

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Автотракторный»
Кафедра «Колесных и гусеничных машин»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА

Рецензент

_____ 2017 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

Бондарь В.Н.

_____ 2017 г.

Электромобиль на базе ВАЗ 21118 с разработкой системы рекуперации

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 23.03.02.2017.394.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы
доцент, канд. наук.

А.Г. Уланов

_____ 2017 г.

Автор работы
студент группы П-404

Каврыга С.А.

_____ 2017 г.

Нормоконтролер
доцент, к.т.н.

Дуюн В.И.

_____ 2017 г.

Челябинск 2017

АННОТАЦИЯ

Каврыга С.А. Электромобиль на базе ВАЗ 2118 с разработкой системы рекуперации. – Челябинск: ЮУрГУ, КГМ; 2017 г., 142с., 55 ил., библиогр. список – 26 наим., 1 прил., 4 листа чертежей, ф. А1, 17 листов карт техпроцесса.

Объектом исследования являются автотранспортные средства с электродвигателем. Выполнен анализ преимуществ и недостатков автомобилей с электрической силовой установкой мировых производителей. Выполнен тягово-динамический расчет автомобиля ВАЗ 21118 с электрической силовой установкой и с двигателем внутреннего сгорания, представлено их сравнение.

Для написания данной работы был взят автомобиль ВАЗ 21118 (Lada Kalina).

Целью данной работы является перевод модельного ряда автомобиля Lada Kalina с бензиновой силовой установки на электрическую тягу.

Основной задачей квалификационной работы является выбор и расчет оптимальных параметров электродвигателя и его системы рекуперации энергии.

Отсутствие на рынке современных российских электромобилей свидетельствует о проблемах у отечественного автопрома и недостаточном техническом уровне производства, обусловленного сложностью процесса проектирования и изготовления.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА	9
1.1 Электромобиль Audi e-tron	13
1.2 Электромобиль Lada Ellada.....	22
1.3 Электромобиль Tesla Model S.....	28
2 КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ.....	37
2.1 Тягово-скоростной расчет автомобиля LADA Kalina с бензиновым двигателем (прототип).....	37
2.1.1 Расчётные параметры	40
2.1.3 Построение внешней скоростной характеристики.....	40
2.1.4 Характеристика заводской коробки переключения передач (КПП)	43
2.1.5 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля.....	44
2.1.6 Ускорение автомобиля	50
2.1.7 Определение времени и пути разгона.....	54
2.1.8 Мощностной баланс	58
2.2 Тягово-скоростной расчет автомобиля Lada Kalina с электрической силовой установкой	61
2.2.1 Исходные данные.....	61
2.2.2 Расчетные параметры	62
2.2.3 Выбор двигателя и построение его внешней скоростной характеристики	64
2.2.4 Определение передаточного числа главной передачи.....	71
2.2.5 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля.....	71
2.2.6 Ускорение автомобиля	75
2.2.7 Определение времени и пути разгона.....	79
2.2.8 Мощностной баланс	82
2.2.9 Рекуперативное торможение	85
2.3 Расчет одноступенчатого редуктора	85
2.3.1 Проектный расчет	86
2.3.2 Проверочный расчет.....	89
2.3.3 Компоновка редуктора	93
2.3.4 Подбор подшипников качения	95

									Лист
									5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2017.394.00 ПЗ				

2.3.5 Конструирование основных элементов	95
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.....	97
3.1 Обще технологическая часть	98
3.1.1 Анализ служебного назначения детали.....	98
3.1.2 Анализ технологичности детали	99
3.1.3 Анализ действующего технологического процесса обработки детали «Зубчатое колесо».....	101
3.1.4 Разработка проектного варианта технологического процесса обработки детали «зубчатое колесо».....	102
3.1.4.1 Анализ методов получения заготовки	102
3.1.4.2 Выбор технологических баз.....	103
3.1.4.3 Технологический маршрут обработки.....	104
3.1.4.4 Обоснование выбора технологического оборудования и технологической оснастки	108
3.1.4.5 Выбор режущего инструмента	109
3.1.4.6 Определение режимов резания и норм времени	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	119
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	120
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС.....	123
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СПЕЦИФИКАЦИИ.....	140

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

ВВЕДЕНИЕ

Применение моторного углеводородного топлива неизбежно сопровождается повышенным выбросом углекислого газа (CO_2) регламентирующим технический уровень современных автотранспортных средств (АТС). Снижение выбросов CO_2 традиционными методами не обеспечивает выполнение жестких экологических требований и является серьезной проблемой автомобилестроения.

Развитие автомобилей с электроприводом обусловлено заинтересованностью развития альтернативного автомобилестроения. Применение электропривода позволяет наиболее эффективно решить проблему повышения экологической безопасности АТС.

