	95 ... 135
Угол между голенью и стопой	$A_4$	90
для правой ноги в рабочем положении		
Угол между туловищем и плечом	$A_5$	5 ... 50
Угол между плечом и предплечьем	$A_6$	80 ... 160
Угол между предплечьем и кистью	$A_7$	170 ... 190
Угол наклона бедра к горизонтали	$A_8$	$\geq 4$



двухдверного кузова легкового автомобиля при опрокидывающихся передних сидениях показаны на рис. 4.3.

Для получения удобной рабочей позы водителя сиденье смещается, обычно вперед и вверх. Могут применяться и другие направления.



1 – зона расположения точки В (пятка); 2 – зона расположения точки А; 3 – целесообразная зона расположения рулевого колеса; 4 – допустимая зона расположения рулевого колеса; 5 – зона вероятного расположения глаз водителя

Рисунок 4.2 - Зоны расположения рулевого колеса и педалей легкового автомобиля

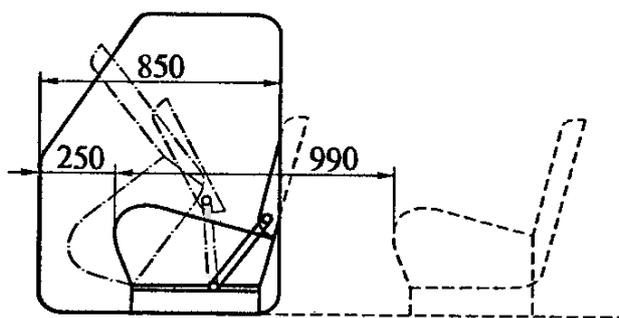
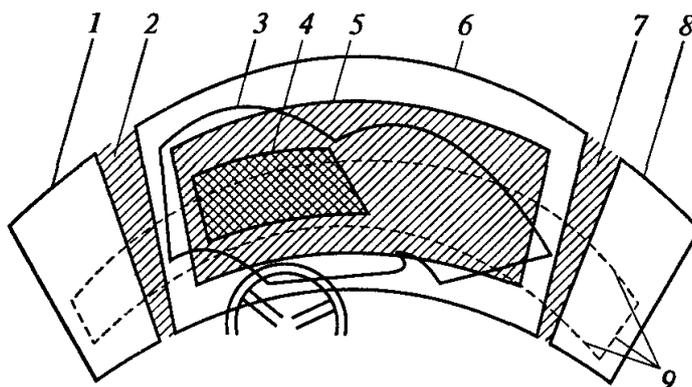


Рисунок 4.3 - Рекомендуемое относительное расположение дверных проемов и сидений для легковых автомобилей

Необходимо также определить параметры обзорности автомобиля. Под обзорностью понимают конструктивное свойство, характеризующее объективную возможность и условия восприятия водителем визуальной

информации, необходимой для безопасного и эффективного управления автомобилем.

Для нахождения параметров обзорности определяются характерные точки положения глаз водителя. Из этих точек строят нормативные зоны на ветровом стекле (рис. 4.4).



1 – граница прозрачной части левого бокового окна; 2 – левая боковая стойка переднего окна; 3 – контур очистки переднего окна; 4 – граница нормативной зоны А; 5 – граница нормативной зоны Б; 6 – граница прозрачной части переднего окна; 7 – правая боковая стойка переднего окна; 8 – граница прозрачной части правого бокового окна; 9 – следы от плоскостей, являющихся границами нормативного поля обзора П

Рисунок 4.4 - Расположение нормативных зон А и Б переднего окна и нормативного поля обзора П

Конкретные значения нормативных углов, в соответствии со стандартом (ГОСТ Р 51266–99), различаются в зависимости от категории АТС и от его компоновки.

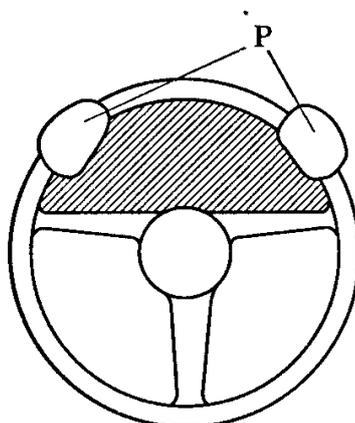
Нормативная зона А должна очищаться практически на 100%, нормативная зона Б – на 80%.

В нормативном поле обзора П не должно быть непросматриваемых зон, кроме создаваемых стойками окон и прочими элементами автомобиля.

Каждое автотранспортное средство должно быть оснащено зеркалами заднего вида, позволяющими водителю при обычно рабочей позе наблюдать



Также можно использовать пространство слева и справа от рулевого колеса, на консоли посередине автомобиля под передней панелью кузова, а также в передней части потолка кабины. Световые индикаторы иногда помещают над панелью приборов, у нижней кромки переднего окна.



P – руки водителя

Рисунок 4.7 - Зона обзора панели приборов через рулевое колесо

Чтобы уменьшить время, которое водитель затрачивает на поиск нужного информационного устройства, целесообразно различные приборы (индикаторы, сигнальные лампы и т.д.) располагать на панели отдельными функциональными зонами. Желательно, чтобы нужную информацию водитель смог бы получить при коротком маршруте движения глаз по панели приборов. Предоставление информации лучше цифровым устройством, оно сразу дает некоторое число и, следовательно, требует меньше времени от человека для ее восприятия и исключает ошибки. Стандарты предписывают, что частота смены цифр не должна превышать двух в секунду. Другая информация появляется на экране в двух случаях: по вызову водителя – например, нажатием кнопки, – или принудительно, при выходе какого-либо контролируемого параметра за допустимые пределы.

Информация с ответом «да-нет» может быть представлена светящимися индикаторами. Действующими стандартами и практикой установлено, что

зеленый цвет сигнальной лампы или индикатора информирует о нормальном функционировании какой-либо системы. Желтый сигнал – предупреждающая информация, имеющая уведомительный характер. Красный сигнал индикатора – аварийный, он требует принятия немедленных мер или запрещает какое-либо действие.

*Требования к сидениям.* Автомобильное сидение должно обеспечивать:

- Удобную позу водителя;
- Благоприятное распределение давлений на участки тела;
- Защиту человека от вибраций и других динамических воздействий;
- Фиксацию тела в определенном положении;
- Возможность изменения позы.

Удобная поза водителя должна обеспечиваться габаритными параметрами сидения, формой и упругостью подушки сидения и спинки.

Материал обивки сидения должен быть паропроницаемым, но в то же время обеспечивать термоизоляцию, обивка должна противостоять загрязнениям, легко очищаться, быть износостойкой и не пачкать одежду.

*Требования к отделке интерьера салона.* Хорошая отделка интерьера вызывает у водителя чувство защищённости, комфорта и уюта, что способствует повышению активной безопасности. К отделке предъявляются следующие требования:

- Высокие эстетические качества, точнее, наилучшее соотношение качества и цены;
- Необходимые шумоизоляционные и шумопоглощающие свойства;
- Стойкость к перепадам температуры;
- Минимальное светоотражение поверхности;
- Стойкость к загрязнениям и возможность легкого удаления грязи;

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		101

- Износостойкость;
- Поверхность материала не должна становиться липкой при повышенной температуре.

*Требования к внутреннему климату салона автомобиля.* Микроклимат рабочего места определяется совокупностью параметров температуры, влажности и подвижности воздуха. Влияние микроклимата на организм водителя зависит от его возраста, степени закалённости, состояния здоровья, качеств рабочей одежды. Комфортное состояние водителя наблюдается при 18° С. При температуре 17° С и ниже начинается постепенное охлаждение тела, приводящее к скованности и неточности движений. При температуре 30° С умственная деятельность ухудшается, замедляется реакция, появляются ошибки в действиях. На терморегуляцию тела водителя существенно влияет подвижность воздуха. Человек ощущает воздушные потоки при скорости их движения от 0,25 м/с. Рекомендуемая скорость движения воздуха в салоне кузова или кабины автомобиля не должна превышать 1 м/с.

Количество вредных примесей в воздухе салона ограничивается предельно допустимой концентрацией. В салон попадают пары эксплуатационных материалов, отработавшие газы, содержащие окислы углерода, азота, пары бензина, минеральную пыль и другие вредные вещества.

*Требования к вибрациям.* Установлено, что отдельные части и органы человека имеют собственные резонансные частоты. Степень вредного воздействия зависит от частоты, продолжительности и направления вибрации, индивидуальных особенностей человека. Общий подход к нормированию вибраций заключается в ограничении виброускорения и виброскорости на месте водителя. Вибрации нормируются ГОСТ 12.1.012-90. Нормы плавности хода автомобилей, установленные ОСТ 37.001.291-84 приведены в табл. 4.2.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		102

Таблица 4.2 – Предельные технические нормы плавности хода легковых автомобилей

Тип дороги	Корректированные значения виброускорений на сиденьях водителя и пассажиров, м/с <sup>2</sup> , не более	
	вертикальных	горизонтальных
I	0,8	0,6
II	1,1	0,8
III	2,0	1,3

I-цементная динамометрическая дорога со среднеквадратическим значением высот неровностей 0,006 м; II- булыжная мощеная дорога без выбоин со среднеквадратическими значениями неровностей 0,011 м; III- булыжная дорога с выбоинами со среднеквадратическими значениями неровностей 0,029 м.

Для уменьшения вибрации применяют балансировку деталей, увеличивают жёсткость вибрирующих деталей, создают условия, исключаящие возникновение резонанса, используют вибропрокладки, вибропоглощающие смазочные материалы и покрытия. В наибольшей степени вибрацию предотвращают пневматические шины автомобилей. Также обеспечивают оптимальное соотношение жесткостей передней и задней подвесок, уменьшают массы поддресоренных частей, на стадии проектирования автомобиля выбирают компоновочную схему, обеспечивающую независимость колебаний на передней и задней подвесках поддресоренной массы машины.

*Требования к акустическому комфорту.* От повышенного шума страдает, прежде всего, слуховая функция, но шумовые явления, обладая свойствами накапливаться в организме, угнетают нервную систему, производя заметные изменения психофизиологических функций, - скорость и точность движений снижается, появляется рассеянность, апатия, нарушение памяти.

Допустимые уровни внутреннего шума для АТС по ГОСТ Р 51616-2000 приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3 – Допустимые уровни внутреннего шума АТС

Автотранспортное средство	Допустимый уровень звука, дБ А
<i>Автомобили и автобусы для перевозки пассажиров</i>	
Категория $M_1$ , кроме моделей с вагонной или полукапотной компоновкой кузова	78
Категория $M_1$ — модели с вагонной или полукапотной компоновкой кузова	80
Категории $M_2, M_3$ , кроме моделей с расположением двигателя впереди или рядом с местом водителя:	
на рабочем месте водителя	78
в пассажирском помещении автобусов классов II и III	80
в пассажирском помещении автобусов класса I	82
Категории $M_2, M_3$ — модели с расположением двигателя впереди или рядом с местом водителя:	
на рабочем месте водителя и в пассажирском помещении	80
<i>Автомобили для перевозки грузов</i>	
Категория $N_1$ полной массой до 2 т	80
Категория $N_1$ полной массой от 2 до 3,5 т	82
Категории $N_2, N_3$ , кроме моделей, предназначенных для международных и междугородных перевозок	82
Категории $N_2, N_3$ — модели для международных и междугородных перевозок	80
<i>Полуприцепы, предназначенные для перевозки пассажиров</i>	80

Источниками шума являются колеблющиеся тела. В автомобиле к основным источникам шума относятся двигатель и его системы, трансмиссия, глушитель, шины и кузов.

Так как рассматриваемый автомобиль имеет свойство летать, дополнительными источниками шума будут являться работающие электродвигатели и вращающиеся воздушные винты. В данном случае уровень шумового воздействия транспортного средства должен соответствовать допустимым уровням шумов вертолетам гражданской авиации.