Целью выпускной квалификационной работы является попытка предложить вариант электрокара на базе отечественного автомобиля Lada Kalina, оснащенного электродвигателем и тем самым продемонстрировать положительный эффект от внедрения электродвигателей взамен двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Критерием этого эффекта послужит оценочная характеристика тягово-динамических свойств, топливная экономичность, экологичность, экономический эффект запуска в производство, безопасность в эксплуатации и ремонте. Объект исследования – легковой автомобиль среднего класса с электродвигателем, предназначенного для использования на дорогах общего пользования.

В работе предполагается исследовать взаимодействие электродвигателя и трансмиссии, представить теоретический расчет по рекуперации энергии во время движения автомобиля.

Приняв за основу возможность широкого диапазона работы электродвигателя, выполним тягово- динамический расчет проектируемого автомобиля и сравним его с прототипом.

Введем определения:

– «Lada Kalina – 1» – автомобиль «Lada Kalina» производства ОАО «АВТО-ВАЗ»;

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

– «Lada Kalina – 2» – автомобиль «Lada Kalina» производства ОАО «АВТО-ВАЗ» с энергетической установкой электродвигателя.

В дальнейшем проанализируем полученные данные, выявим преимущества и недостатки электродвигателя по отношению к ДВС. И подведем итог исследования.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		8

1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРОЕКТА

Электрическая машина представляет собой электромеханическое устройство, осуществляющее взаимное преобразование механической и электрической энергий. Электродвигатель – основной элемент электропривода рабочих машин. Хорошая управляемость электрической энергией и простота ее перераспределения позволили широко использовать в промышленности многодвигательный электропривод рабочих машин, когда отдельные звенья рабочей машины приводятся в движение самостоятельными двигателями. Многодвигательный привод значительно упрощает механизм рабочей машины (уменьшается число механических передач, связывающих отдельные звенья машины) и создает большие возможности автоматизации различных технологических процессов. Электродвигатели широко применяют на транспорте в качестве тяговых двигателей, приводящих во вращение колесные движители автомобилей, электровозов, троллейбусов и др [1].

Электромобили начинают повсеместно пользоваться все большей популярностью (рисунок 1.1), все больше автопроизводителей начинают разрабатывать, улучшать и придумывать новые решения для машин с электродвигателями.



Рисунок 1.1 – Парк электромобилей в России на начало 2016 года

Электромобиль – автомобиль, приводимый в движение одним или несколькими электродвигателями с питанием от автономного источника электроэнергии (аккумуляторов, топливных элементов и т.п.), а не двигателем внутреннего сгорания. Электромобиль следует отличать от автомобилей с двигателем внутреннего сгорания (ДВС) и электрической трансмиссией, а также от троллейбусов и трамваев. Под термином электромобиль понимается автомобиль, у которого для привода ведущих колес используется электрическая энергия, получаемая от химического источника тока [2].

В отличие от автомобиля с ДВС электромобиль имеет более простую конструкцию, включающую минимальное количество движущихся частей, а значит и более надежную.

Основными конструктивными элементами автомобиля с электрической силовой установкой являются [3]:

- 1) аккумуляторная батарея (АКБ);
- 2) электродвигатель (постоянного либо переменного тока);
- 3) трансмиссия;
- 4) бортовое зарядное устройство;
- 5) инвертор;
- 6) преобразователь постоянного тока (устанавливается только с электродвигателем переменного тока);
- 7) электронная система управления.

Автомобили с электродвигателями почти ни в чём не уступают своим собратьям с ДВС, а чаще наоборот – превосходят их.

Достоинства электромобилей [3]:

- 1) реализация максимального крутящего момента во всех диапазонах скоростей.
- 2) высокая экологичность, в связи с отсутствием необходимости применения углеводородов, антифризов, моторных масел, а также фильтров для очистки этих жидкостей. Отсутствие вредных выхлопов в местах нахождения автомобиля (выбросы опасных веществ по-прежнему происходят в процессе генерации

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		10

электричества на электростанциях, если не используются альтернативные источники энергии, как например солнечная энергия в сети автомобильных заправок Tesla Motors «Supercharger»).

- 3) простота конструкции (простота трансмиссии, отсутствие необходимости в переключении передач ввиду высокой приспособляемости крутящего момента тягового электродвигателя (ТЭД) к изменениям внешней нагрузки и низкой устойчивой частоты вращения вала электродвигателя, возможности его реверсирования) и системы управления, высокая надёжность и долговечность экипажной части (20–25 лет) в сравнении с обычным автомобилем.
- 4) ДВС является источником возникновения динамических нагрузок, крутильных колебаний в трансмиссии автомобиля. Он является источником вибраций, передающихся несущей конструкции автомобиля. На электромобиле ТЭД динамически уравновешен.
- 5) цена на топливо в разы дешевле, т.е. 1 кВт электроэнергии стоит дешевле, чем 1 литр топлива.
- 6) ТЭД имеет КПД в пределах 90–95 % по сравнению с 22–42 % у ДВС.
- 7) меньше шум за счёт меньшего количества движущихся частей и механических передач.
- 8) высокая плавность хода в широком интервале изменения частоты вращения вала электродвигателя.
- 9) возможность торможения электродвигателем (режим электромагнитного тормоза) без использования механических тормозов – отсутствие трения и, соответственно, износа тормозов.
- 10) возможность реализации полного привода и торможения путём применения схемы «мотор-колесо», что позволяет реализовать систему поворота всех четырёх колес, вплоть до положения, перпендикулярного кузову электромобиля.
- 11) меньшее лобовое сопротивление воздуху в виду отсутствия радиатора и других систем охлаждения. Однако мощные электромобили все-таки имеют жидкостную систему охлаждения и, соответственно, радиатор.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		11

- 12) большой межсервисный пробег, простота и не высокая стоимость технического обслуживания и текущего ремонта.
- 13) низкая пожара и взрывоопасность при аварии.
- 14) возможность подзарядки от бытовой электрической сети (розетки), хотя это в 5–10 раз дольше, чем от специального высоковольтного зарядного устройства.
- 15) возможность подзарядки аккумуляторов во время рекуперативного торможения и движения «накатом».
- 16) возможность подзарядки аккумуляторов от энергии солнца (как во время движения, так и во время стоянки).
- 17) беспроводная индукционная зарядка.

Правда у сегодняшней концепции существует и ряд временных недостатков [3]:

- 1) аккумуляторы за полтора века эволюции так и не достигли плотности энергии и стоимости, сопоставимой с горючим топливом, однако и этого уже достаточно, чтобы почти на равных конкурировать с автомобилями на бензине и дизельном топливе.
- 2) проблемой является производство и утилизация аккумуляторов, которые часто содержат ядовитые компоненты (например, свинец или литий), а также кислоты.
- 3) часть энергии аккумуляторов тратится на охлаждение или обогрев салона автомобиля, а также питание прочих бортовых энергопотребителей (например, свет или воздушный компрессор). Зимой дальность пути уменьшается в 3 раза. Без подогрева аккумуляторные батареи функционируют значительно хуже.
- 4) высокая стоимость литиевых батарей и большой вес достаточно ёмких свинцовых батарей.
- 5) зависимость ёмкости аккумулятора от режима разряда. Ёмкость приблизительно обратно пропорциональна корню квадратному от разрядного тока. Переход от секундных режимов разряда (стартер) к часовым увеличивает реальную ёмкость в десятки раз, поэтому этот недостаток несущественен.

б) малый пробег большинства электромобилей на одной зарядке. Литиевая батарея ёмкостью 24 кВт·ч позволяет электромобилю проехать около 160 км. Использование кондиционера, отопителя салона, загрузка электромобиля пассажирами или грузом, движение с частым разгоном/торможением и скоростью более 90-100 км/ч уменьшают пробег до 80 км.

7) мощность, вырабатываемая всеми современными электростанциями, значительно меньше, чем мощность всех современных автомобилей. Вырабатываемой энергии не хватит на одновременную зарядку очень большого количества электромобилей. Однако следует учесть, что выработка бензина также требует электричества (до 5 кВт·ч на литр), поэтому по мере уменьшения мирового потребления бензина мощности электростанций будут перераспределяться в сторону энергообеспечения электромобилей. Кроме того, у большого количества автомобилей мощность ДВС сильно завышена для того, чтобы обеспечить быстрый разгон, а электромобилю это не нужно.

8) электрический заряд аккумулятора постепенно ослабевает, даже если он не эксплуатируется.

Разработкой и выпуском электромобилей, а также с гибридной установкой занимаются следующие автопроизводители: Audi, АвтоВАЗ, Mercedes, BMW, Tesla, КамАЗ, Honda, Volkswagen, Venturi, Porsche, Toyota и другие.

1.1 Электромобиль Audi e-tron

Audi впервые использовало название e-tron в 2009 году для электрического концепта на базе суперкара R8 (рисунок 1.2) [4].