По ГОСТ 20296-2014 «Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах и кабинах экипажа и методы измерения шума» [3] уровни звукового давления на крейсерских режимах полета не должны превышать значений, соответствующих предельным спектрам, указанным в таблице 4.4. Уровни звукового давления в октавных полосах

частот, соответствующие этим предельным спектрам, приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.4 – Номера предельных спектров

Место измерения шума	Номер предельного спектра самолетов			Номер предельного спектра вертолетов
	дальних магистральных	средних и ближних магистральных и сверхзвуковых	местных воздушных линий	
Салон первого класса	ПС-70	ПС-75	ПС-80	ПС-85
Салон туристского класса	ПС-75	ПС-80		
Салон экономического класса	ПС-80	ПС-80		
Кабина экипажа	ПС-75			ПС-85
Рабочее место бортпроводника	ПС-80			ПС-85

При уровнях звукового давления в кабинах экипажа вертолетов, соответствующих предельному спектру ПС – 85, следует применять индивидуальные средства защиты от шума.

Таблица 4.5 – Уровни звукового давления

Номер предельного спектра	Уровень звукового давления, дБ, при среднегеометрических частотах октавных полос, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
ПС-65	99	87	78	72	68	65	63	61	59
ПС-70	103	91	83	77	73	70	68	66	64
ПС-75	107	95	88	82	78	75	73	71	69
ПС-80	110	99	92	87	83	80	78	76	74
ПС-85	113	103	96	91	88	85	83	81	79

Динамическое взаимодействие частей агрегатов автомобиля порождает колебательную энергию, которая, распространяясь от источников колебаний, создает звуковое поле автомобиля. В связи с этим, для уменьшения шумового воздействия, снижают виброактивность агрегатов, принимают меры к снижению интенсивности колебаний на пути их распространения.

## 5. Экономическая часть

### 5.1. Определение трудоемкости и продолжительности научно-исследовательской работы

Для определения трудоемкости и продолжительности научно-исследовательской работы был принят метод экспертных оценок, использующий результаты опроса специалистов – экспертов.

Исходные данные:

- Экспертная оценка руководителя темы о продолжительности работы составляет:  $t_{min} = 1$  год (260 р.д.);  $t_{max} = 5$  лет (1300 р.д.);
- Выполняют работы 4 специалиста. Продолжительность рабочего дня – 8 ч.

Решение:

Определяем ожидаемое время выполнения работ:

- в рабочих днях:

$$t_{ож} = \frac{3*t_{min} + 2*t_{max}}{5} = \frac{3*260 + 2*1300}{5} = 676 \text{ р.д.} \quad (5.1)$$

- в календарных днях:

$$t_{ож(к)} = \frac{t_{ож}}{K_{п}} = \frac{676}{0,7} = 965,7 \text{ к.д.}, \quad (5.2)$$

где  $K_{п}$  – коэффициент перевода рабочих дней в календарные (при пятидневной рабочей неделе можно принять величину  $K_{п} = 0,7$ ).

Определяем планируемую трудоемкость работ:

$$T_{раб} = R * t_{ож} * T_{р.д.} = 4 * 676 * 8 = 21632 \text{ чел. -ч.}, \quad (5.3)$$

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докцм.	Подпись	Дата		106

где R - количество специалистов, занятых выполнением работ;

Тр.д. - средняя продолжительность рабочего дня специалистов, занятых выполнением работ.

## 5.2. Расчет сметной себестоимости, планируемой к выполнению научно-исследовательской темы

Исходные данные:

- Продолжительность выполнения темы – 965,7 календарных дня (32 месяца);
- Количество исполнителей темы, занятость их по теме и месячные оклады представлены в таблице 5.1

Таблица 5.1 – Исходные данные по исполнителям работ

Исполнители	Количество	Занятость по теме, дни	Оклады, тыс.руб./мес.
Руководитель темы	1	32	27
Старшие научные сотрудники	2	32	23
Младшие научные сотрудники	1	16	17

- Для выполнения темы предполагается разработка и изготовление устройства, предназначенного для перемещения автомобиля по воздуху. Планируемая трудоемкость работ Т<sub>раб</sub> = 21632 чел. –ч;

- Затраты по дополнительной зарплате - 14 % от основной зарплаты, отчисления на социальные нужды - 30% от суммы основной заработной платы персонала и дополнительной.
- Стоимость материальных ресурсов, необходимых для модернизации автомобиля, без учета стоимости замены кузова, приведена в табл. 5.2.

Таблица 5.2 – Стоимость устанавливаемых элементов

№ п/п	Наименование материалов	Ед. изм.	Количество	Цена единицы, руб.	Сумма, руб.
1	Воздушный винт T-Motor G 40x13.1 (пара)	шт	8	33447	267576
2	Электродвигатель MP120100 80KV	шт	16	20907	334512
3	Аккумуляторная батарея Multistar High Capacity 6S 20000mAh	шт	72	14162	1019664
4	Регулятор скорости Flier 22S 380A	шт	16	15192	243072
5	Полётный контроллер AutoQuad M4	шт	1	5000	5000
6	Труба алюминиевая, сплав АД33Т6	кг	16	250	4000
7	Крепящие элементы	шт	18	4000	72000
Итого					1945824

Изм.	Лист	№ докм.	Подпись	Дата

ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ

Лист

108

- Данные по группам оборудования, которое будет использовано при выполнении темы, приведено в табл. 5.3.

Таблица 5.3 – Данные по группам оборудования

Группа оборудования	Балансовая стоимость Ц, тыс. руб.	Средняя норма амортизации а, %	Планируемое использование по теме, ч.	Планируемый коэффициент использования оборудования по времени Ки
I	100	12	12	0,9
II	80	11	10	0,7
IV	150	12	25	0,7
V	400	18	3	0,8

Затраты на электроэнергию — 10%, на ремонтное обслуживание — 15%, от величины годовых амортизационных отчислений по каждой группе оборудования. Работа на оборудовании осуществляется персоналом, занятым выполнением темы. Режим работы оборудования - односменный, годовой номинальный фонд времени  $F_{год.н} = 2040$  ч.

- Накладные расходы научной организации — 60% от затрат по основной зарплате исполнителей всех категорий.

Решение:

1. Находим затраты по основной зарплате исполнителей темы:

$$S_{зп.осн} = \sum_i^n t_{i(k)} * L_{мес i} * R_i = 32 * 27 * 1 + 32 * 23 * 2 + 16 * 17 * 1 = 2,608 \text{ млн. руб.}, \quad (5.4)$$

где  $t_{i(k)}$  - занятость по теме  $i$ -й категории исполнителей, оплачиваемых по окладной (штатно-окладной) системе, мес.;

$L_{мес i}$  — месячные оклады исполнителей  $i$ -й категории исполнителей, тыс. руб./мес.;

$Ri$  – количество человек.

2. Определяем затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы:

$$S_{\text{зп.доп}} = S_{\text{зп.осн}} * a = 2,608 * 0,14 = 365,12 \text{ тыс. руб.}, \quad (5.5)$$

где  $a$  - коэффициент соответствующий ставке отчислений на дополнительную зарплату.

3. Определяем отчисления на социальные нужды:

$$S_{\text{с.н.}} = (S_{\text{зп.доп}} + S_{\text{зп.осн}}) * K_e = (2608 + 365,12) * 0,3 = 891,936 \text{ тыс. руб.}, \quad (5.6)$$

где  $K_e$  - коэффициент соответствующий ставке отчислений на социальные нужды.

4. Находим затраты на материалы и спецоборудование с учетом транспортно-заготовительных расходов:

$$S_M = K_T * C_{\text{сум}} = 1,2 * 1945824 = 2,335 \text{ млн. руб.}, \quad (5.7)$$

где  $K_T$  - коэффициент транспортно-заготовительных расходов.

5. Находим затраты на использование оборудования:

А) годовой эффективный фонд времени работы оборудования (по группам оборудования):

$$F_{\text{год.эфI}} = F_{\text{год.н}} * K_{\text{иI}} = 2040 * 0,9 = 1836 \text{ ч}; \quad (5.8)$$

$$F_{\text{год.эфII}} = F_{\text{год.н}} * K_{\text{иII}} = 2040 * 0,7 = 1428 \text{ ч}; \quad (5.9)$$

$$F_{\text{год.эфIV}} = F_{\text{год.н}} * K_{\text{иIV}} = 2040 * 0,7 = 1428 \text{ ч}; \quad (5.10)$$

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		110

$$F_{\text{год.эфV}} = F_{\text{год.н}} * K_{\text{иV}} = 2040 * 0,8 = 1632 \text{ ч.} \quad (5.11)$$

Б) годовые амортизационные отчисления:

$$A_I = \frac{a_I * \text{Ц}_I}{100} = \frac{12 * 100}{100} = 12 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.12)$$

$$A_{II} = \frac{a_{II} * \text{Ц}_{II}}{100} = \frac{11 * 80}{100} = 8,8 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.13)$$

$$A_{IV} = \frac{a_{IV} * \text{Ц}_{IV}}{100} = \frac{12 * 150}{100} = 18 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.14)$$

$$A_V = \frac{a_V * \text{Ц}_V}{100} = \frac{18 * 400}{100} = 72 \text{ тыс. руб.} \quad (5.15)$$

В) годовые затраты на электроэнергию:

$$\text{Э}_I = 0,1 * A_I = 0,1 * 12 = 1,2 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.16)$$

$$\text{Э}_{II} = 0,1 * A_{II} = 0,1 * 8,8 = 0,88 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.17)$$

$$\text{Э}_{IV} = 0,1 * A_{IV} = 0,1 * 18 = 1,8 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.18)$$

$$\text{Э}_V = 0,1 * A_V = 0,1 * 72 = 7,2 \text{ тыс. руб.} \quad (5.19)$$

Г) годовые затраты на ремонтное обслуживание:

$$P_I = 0,15 * A_I = 0,15 * 12 = 1,8 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.20)$$

$$P_{II} = 0,15 * A_{II} = 0,15 * 8,8 = 1,32 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.21)$$

$$P_{IV} = 0,15 * A_{IV} = 0,15 * 18 = 2,7 \text{ тыс. руб.;} \quad (5.22)$$

$$P_V = 0,15 * A_V = 0,15 * 72 = 10,8 \text{ тыс. руб.} \quad (5.23)$$

Д) себестоимость машино-часа работы оборудования:

$$C_{\text{м-чI}} = \frac{A_I + \text{Э}_I + P_I}{F_{\text{год.эфI}}} = \frac{(12 + 1,2 + 1,8) * 1000}{1836} = 8,16 \text{ руб./маш. -ч.;} \quad (5.24)$$

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		111

$$C_{M-чII} = \frac{A_{II} + \Delta_{II} + P_{II}}{F_{\text{год.эфII}}} = \frac{(72+7,2+10,8)*1000}{1428} = 7,7 \text{ руб./маш. -ч.}; \quad (5.25)$$

$$C_{M-чIV} = \frac{A_{IV} + \Delta_{IV} + P_{IV}}{F_{\text{год.эфIV}}} = \frac{(18+1,8+2,7)*1000}{1428} = 15,7 \text{ руб./маш. -ч.}; \quad (5.26)$$

$$C_{M-чV} = \frac{A_V + \Delta_V + P_V}{F_{\text{год.эфV}}} = \frac{(18+1,8+2,7)*1000}{1632} = 13,78 \text{ руб./маш. -ч.}; \quad (5.27)$$

Е) затраты на использование оборудование при выполнении темы:

$$S_{\text{об}} = \sum_i^m C_{M-чi} * t_{\text{маш}i} = (8,16 * 12 + 7,7 * 10 + 15,7 * 25 + 13,78 * 3) = 608,76 \text{ тыс. руб.} \quad (5.28)$$

6. Накладные (общехозяйственные) расходы по теме:

$$S_{\text{накл}} = S_{\text{зп.осн}} * K_n = 2608 * 0,6 = 1564,8 \text{ тыс. руб.}, \quad (5.29)$$

где  $K_n$  - коэффициент, учитывающий накладные расходы.

7. Сметная себестоимость темы:

$$S_{\text{см}} = S_M + S_{\text{зп.доп}} + S_{\text{зп.осн}} + S_{\text{с.н.}} + S_{\text{об}} + S_{\text{накл}} = 2335 + 365,12 + 2608 + 891,936 + 608,76 + 1564,8 = 8,373 \text{ млн. руб.} \quad (5.30)$$

Результаты расчетов сведем в табл. 5.4.