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		13



Рисунок 1.2 – Внешний вид электромобиля Audi R8 e-tron

В публикации председателя правления компании Audi Руперта Стедлера (Rupert Stadler) в британском журнале Autocar сообщается, что похожее произошло и с первым автомобилем Audi quattro, который был известен просто как quattro. Как сообщает Стедлер, в долгосрочной перспективе e-tron будет означать использование на автомобиле электрического типа силового привода. Название e-tron будет также комбинироваться с традиционными названиями моделей немецкого автопроизводителя, к примеру, A6 e-tron, A7 e-tron, A8 e-tron и т.д. Внешне электромобиль отличается от обычной версии другой решеткой спереди, а также некоторыми накладками по кругу [4].

Оригинальная компоновка электрокара представлена на рисунке 1.3

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

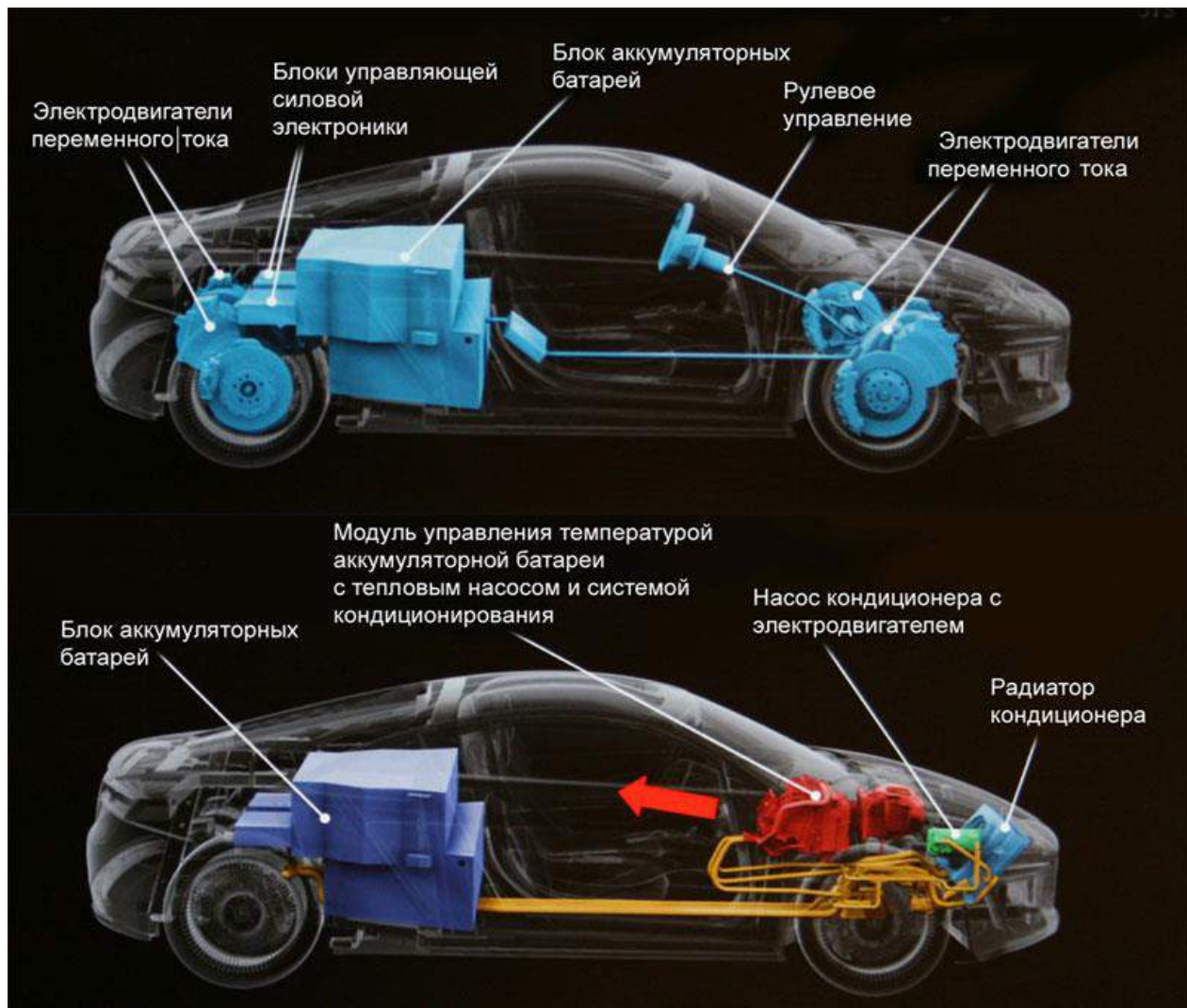


Рисунок 1.3 – Компоновка Audi R8 e-tron

Модель Audi R8 e-tron обладает огромным для электромобиля запасом хода в 450 км за счет аккумуляторов увеличенной ёмкости. Audi R8 e-tron 2.0 оснащается Т-образными литиево-ионными аккумуляторами ёмкостью 92 кВт·ч (рисунок 1.4), что и позволяет электрокару обладать таким внушительным запасом хода.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

15

Audi R8 e-tron

Lithium-Ionen-Hochvolt-Batterie
Lithium-ion high-voltage battery
06/13

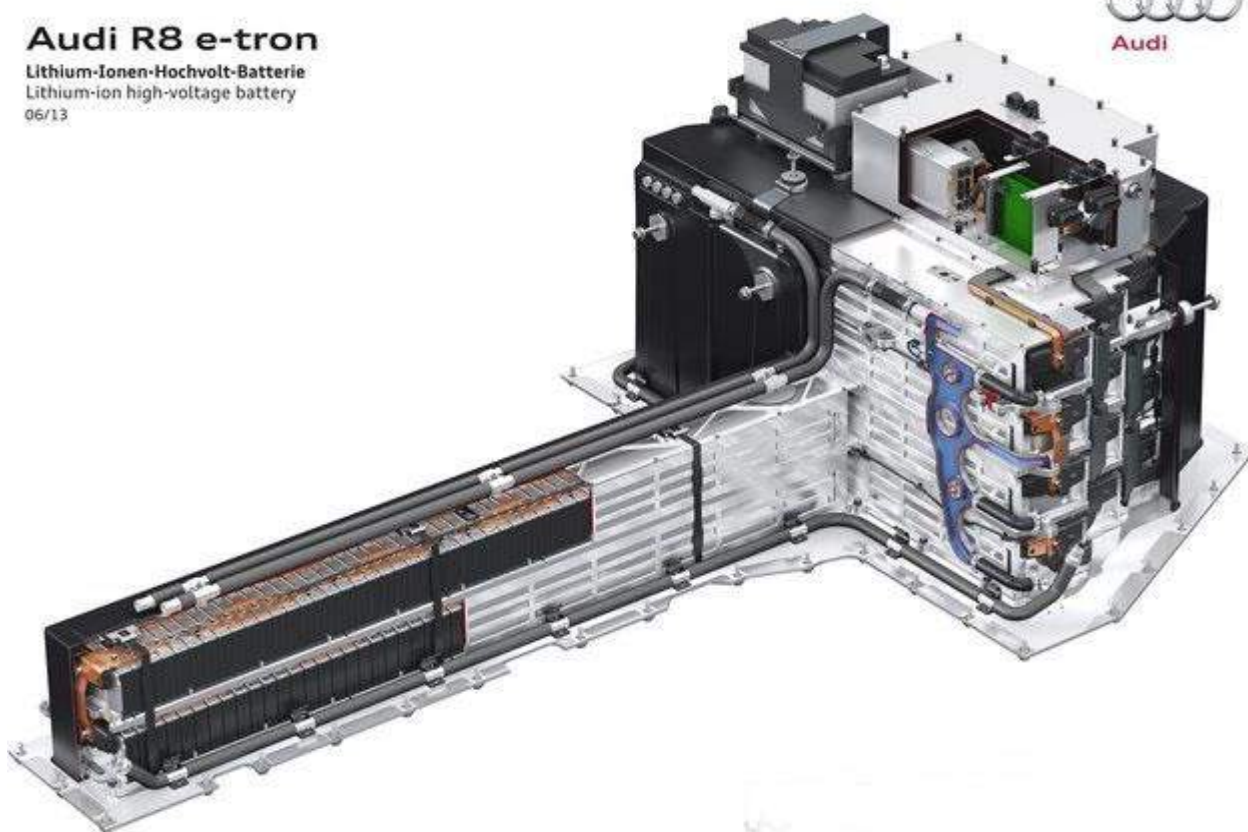


Рисунок 1.4 – Т-образный литиево-ионный аккумулятор высокого напряжения

Audi R8 e-tron

Thermomanagement
Kälteanlage aktive Batteriekühlung
10/12



Рисунок 1.5 – Система принудительного охлаждения аккумуляторных батарей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

16

На каждой оси автомобиля (рисунок 1.6) установлено по два электродвигателя мощностью 231 л.с., которые развивают крутящий момент 920 Нм и разгоняют электрокар до 100 км/ч за 3,9 секунды.



Рисунок 1.6 – Силовая установка Audi R8 e-tron

Коробки передач в том виде, к которому мы привыкли у автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, у Audi R8 e-tron нет. Трансмиссия реализована в виде одноступенчатой планетарной передачи с жидкостным охлаждением (рисунок 1.7).