Таблица 5.4 – Сметная стоимость

№ п/п	Статья затрат	тыс. руб.	%
1	Материалы и оборудование	2335	27,8
2	Затраты по основной зарплате исполнителей темы	2608	31,1
3	Затраты по дополнительной зарплате исполнителей темы	365,12	4,36

4	Отчисления на социальные нужды	891,936	10,65
5	Накладные общехозяйственные расходы	1564,8	18,68
6	Затраты на использование оборудования	608,76	7,27
Итого		8373,6	100

8. Полная себестоимость выполнения темы:

$$S_n = S_{см} + S_A + S_{э} + S_{со}, \quad (5.31)$$

где  $S_A$  - сумма амортизационных отчислений;

$S_{э}$  - сумма затрат на использование электроэнергии;

$S_{со}$  - сумма затрат на ремонт и обслуживание оборудования.

$$S_n = 8373,6 + 110,8 + 11,8 + 16,62 = 8512,8 \text{ тыс. руб.}$$

Результаты полной себестоимости сведем в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Полная себестоимость темы

№ п/п	Статьи затрат	тыс. руб.	удельный вес, %
	Материалы и оборудование	2335	27,4
	Электроэнергия	11,8	0,14
	Затраты по основной зарплате исполнителей темы	2608	30,63

	Затраты по дополнительной зарплате исполнителей темы	365,12	4,29
	Отчисления на социальные нужды	891,936	10,47
	Амортизационные отчисления	110,8	1,3
	Ремонтное обслуживание	16,62	0,19
	Накладные общехозяйственные расходы	1564,8	18,38
	Затраты на использование оборудования	608,76	7,15
	Итого	8512,8	100

### 5.3. Оценка эффективности научных исследований

Для количественной оценки научно-технического эффекта определим коэффициент научно-технического эффекта:

$$H_T = \sum_{i=1}^{i=3} r_i * k_i, \text{ балл}, \quad (5.32)$$

где  $r_i$  — весовой коэффициент  $i$ -го признака научно-технического эффекта НИР;

$k_i$  — количественная оценка  $i$ -го признака научно-технического эффекта, балл.

Значения весовых коэффициентов признаков научно-технического эффекта определены экспертным путем. Приведем в таблице 5.6 значения этих коэффициентов, указанных в [1].

Таблица 5.6 - Весовые коэффициенты признаков научно-технического эффекта

Признак научно-технического эффекта	Примерные значения весового коэффициента $r_i$
Уровень новизны	0,6
Теоретический уровень	0,4
Возможность реализации	0,2

В таблице 5.7. приведены значения баллов для количественной оценки уровня новизны, теоретического уровня, возможности реализации полученного результата [1].

Таблица 5.7 – Значения баллов для количественной оценки научно-технического эффекта

Признак научно-технического эффекта	Характеристика	Баллы
Уровень новизны	Относительно новая. Результаты исследований систематизируют и обобщают имеющиеся сведения, определяют пути дальнейших исследований. Проведена частичная модификация.	2-4
Теоретический уровень	Разработка способа (алгоритм, программа мероприятий, устройство, вещество и т.п.)	6
Возможность реализации	Время реализации от 5 до 10 лет	4
	Масштабы реализации: отрасль	4

Примечание: баллы по времени и масштабам реализации складываются.

Таким образом, коэффициент научно-технического эффекта равен:

$$H_T = 0,6 * 3 + 0,4 * 6 + 0,2 * (4 + 4) = 5,8 \text{ баллов.}$$

Определим удельную сметную себестоимость научно-исследовательской работы:

$$S_{\text{см.уд}} = \frac{S_{\text{см}}}{H_T} = \frac{8373,6}{5,8} = 1,444 \text{ млн. руб.} \quad (5.33)$$

Таким образом, так как значение коэффициента научно-технического является умеренным (по 10-бальной шкале), удельная сметная стоимость данной научно-исследовательской работы будет являться приемлемой.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		116

## Заключение

В процессе выпускной квалификационной работы была затронута тема, существующая уже более ста лет. За сто лет мысль о создании такого универсального средства передвижения, как летающий автомобиль, не потеряла популярности, несмотря на многочисленные существующие недостатки.

В ходе работы был осуществлён анализ существующих автомобилей с летными эксплуатационными свойствами. Были выявлены положительные и отрицательные стороны конструкций.

Проанализировав существующие конструкции, выбрали оптимальный её вариант, который соответствовал бы нашим требованиям. Определили перечень входящих в автомобиль устройств, необходимых для осуществления полёта.

Был произведен расчет полной массы модернизированного автомобиля, что служило толчком для определения параметров тягово-скоростных свойств и топливной экономичности проектируемого автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами.

Для осуществления перемещения по воздуху, исходя из предъявляемых требований, было спроектировано подъемное устройство, крепящееся к кузову автомобиля. Был произведен расчет необходимой и максимальной тяги подъемного устройства, были подобраны воздушные винты, электродвигатели, регуляторы оборотов, полётный контроллер. Произведен расчет системы питания, входе которой выявили количество аккумуляторных батарей, суммарную мощность, емкость, время работы. Описан процесс управления полётом.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		117

Была придумана конструкция несущего каркаса, подобраны материалы и размеры, произведен расчет на прочность трубчатых элементов каркаса, спроектированы крепящие элементы.

Также были составлены требования к эргономике автомобиля с лётными эксплуатационными свойствами, а именно к компоновке рабочего места, к компоновке приборной панели, к сидениям, к отделке интерьера салона и его внутреннему климату, к вибрациям и к акустическому комфорту.

В экономической части работы была определена трудоемкость исследовательской работы, её полная сметная стоимость и научно-технический эффект.

Таким образом, был внесен вклад в исследование данной темы, что позволит заняться ею в дальнейшем более углубленно.

					<i>ЭТТМ. ВР84АХ.000000ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		118

## Список использованных источников

1. Постановление Правительства РФ от 15.04.2011 (ред. от 23.05.2020) «Об утверждении Правил перевозок грузов автомобильным транспортом»
2. ГОСТ 18475-82. Трубы холоднодеформированные из алюминия и алюминиевых сплавов. Технические условия (с Изменениями № 1, 2).
3. ГОСТ 20296-2014. Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допустимые уровни шума в салонах и кабинах экипажа и методы измерения шума.
4. Протяженность автомобильных дорог общего пользования по субъектам Российской Федерации. Федеральная служба государственной статистики.
5. П. Бауэрс. Летательные аппараты нетрадиционных схем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 320 с., ил.
6. Алюминиевые сплавы (Состав, свойства, технология, применение). Справочник / В.М. Белецкий, Г.А. Кривов. Под общей редакцией академика РАН И.Н. Фридляндера – К.: «КОМИНТЕЗ», 2005. – 365 с.
7. Вахламов В. К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей: учеб. пособие для вузов / В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2009 – 557 с.
8. Водопьянов В.И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами: учеб. пособие / В.И. Водопьянов, А.Н. Савкин, О.В. Кондратьев; ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. -136 с.
9. Патент №2360802 Российская Федерация, МПК В60F 5/02 (2006.01). Транспортное средство «Автолет»: № 2007111767/11 : заявлен 02.04.2007 : опубликован 10.07.2009 / В.М. Горобцов. ; заявитель Горобцов В.М. – 7 с. : ил.

10. Джонсон У. Теория вертолета: В 2-х книгах. Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – (Авиационная и ракетно-космическая техника). Кн. 1. 502 с., ил.
11. Патент №147630 Российская Федерация, МПК В60F 5/02 (2006.01). Автомобиль с летными эксплуатационными свойствами. : №2014114963/11 : заявлен 15.04.2014 : опубликован 10.11.2014 / А.А. Енаев, В.С. Белокрылов. ; заявитель заявитель ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет» - 8 с. : ил.
12. Патент на полезную модель №128556 Российская Федерация, МПК В60F 5/02 (2006.01). Летающий автомобиль № 2012146180 : заявлен 29.10.2012 : опубликован 27.05.2013 / А.А. Енаев, Е.В. Кравчук, Н.В. Лещенко. ; заявитель ФГБОУ ВПО «Псковский государственный университет» - 5 с. : ил
13. Загордан. А.М. Элементарная теория вертолётa : Учебное пособие для летного и технического состава ВВС. – М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1955 – 212 с.: ил.
14. Зайцев, С.А. Основы эргономики и дизайна автомобилей и тракторов: учеб. пособие / С.А. Зайцев. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2012. – 123 с. : обл.
15. Патент №2484980 Российская Федерация, МПК В60F 5/02 (2006.01). Автолет (варианты): № 2011125355/11 : заявлен 20.06.2011 : опубликован 20.06.2013 / Х.Н. Мухаметишин, И.Х. Мухаметишин. ; заявитель ООО «Милек» - 10 с. : ил.
16. Павлова Е. И. Общая экология и экология транспорта: учебник и практикум для среднего профессионального образования / Е. И. Павлова, В. К. Новиков. — 5-е изд., перераб. и доп. — Москва: Издательство Юрайт, 2020. — 480 с. — (Профессиональное образование). — ISBN 978-5-534-08167-1. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. с. 253 — URL: <https://urait.ru/bcode/452600/p.253> (дата обращения: 11.06.2020).

- 17.А. Платонов. Автолёты и автомобили: машины двух стихий/ А. Платонов. //Техника молодежи. – 2012. – №7 – С. 16.
- 18.Рыков С.П. Автомобили: Общие положения. Тяговый расчет: Учебное пособие. -3-е издание. перераб. и доп. – Братск: Изд. БрГТУ.-2001.-120 с.
- 19.Скворцов Ю.В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учеб. пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Студент, 2012. – 374 с.: ил.
- 20.Степин П.А. Сопротивление материалов: Учеб. Для немашиностроит. спец. вузов. – 8-е изд. – М.: Высш. шк.,1988.-367 с.: ил.
- 21.Автомобили и тракторы. Основы эргономики и дизайна: Учебник для студентов вузов/ И.С. Степанов, А.Н. Евграфов, А. Л. Карунин, В.В. Ломакин, В.М. Шарипов; Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: МГТУ “МАМИ”, 2002 - 230 с.
- 22.Шайдаков В.И., Маслов А.Д. Аэродинамическое проектирование лопастей воздушного винта : Учеб. пособие. – М. : Изд-во МАИ, 1995. – 68 с.: ил.
- 23.Яценко В.С. Твой первый квадрокоптер: теория и практика : Учеб. пособие. – СПб. : Изд-во Первая Академическая типография «Наука». – 2015. -97 с.: ил.
- 24.В России числится около 52 млн единиц автотранспорта. Автостат. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.autostat.ru/news/37917/> (дата обращения 08.05.2020)
- 25.Голландская фирма PAL-V начала принимать заказы на свой аэромобиль. За рулем. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.zr.ru/content/news/905482-gollandskaya-firma-pal-v-nachala/> (дата обращения 05.10.2019)
- 26.Transition. Авиационная энциклопедия уголок неба. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.airwar.ru/enc/la/transition.html> (дата обращения 22.10.2019).

27. Летающий автомобиль от компании Terrafugia поступит в продажу в следующем году. Hi-News.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://hi-news.ru/technology/letayushhij-avtomobil-ot-kompanii-terrafugia-postupit-v-prodazhu-v-sleduyushhem-godu.html> (дата обращения 22.10.2019).
28. AT Black Knight Transformer - помесь грузового автомобиля и вертолета-мультикоптера. DailyTechInfo. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dailytechinfo.org/auto/5540-at-black-knight-transformer-pomes-gruzovogo-avtomobilya-i-vertoleta-multikoptera.html> (дата обращения 5.11.2019).
29. PARAJET SKYCAR – Автомобиль-парашют. Фабрика Экстрима. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.extreme-factory.ru/parajet-skycar-avtomobil-paraplan/> (дата обращения 11.05.2020)
30. LMV 496 – La moto volante. LAZARETH, constructeur Automobile, Moto et Wazuma. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.lazareth.fr> (дата обращения 26.10.2019).
31. Carplane - очередное пополнение в семействе летающих автомобилей. DailyTechInfo. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dailytechinfo.org/auto/6962-carplane-ocherednoe-popolnenie-v-semeystve-letayuschih-avtomobiley.html> (дата обращения 28.10.2019).
32. Летающий автомобиль Terrafugia TF-X предстал в новом облике. 3DNews - Daily Digital Digest. [Электронный ресурс]. URL: <https://3dnews.ru/917501> (дата обращения 28.10.2019).
33. Ремонт, обслуживание, эксплуатация автомобилей ВАЗ 1111 Ока. Технические характеристики. ВАЗ 1111 Ока. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.autoprospect.ru/vaz/1111-oka/1-4-tekhnicheskie-kharakteristiki.html> (дата обращения 15.11.2019).
34. Автомобиль ВАЗ-1111 "Ока" 2 х 4 [Электронный ресурс]. URL: <http://avtovei.ru/avtocatalog/vaz/1111/model.html> (дата обращения 15.11.2019).

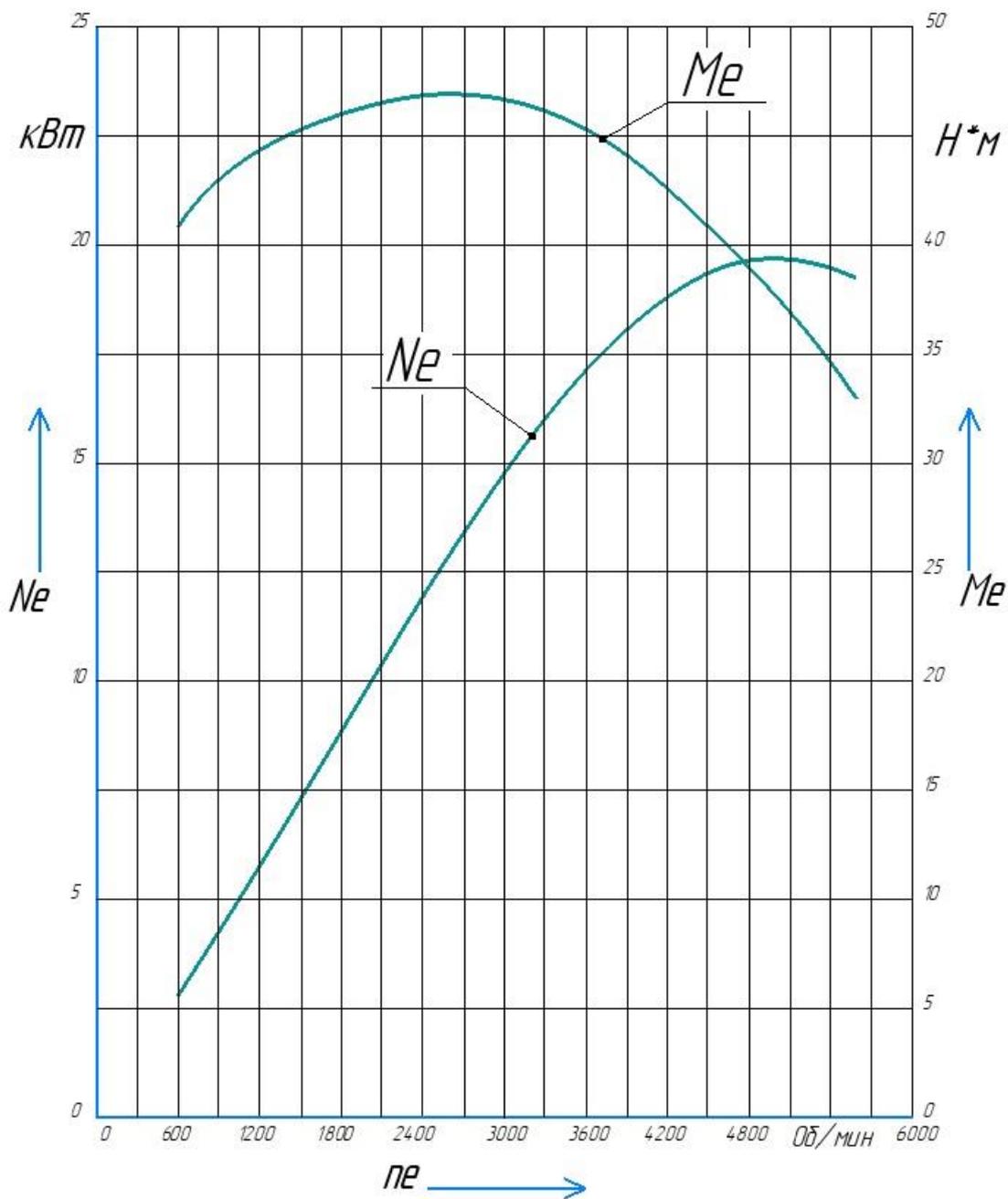
35. Облегчение автомобиля. Drive2.ru. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.drive2.ru/b/2479718/> (дата обращения 15.11.2019).
36. Электрическая силовая установка авиамодели - простейшие расчеты, и практическая реализация. [Электронный ресурс]. URL: <http://rc-master.ucoz.ru/publ/18-1-0-15> (дата обращения 6.12.2019).
37. Контроллеры бесколлекторных моторов (Brushless ESC) [Электронный ресурс]. URL: <http://forum.rcdesign.ru/f123/thread255499.html> (дата обращения 6.12.2019).
38. Аэродинамика и динамика полета. Тема 3. Особенности аэродинамики воздушных винтов [Электронный ресурс]. URL: [http://akpla.ucoz.com/Aeroflot/lekcii\\_pilotam\\_tema3.pdf](http://akpla.ucoz.com/Aeroflot/lekcii_pilotam_tema3.pdf) (дата обращения 1.06.2020).
39. Аэродинамика самолета. Силовая установка самолета. Назначение силовой установки и общие сведения о воздушных винтах. [Электронный ресурс]. URL: <https://vzletim.ru/upload/iblock/572/aerodynamics03.pdf> (дата обращения 2.06.2020).
40. U15 II KV80. T –Motor. [Электронный ресурс]. URL: <http://store-en.tmotor.com/goods.php?id=731> (дата обращения 6.12.2019).
41. G40x13.1 Prop-2PCS/PAIR. T –Motor. [Электронный ресурс]. URL: <http://store-en.tmotor.com/goods.php?id=493> (дата обращения 6.12.2019).
42. Multistar High Capacity 6S 20000mAh. [Электронный ресурс]. URL: <https://rcsearch.ru/hobbyking/i80907/#catalog> (дата обращения 20.05.2020).
43. LiPo-аккумулятор. RCSearch. [Электронный ресурс]. URL: <https://rcsearch.ru/wiki/LiPo-аккумулятор> (дата обращения 20.05.2020).
44. Flier 22S 380A. [Электронный ресурс]. URL: <https://russian.alibaba.com/product-detail/flier-22s-380a-brushless-dc-electrical-air-esc-for-rc-airplane-mig-29-uav-60451814067.html> (дата обращения 10.06.2020).

45. MP120100 80KV. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.alibaba.com/product-detail/MP120100-80KV-sensored-brushless-motor-with\\_60469878298.html?spm=a2700.details.deiletai6.9.46731afaj0T0Di](https://www.alibaba.com/product-detail/MP120100-80KV-sensored-brushless-motor-with_60469878298.html?spm=a2700.details.deiletai6.9.46731afaj0T0Di) (дата обращения 10.06.2020).
46. AQ M4 – Full AutoQuad Capabilities in the Palm of your Hand. AutoQuad. [Электронный ресурс]. URL: <http://autoquad.org/autoquad-m4/> (дата обращения 12.06.2020).
47. Характеристика материала АЛ8. Марочник сталей и сплавов. [Электронный ресурс]. URL: [http://splav-kharkov.com/mat\\_start.php?name\\_id=1385](http://splav-kharkov.com/mat_start.php?name_id=1385) (дата обращения 23.06.2020).
48. Ермаченков Д.И., Фазли Т.Г.К., Петренко Е.О. Разработка конструкции рамы квадрокоптера для удаленного мониторинга объектов // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/PDF/45TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. (дата обращения 8.05.2020).

## Приложение А

(справочное)

### Внешняя скоростная характеристика

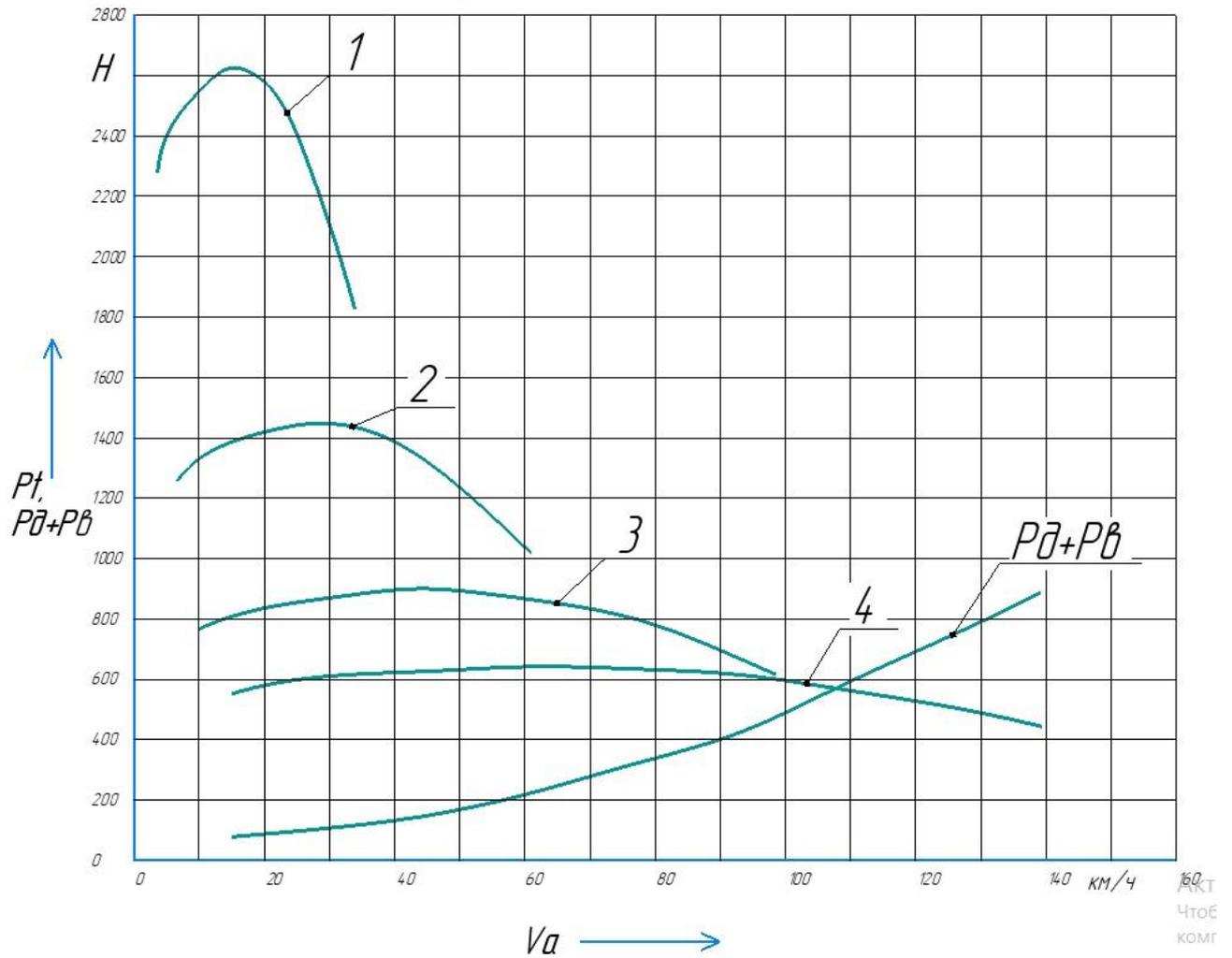


$M_e$  - крутящий момент двигателя;  $N_e$  - мощность двигателя;  $n_e$  - частота вращения двигателя

## Приложение Б

(справочное)