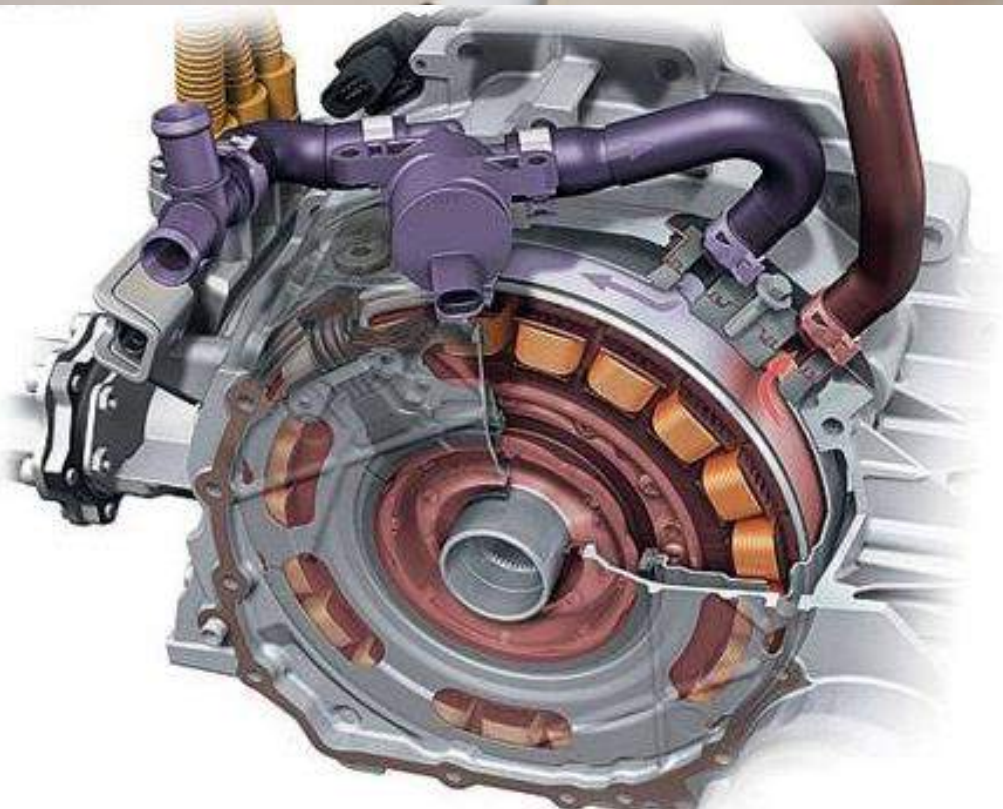


Рисунок 1.7 – Одноступенчатая планетарная передача Audi R8 e-tron

Применение новых идей и концепций в электрокаре уместно, как нигде. И в Audi R8 e-tron они присутствуют в изобилии. Большая часть оригинальных реше-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

18

ний направлена на экономию энергетического ресурса автомобиля. Колесные диски имеют активные заслонки, которые способствуют уменьшению сопротивления встречному потоку воздуха на пару сотых процента (рисунок 1.8).

Audi R8 e-tron

Aerodynamik
Aerodynamics
06/13



Рисунок 1.8 – Аэродинамика Audi R8 e-tron

В конструкции Audi R8 e-tron широко используются новые современные материалы (стеклопластик, углепластик, алюминиевые ячеистые материалы, сплавы из алюминия, магния, титана и т.д.) (рисунок 1.9), что способствует снижению общей массы электрокара и косвенно снижает эксплуатационные энергозатраты. Пружины изготовлены из полимеров, детали кузова изготовлены из углепластика, диски колёс – титановые.