### Диаграмма силового баланса

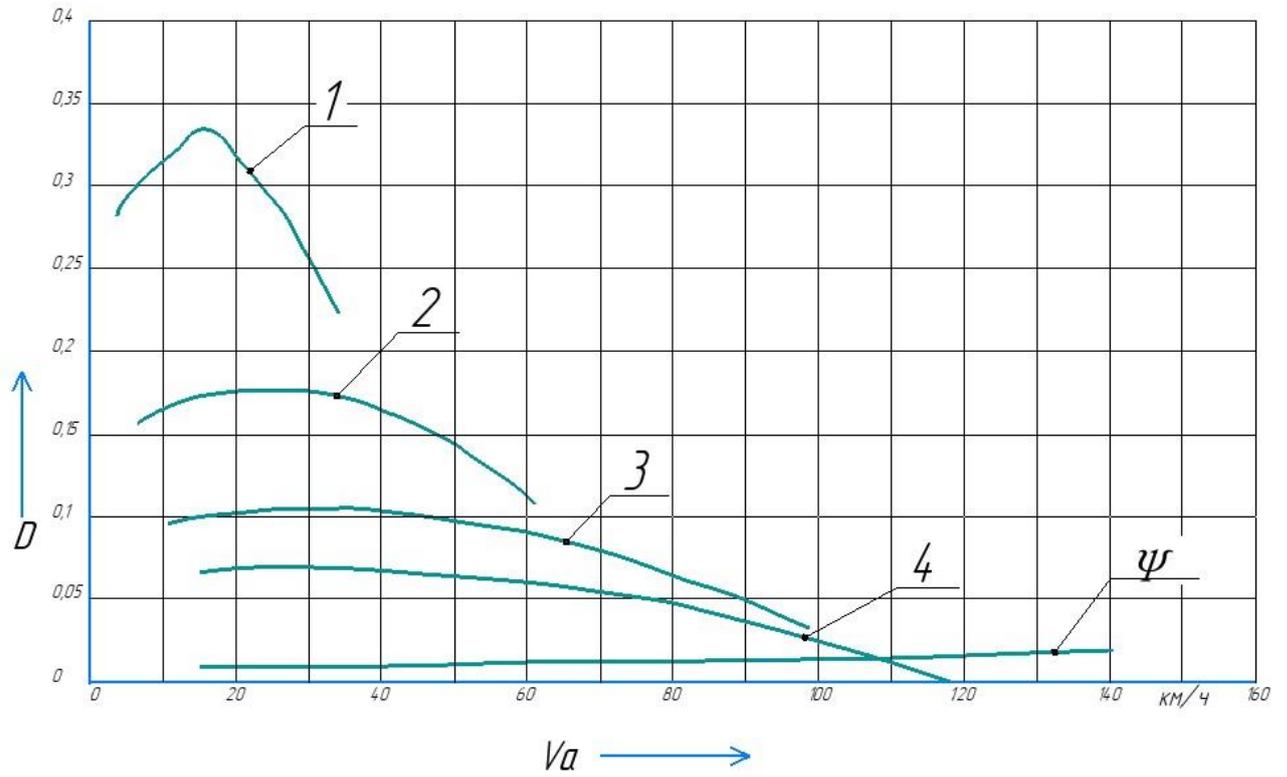


$P_t$  – тяговая сила;  $P_d$  – сила сопротивления дороги;  $P_v$  – сила сопротивления воздуха;  $V_a$  – скорость автомобиля

## Приложение В

(справочное)

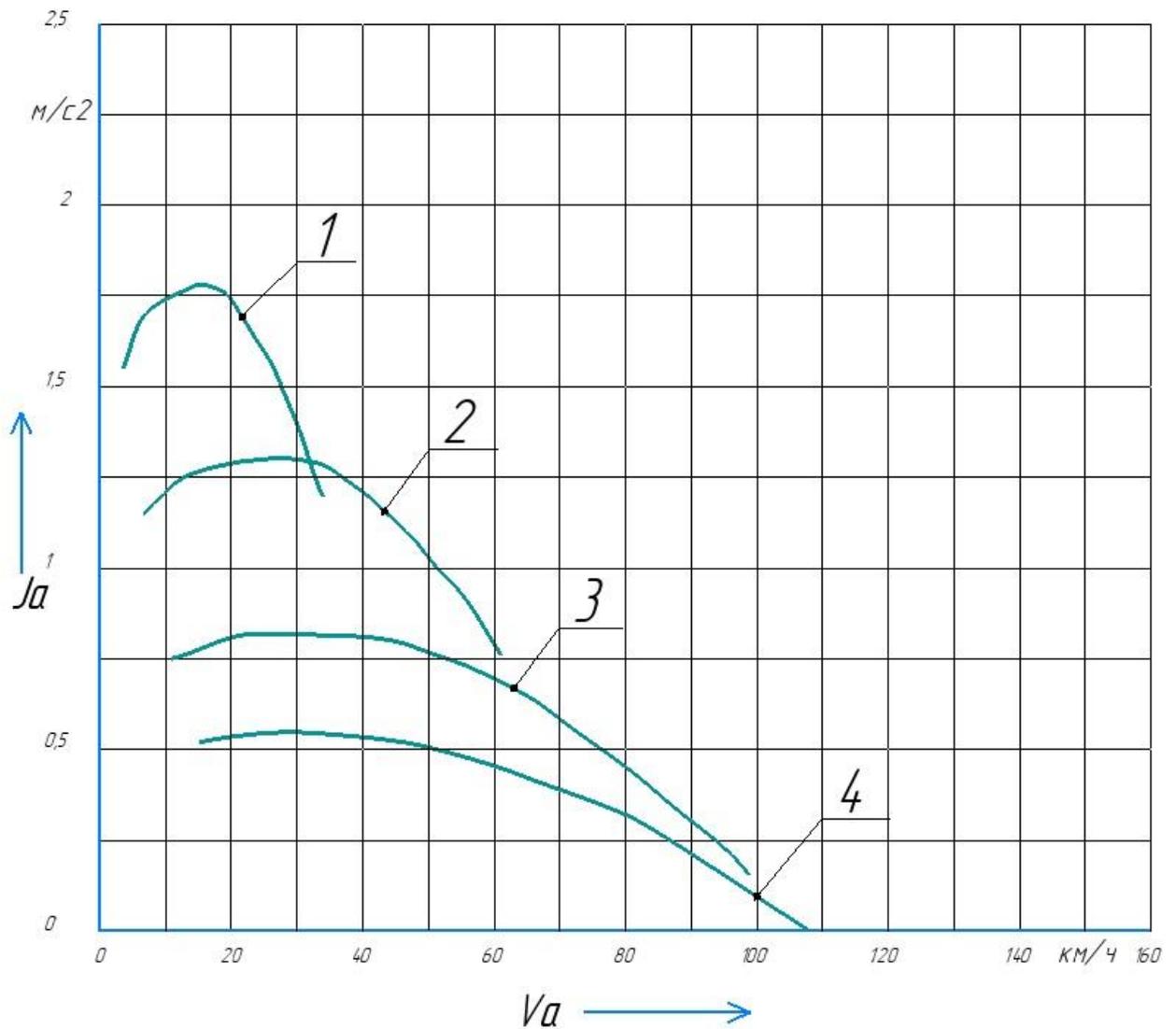
### Динамическая характеристика



$D$  – Динамический фактор;  $\Psi$  – суммарный коэффициент сопротивления дороги;  $V_a$  – скорость автомобиля

Приложение Г  
(справочное)

Диаграмма ускорений

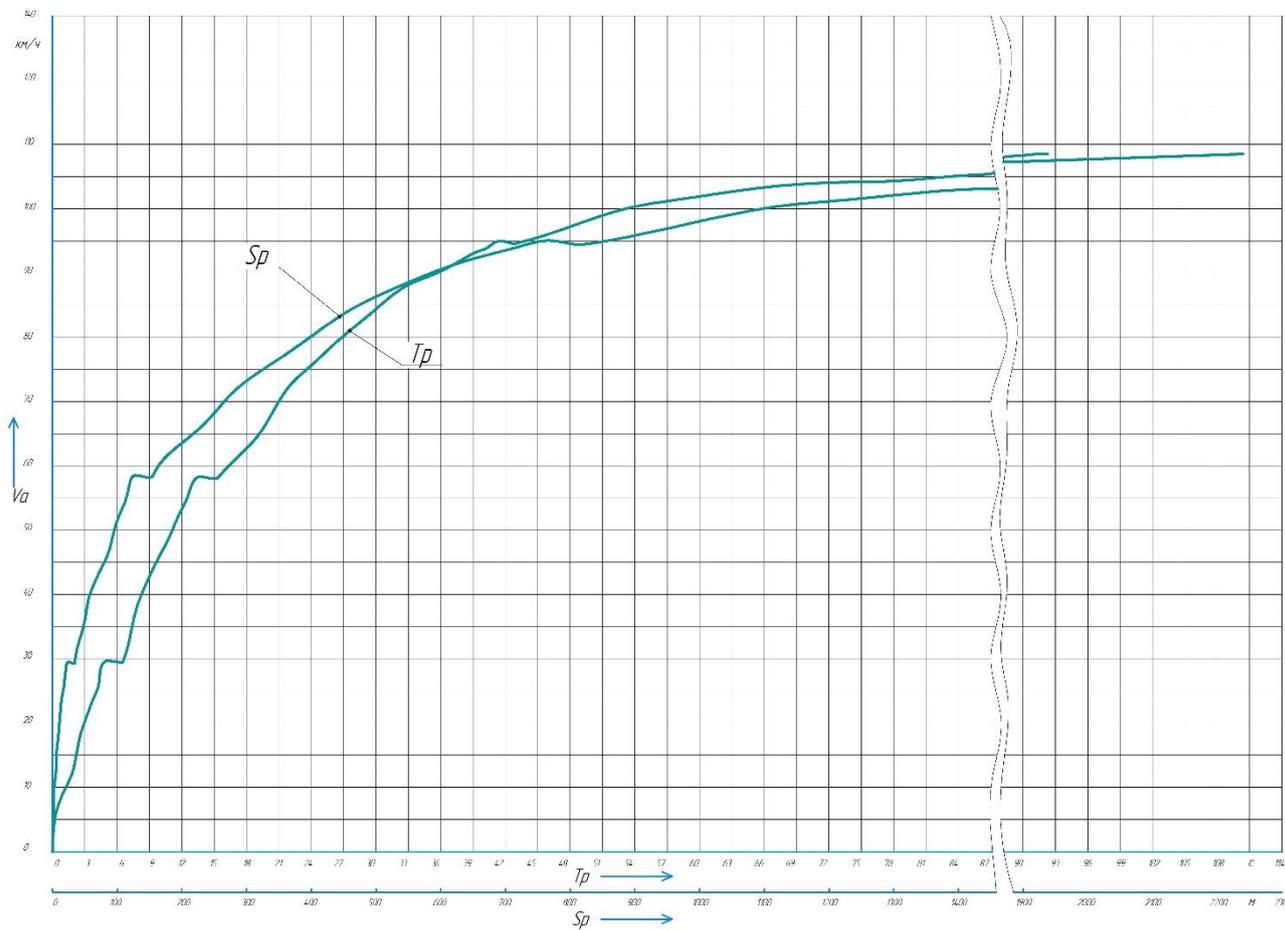


$J_a$  – ускорение;  $V_a$  – скорость автомобиля

## Приложение Д

(справочное)

### Скоростная характеристика разгона

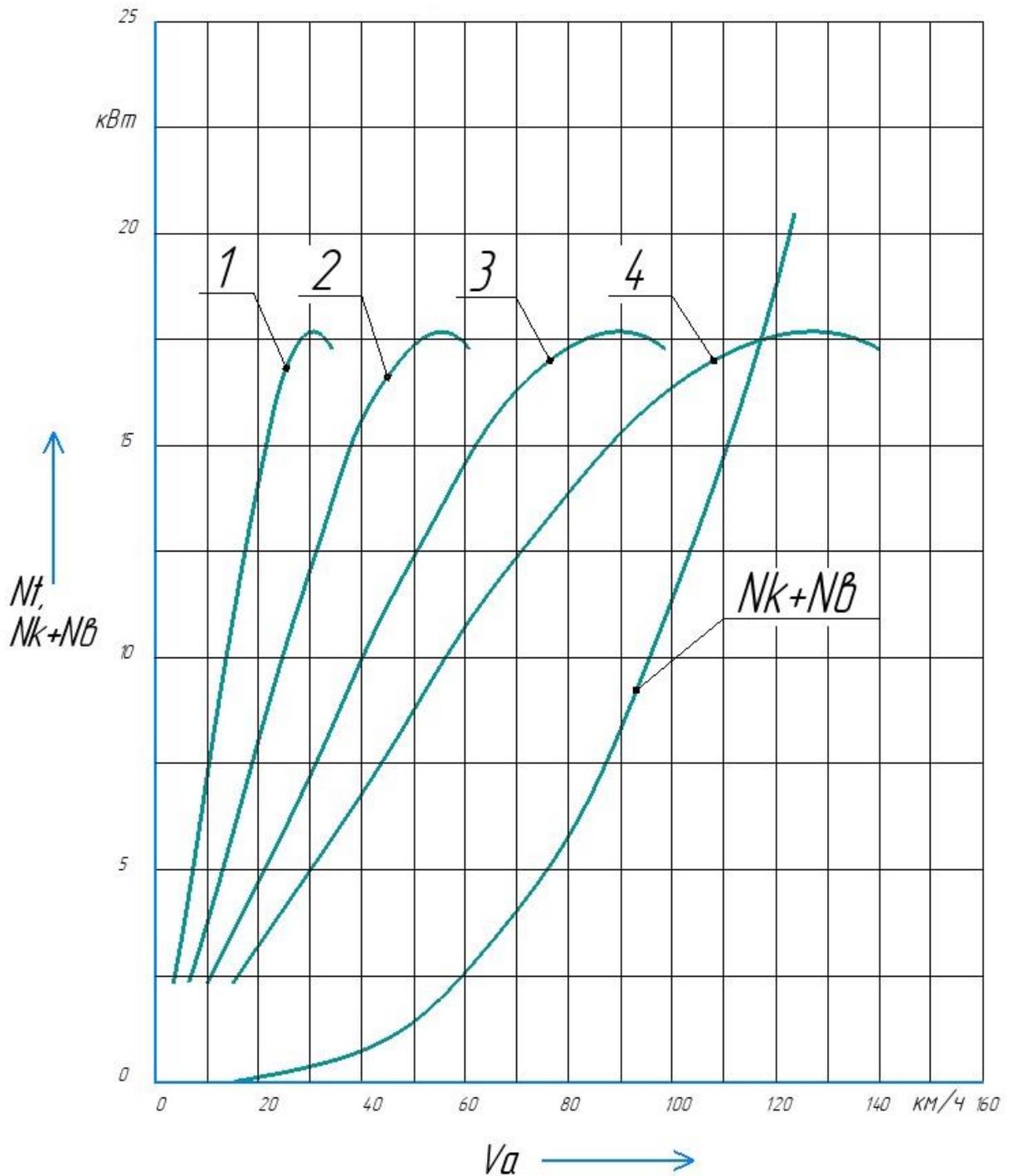


$T_p$  – время разгона;  $S_p$  – путь разгона;  $V_a$  – скорость автомобиля

## Приложение Е

(справочное)

### Диаграмма мощностного баланса

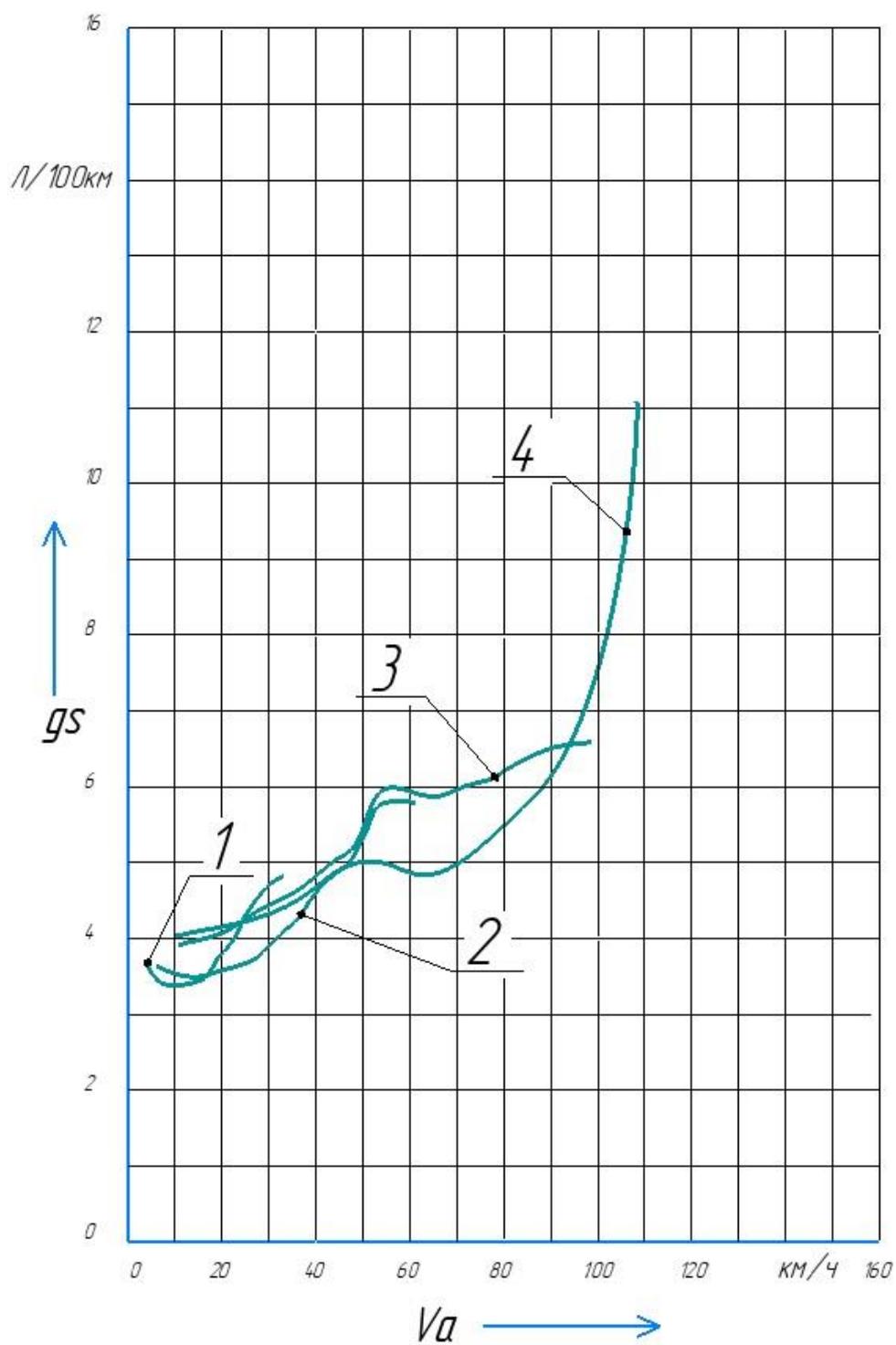


$N_t$  - тяговая мощность;  $N_k$  - мощность сопротивления качению;  $N_v$  - мощность сопротивления воздуху;  $V_a$  - скорость автомобиля

## Приложение Ж

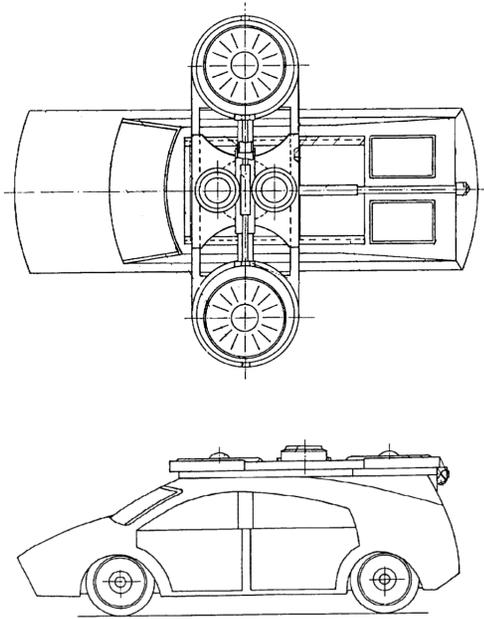
(справочное)

### Топливо-экономическая характеристика

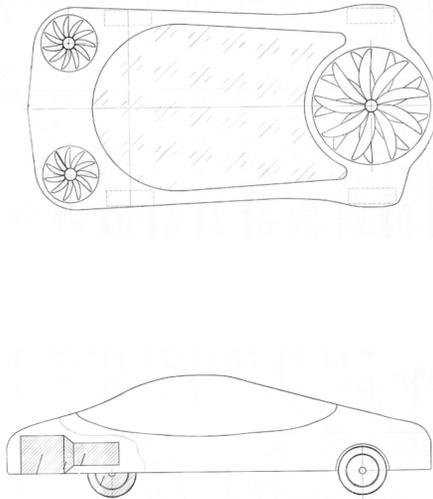


$g_s$  – Контрольный расход топлива;  $V_a$  – скорость автомобиля

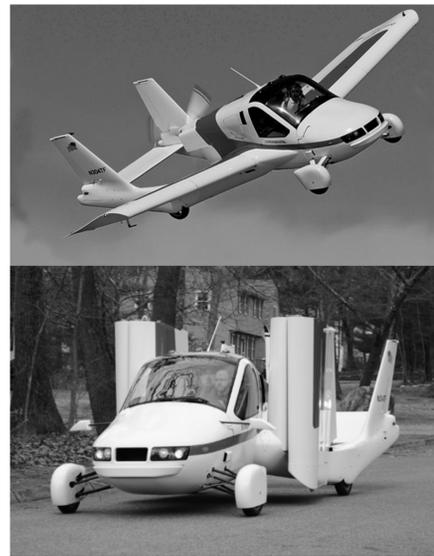
Вариант №1 "Автомобиль с летными эксплуатационными свойствами" конструкции Горбцова В.М. (Патент № 128566 РФ)



Вариант №2 "Автомобиль с летными эксплуатационными свойствами" конструкции Енаева А.А., Белокрылова В.С. (Патент № 14 7630 РФ)