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Audi R8 e-tron

Lightweight construction details

06/13



Audi

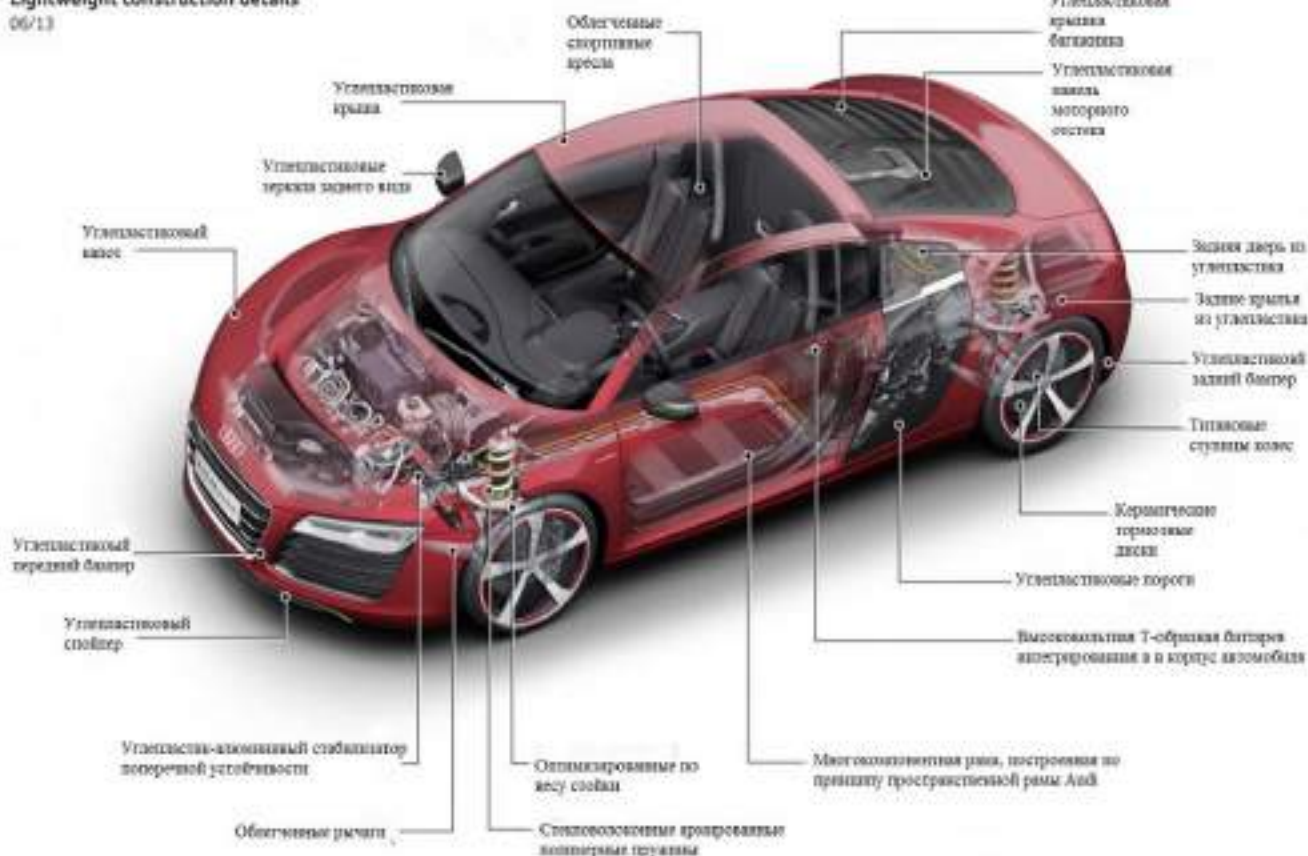


Рисунок 1.9 – Облегчённые детали конструкции Audi R8 e-tron [4]

Может быть немецкая автомобильная компания Audi и не является лидером на рынке электрокаров, однако, ее способность думать неординарно помогла ей создать метод по выработке электроэнергии непосредственно при езде автомобиля. Audi создала новую систему амортизации eROT с возможностью генерации дополнительной электроэнергии (рисунок 1.10). Компания Audi представила свои инновационные электромеханические роторные амортизаторы, которые пополняют запасы электроэнергии за счет неровностей на дорогах. Получаемые небольшие порции электричества могут быть в дальнейшем использованы различными системами автомобиля. Система eROT работает по принципу кинетических часов, заряжающихся при движении руки владельца. Вертикальные выступы на дороге перемещают рычаг, который подсоединяется через ряд механизмов к небольшому генератору переменного тока [4].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