Вариант №3 "Terrafugia Transition", США



Вариант №4 "PAL-V One", Нидерланды



Вариант №5 "AT Black Knight Transformer", США



Вариант №6 "Parajet Skycar", Великобритания



Вариант №7 "Lazareth LMV 496", Франция



Вариант №8 "Аэрокар М. Тейлора", США

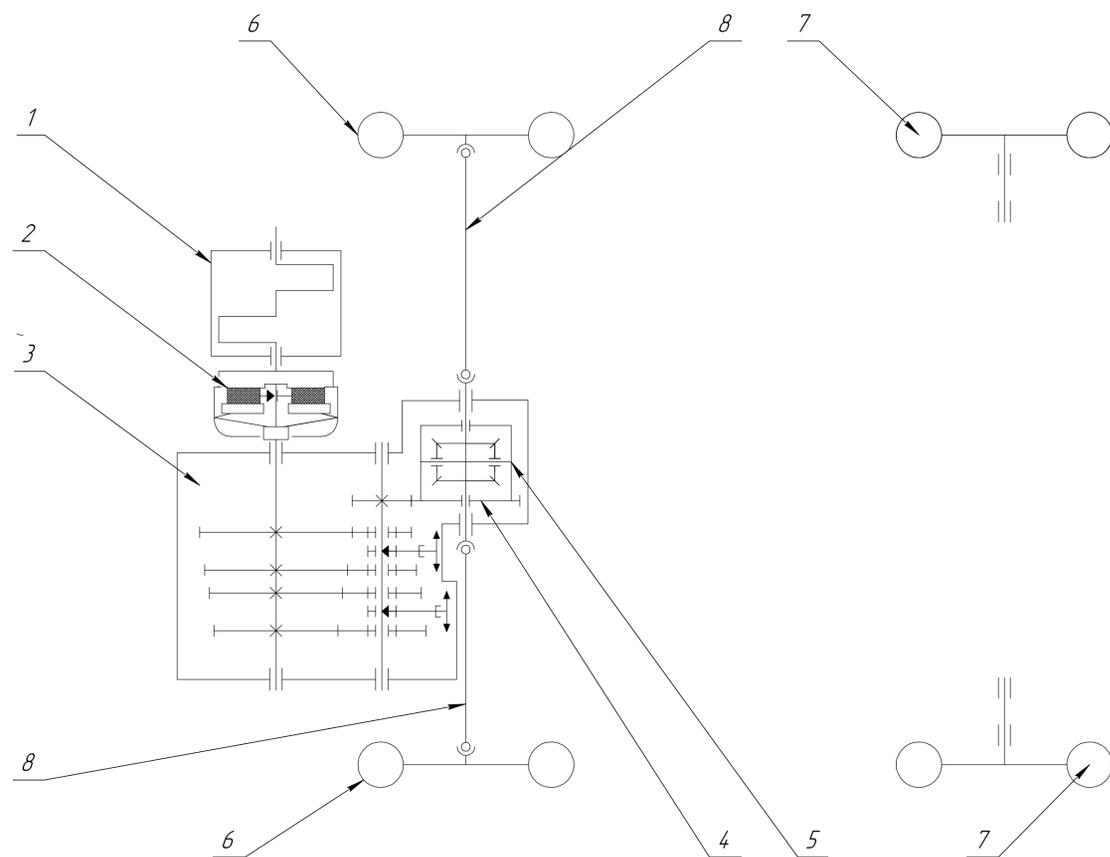
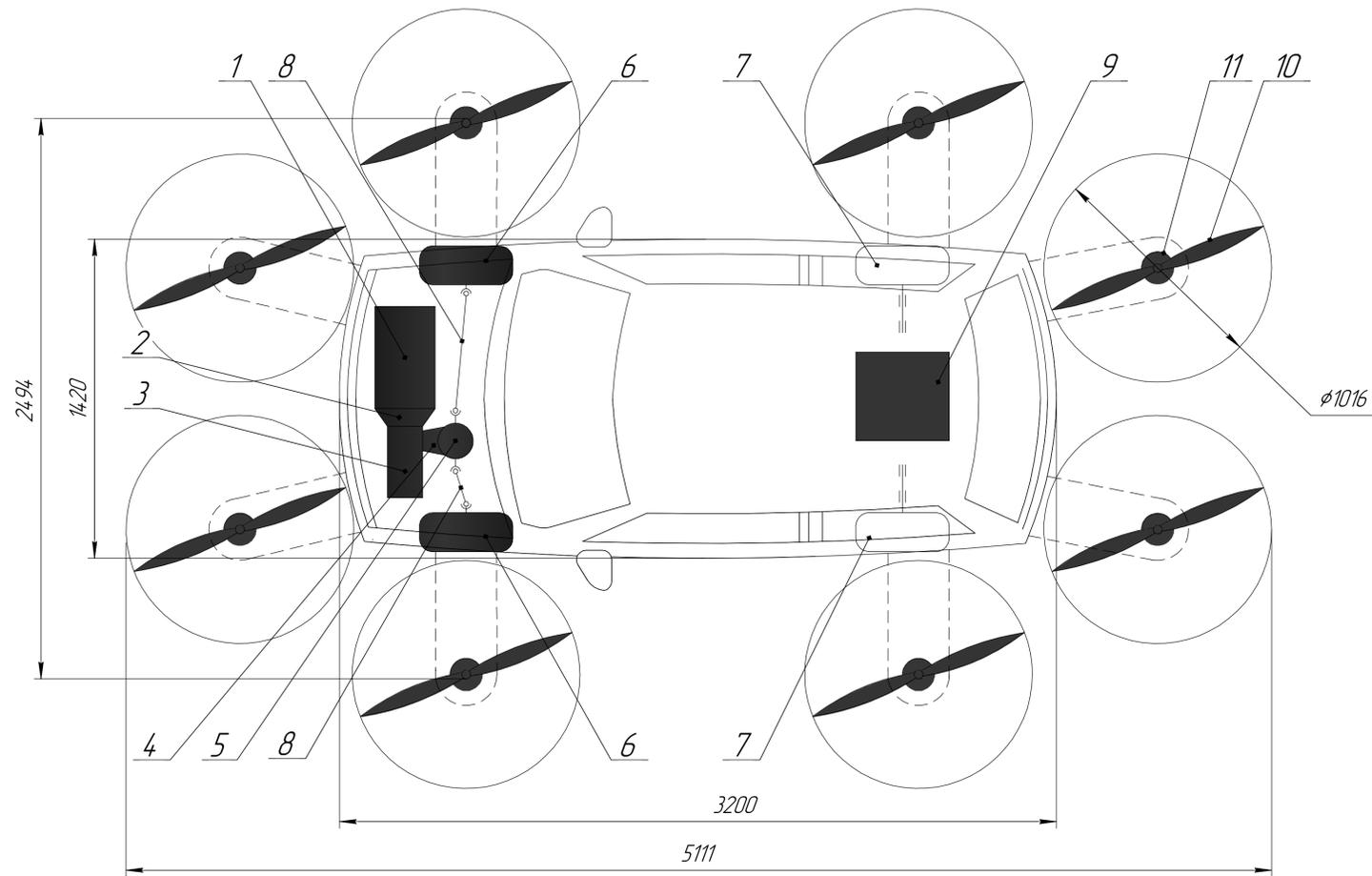


Параметры	№ варианта							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Относительная простота конструкции	нет	да	нет	да	нет	да	нет	да
Простота управления	нет	да	да	да	да	нет	да	да
Возможность вертикального полёта	да	да	нет	нет	да	нет	да	нет
Небольшие габариты при перемещении по земле	да	да	нет	да	нет	да	да	да
Минимальные временные и физические затраты для приведения в летное состояние	да	да	нет	нет	да	нет	да	нет
Дальность полёта, км	-	-	787	400	463	320	-	805
Макс. скорость полета, км/ч	-	-	185	185	240	160	-	188
Макс. скорость на земле, км/ч	-	-	105	160	110	225	-	107
Пассажироплощадь при полете, чел	-	-	1	1	5	1	1	3

Перв. примен. Серий. №

Копировать не для коммерческого использования

				ЭТТМ.ВР84АХ.00000СВ			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Бунатов И.А.				Б		1:1
Пров.	Енаев А.А.						
Т.контр.					Лист	Листов	1
Н.контр.					ПсковГЧ		
Утв.					Группа 0034-05		
					Формат А1		



Обозначение	Наименование	Кол-во	Примечание
1	Двигатель внутреннего сгорания	1	
2	Сцепление	1	
3	Коробка передач	1	
4	Главная передача	1	
5	Дифференциал	1	
6	Ведущее управляемое колесо	2	
7	Ведомое колесо	2	
8	Шарнир равных угловых скоростей	2	
9	Аккумуляторная батарея	1	
10	Воздушный винт	16	
11	Электродвигатель	16	

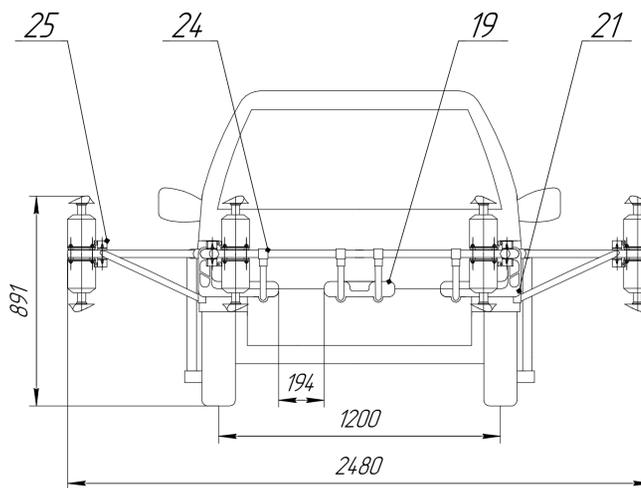
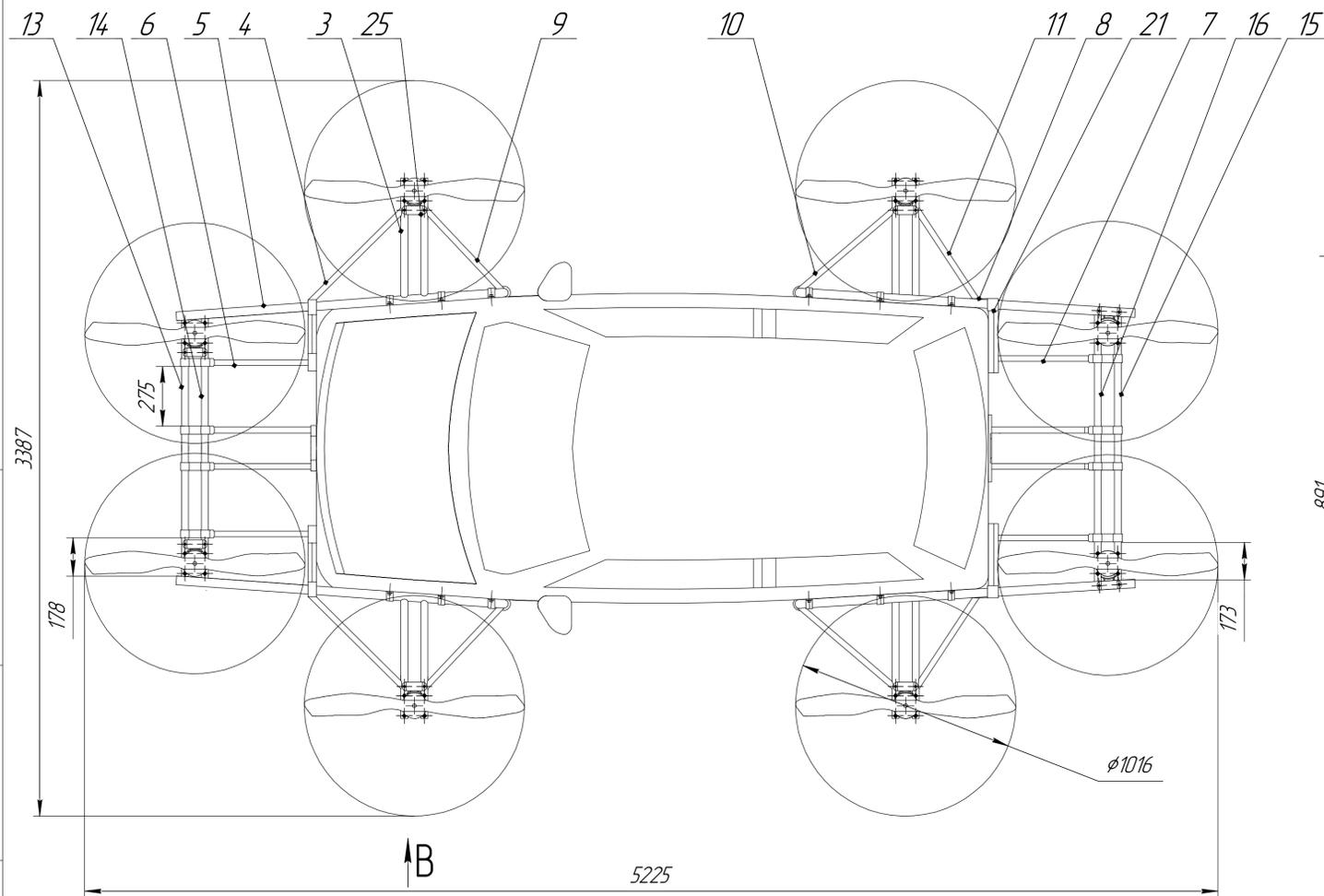
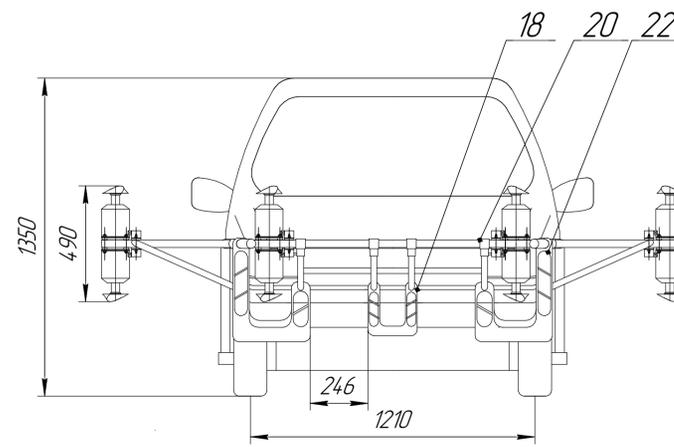
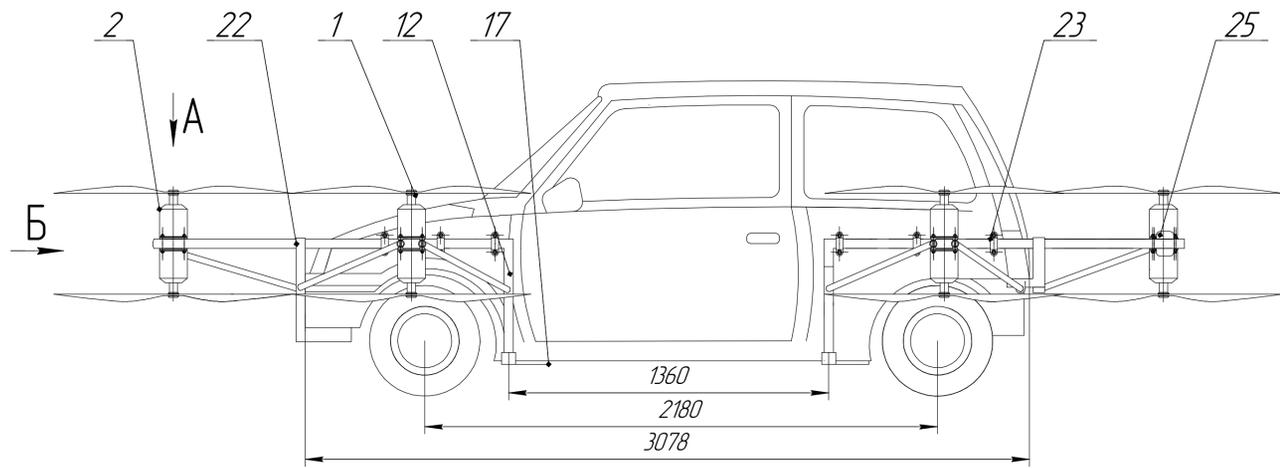
ЭТТМ.ВР84АХ.00000СЗ				Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.	Булгаев И.А.					1:15
Проб.	Енаев А.А.					
Т.контр.						
Н.контр.						
Утв.						
Автомобиль легковой с летными эксплуатационными характеристиками				Лист	Листов	1
Компоновочная и кинематическая схемы				ПсковГУ		
				Группа 0034-05		
Копировал				Формат А1		

Копировать и использовать в коммерческих целях запрещено. Все права защищены. Разраб. Булгаев И.А., Проб. Енаев А.А. ЭТТМ.ВР84АХ.00000СЗ. Лист 1 из 1. Подп. и дата.



Техническая характеристика

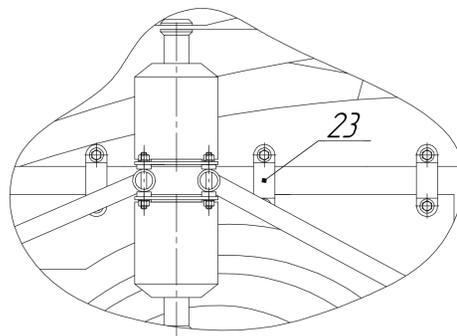
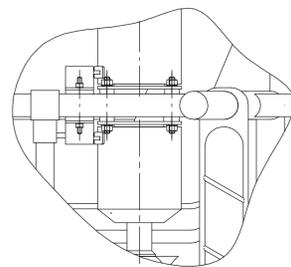
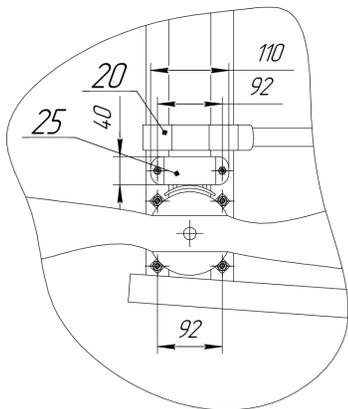
Показатели	Значение
Номинальная мощность при частоте вращения коленчатого вала 5000 об/мин по ГОСТ 14.846-88 (нетто), кВт (л.с.)	20,7 (28,2)
Максимальный крутящий момент при 3000 об/мин по ГОСТ 14.846-88 (нетто), Н*м (кгс*м)	44,0 (4,5)
Максимальная скорость, км/ч	108
Время разгона с места до 100 км/ч, с	53
Полная масса автомобиля, кг	820
Номинальная мощность электродвигателя, кВт	25
Максимальный ток нагрузки, А	4800
Теоретическое время полета, мин	100
Максимальная тяга, кг	967
Частота вращения винта при максимальной тяге, об/мин	4750



Вид А(1:5)

Вид Б(1:5)

Вид В(1:5)



Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Покупные изделия</i>				
1		Воздушный винт T-motor G40x13.1 CF	16	
2		Электродвигатель DC motor MP 120100 KV80	16	
3		Труба круглая D = 32 мм, d = 25 мм.	8	Сплав 6061; l = 540 мм.
4		Труба круглая D = 26 мм, d = 22 мм.	2	Сплав 6061; l = 674 мм.
5		Труба круглая D = 40 мм, d = 36 мм.	2	Сплав 6061; l = 1530 мм.
6		Труба круглая D = 26 мм, d = 22 мм.	4	Сплав 6061; l = 570 мм.
7		Труба круглая D = 26 мм, d = 22 мм.	4	Сплав 6061; l = 550 мм.
8		Труба круглая D = 40 мм, d = 36 мм.	2	Сплав 6061; l = 1530 мм.
9		Труба круглая D = 26 мм, d = 22 мм.	2	Сплав 6061; l = 616 мм.
10		Труба круглая D = 26 мм, d = 22 мм.	2	Сплав 6061; l = 640 мм.
11		Труба круглая D = 26 мм, d = 22 мм.	2	Сплав 6061; l = 543 мм.
12		Труба круглая D = 40 мм, d = 36 мм.	4	Сплав 6061; l = 570 мм.
13		Труба круглая D = 32 мм, d = 28 мм.	1	Сплав 6061; l = 1175 мм.
14		Труба круглая D = 32 мм, d = 28 мм.	1	Сплав 6061; l = 1190 мм.
15		Труба круглая D = 32 мм, d = 28 мм.	1	Сплав 6061; l = 1210 мм.
16		Труба круглая D = 32 мм, d = 28 мм.	1	Сплав 6061; l = 1220 мм.
<i>Вновь разрабатываемые изделия</i>				
17	ЭТТМ.ВР84АХ.000001	Крепёжный элемент №1	4	
18	ЭТТМ.ВР84АХ.000002	Крепёжный элемент №2	1	
19	ЭТТМ.ВР84АХ.000003	Крепёжный элемент №3	1	
20	ЭТТМ.ВР84АХ.000004	Крепёжный элемент №4	4	
21	ЭТТМ.ВР84АХ.000005	Крепёжный элемент №5	2	
22	ЭТТМ.ВР84АХ.000006	Крепёжный элемент №6	2	
23	ЭТТМ.ВР84АХ.000007	Крепёжный элемент №7	12	
24	ЭТТМ.ВР84АХ.000008	Крепёжный элемент №8	4	
25	ЭТТМ.ВР84АХ.000009	Стопорящее устройство	16	

ЭТТМ.ВР84АХ.000000

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Масса	Масштаб
	5				Б	820	1:15
Разраб.	Бутаев И.А.				Лист	Листов	1
Пров.	Енаев А.А.				ПсковГУ		
Т.контр.					Группа 0034-05		
Н.контр.					Формат А1		
Утв.					Копировал		



*Технологическая карта  
Подготовка автомобиля к полёту  
Исполнитель – водитель транспортного средства  
Общая трудоемкость – 14,2 чел.-мин.*

ЭТТМ.ВР84АХ.000007К

<i>№</i>	<i>Наименование операции</i>	<i>Место выполнения</i>	<i>Оборудование и инструмент</i>	<i>Трудоемкость операции</i>	<i>Технические условия и примечания</i>
1	<i>Съехать с дороги общего пользования.</i>	<i>В автомобиле.</i>	-	<i>0,5 чел.-мин.</i>	-
2	<i>Остановить транспортное средство на ровной свободной поверхности.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Тормозная система автомобиля.</i>	<i>0,2 чел.-мин.</i>	<i>Взлётная поверхность должна иметь площадь не менее 40 м<sup>2</sup>; быть свободной от людей, насаждений, посторонних предметов; иметь уклон не более 10%.</i>
3	<i>Включить нейтральную передачу; заглушить двигатель.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Трансмиссия автомобиля; система зажигания автомобиля.</i>	<i>0,1 чел.-мин.</i>	-
4	<i>Выключить стопорные устройства.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Приборная панель.</i>	<i>0,1 чел.-мин.</i>	<i>Проследить за выключением каждого устройства.</i>
5	<i>Выйти из автомобиля.</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	-	<i>0,2 чел.-мин.</i>	-
6	<i>Проверить воздушные винты на наличие механических повреждений, пыли и грязи, нарушение геометрической формы.</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	<i>Органолептически.</i>	<i>3 чел.-мин.</i>	<i>Воздушные винты не должны иметь изменений геометрической формы, механических повреждений. В противном случае использование данных винтов не допускается. При наличии на поверхности винтов следов грязи следует избавиться от них.</i>
7	<i>Проверить вращение винтов.</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	<i>Органолептически.</i>	<i>2 чел.-мин.</i>	<i>При затрудненном вращении, наличии посторонних шумов хотя бы у одного винта использование транспортного средства для полётов запрещено.</i>
8	<i>Проверить состояние контактных соединений электродвигателей.</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	<i>Органолептически.</i>	<i>2 чел.-мин.</i>	-
9	<i>Проверить состояние несущего каркаса на наличие механических повреждений и остаточных деформаций.</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	<i>Органолептически.</i>	<i>3 чел.-мин.</i>	<i>В случае обнаружения дефектов несущего каркаса использование транспортного средства для полётов запрещено.</i>
10	<i>Убедиться в отсутствии рядом стоящих людей, посторонних предметов, осадков, сильного ветра.</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	<i>Органолептически.</i>	<i>0,3 чел.-мин.</i>	-
11	<i>Сесть в автомобиль</i>	<i>Возле автомобиля.</i>	-	<i>0,2 чел.-мин.</i>	-
12	<i>Подключить блок аккумуляторных батарей к остальной системе, ответственной за полёт.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Приборная панель.</i>	<i>0,1 чел.-мин.</i>	<i>Аккумуляторные батареи должны быть заряжены.</i>
13	<i>Активировать электродвигатели.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Приборная панель.</i>	<i>0,1 чел.-мин.</i>	<i>Моторы должны стартовать строго одновременно и вращаться с одинаковой угловой скоростью.</i>
14	<i>Плавное увеличение газа на 1/3 свободного хода, двигая левый рычаг управления вверх.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Левый рычаг управления.</i>	<i>0,5 чел.-мин.</i>	<i>Необходимо убедиться в отсутствии посторонних шумов. Вибрация должна быть в пределах нормы и не иметь ярко выраженных резонансов.</i>
15	<i>Плавное увеличение газа для подъёма на небольшую высоту над поверхностью</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Левый рычаг управления.</i>	<i>0,5 чел.-мин.</i>	<i>Автомобиль не должен крениться, дергаться и интенсивно перемещаться в сторону.</i>
16	<i>Уменьшить газ для достижения точки висения.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Левый рычаг управления.</i>	<i>0,2 чел.-мин.</i>	<i>Автомобиль должен находиться в строго горизонтальном положении.</i>
17	<i>Наклонить левый рычаг управления влево, вправо для проверки управляемости.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Левый рычаг управления.</i>	<i>0,4 чел.-мин.</i>	<i>Автомобиль должен поворачиваться вокруг своей оси в желанном направлении. В противном случае эксплуатация транспортного средства запрещена.</i>
18	<i>Наклонить правый рычаг последовательно в каждую сторону для проверки управляемости.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Правый рычаг управления.</i>	<i>0,8 чел.-мин.</i>	<i>Автомобиль должен начать перемещение в желанном направлении. В противном случае эксплуатация транспортного средства запрещена.</i>
19	<i>Приступить к полёту.</i>	<i>В автомобиле.</i>	<i>Левый и правый рычаг управления.</i>	-	-

Стор. №

Перв. примеч.

				<b>ЭТТМ.ВР84АХ.000007К</b>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ док.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>	<i>Лит.</i>	<i>Масштаб</i>
					Б	1:1
<i>Разраб.</i>	<i>Булгаков И.А.</i>					
<i>Проб.</i>	<i>Енаев А.А.</i>					
<i>Т.контр.</i>						
<i>Исполн.</i>						
<i>Утв.</i>						
					<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
						1
					ПсковГУ	
					Группа 0034-05	
					Формат А1	

Копирабан