20

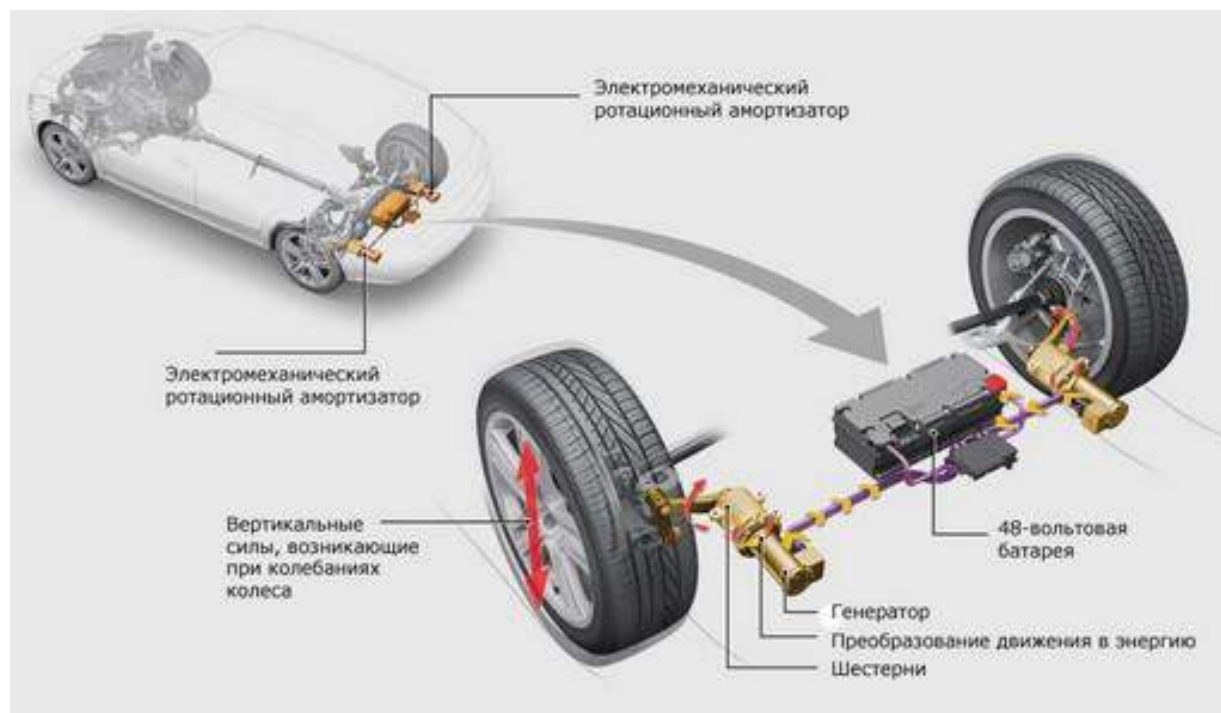


Рисунок 1.10 – Система амортизации eROT

Выработанное электричество накапливается в чрезвычайно компактной батарее (в 120 раз меньше самого маленького аккумулятора Tesla) мощностью 500 Вт. Для сравнения, обычная солнечная панель для крыши здания размером 3×5 м вырабатывает примерно 300 Вт электричества. Во время дорожных испытаний на трассах Германии мощность рекуперации энергии в среднем варьировалась в пределах 100–150 Вт, а на свежееуложенной автомагистрали более низкой категории она составляла 300–613 Вт. Полученные параметры соответствуют снижению выбросов CO₂ до трех грамм за каждый километр.

Система eROT создана на базе высокопроизводительной 48-вольтовой электрической системы. По имеющимся данным, ёмкость литий-ионной батареи составляет 0,5 кВт·ч, предельная выходная мощность её – 13 кВт. Преобразователь постоянного тока соединяет 48-вольтовую подсистему с 12-вольтовой электрической системой, представляющей собой улучшенный выходной генератор высокой эффективности.

Несмотря на то, что eROT вырабатывает незначительное количество электроэнергии, эта технология позволяет восстанавливать утраченную долю электроэнергии для использования, к примеру, в осветительных приборах автомобиля.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

21

Возможно, в будущем компании удастся сделать механизм eROT управляемым водителем или компьютером в автомобиле во время езды. Не исключено, что различные датчики и камеры будут в скором времени заранее распознавать состояние дорожного покрытия для настройки демпфера.

Тормоза у Audi R8 e-tron не греются, так как почти вся кинетическая энергия движущегося автомобиля во время служебного торможения направлена на рекуперацию и соответственно на подзарядку аккумуляторных батарей.

Если всё перечисленное выше всё-таки можно как-то представить на обычном автомобиле, то e-tron обладает одним совершенно уникальным качеством: электродвигатели работают очень тихо, по сравнению с двигателями внутреннего сгорания – бесшумно. Это, конечно, большой плюс. Они работают на столько тихо, что когда автомобиль движется медленно, пешеходы вообще не реагируют на электрокар, потому что они его просто не слышат. По этому, когда e-tron движется с небольшими скоростями, он имитирует звук работы двигателя через специальный динамик.

1.2 Электромобиль Lada Ellada

Lada Ellada – первый серийный российский электромобиль производства «АвтоВАЗ» (рисунок 1.11 и 1.12), построен на шасси Lada Kalina и в 2011 году впервые показан публике [5].

Разработкой и продвижением проекта от Автозавода Группы «АвтоВАЗ» (ПАО «АвтоВАЗ») занимались Евгений Шмелёв, Сергей Курдюк, Сергей Аманов, Сергей Ивлев, Александр Свиридов (руководитель проекта производства экспериментальной партии), Георгий Ефремов и Дмитрий Толмачев (Ставропольский край). Разработка концепта обошлась в 10 млн. €, а стоимость серийного образца составляет 1,25 млн. рублей (30 тыс. € на начало 2013 года). Первый частный автомобиль приобрёл глава «Ростехнологий» С. В. Чемезов.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		22

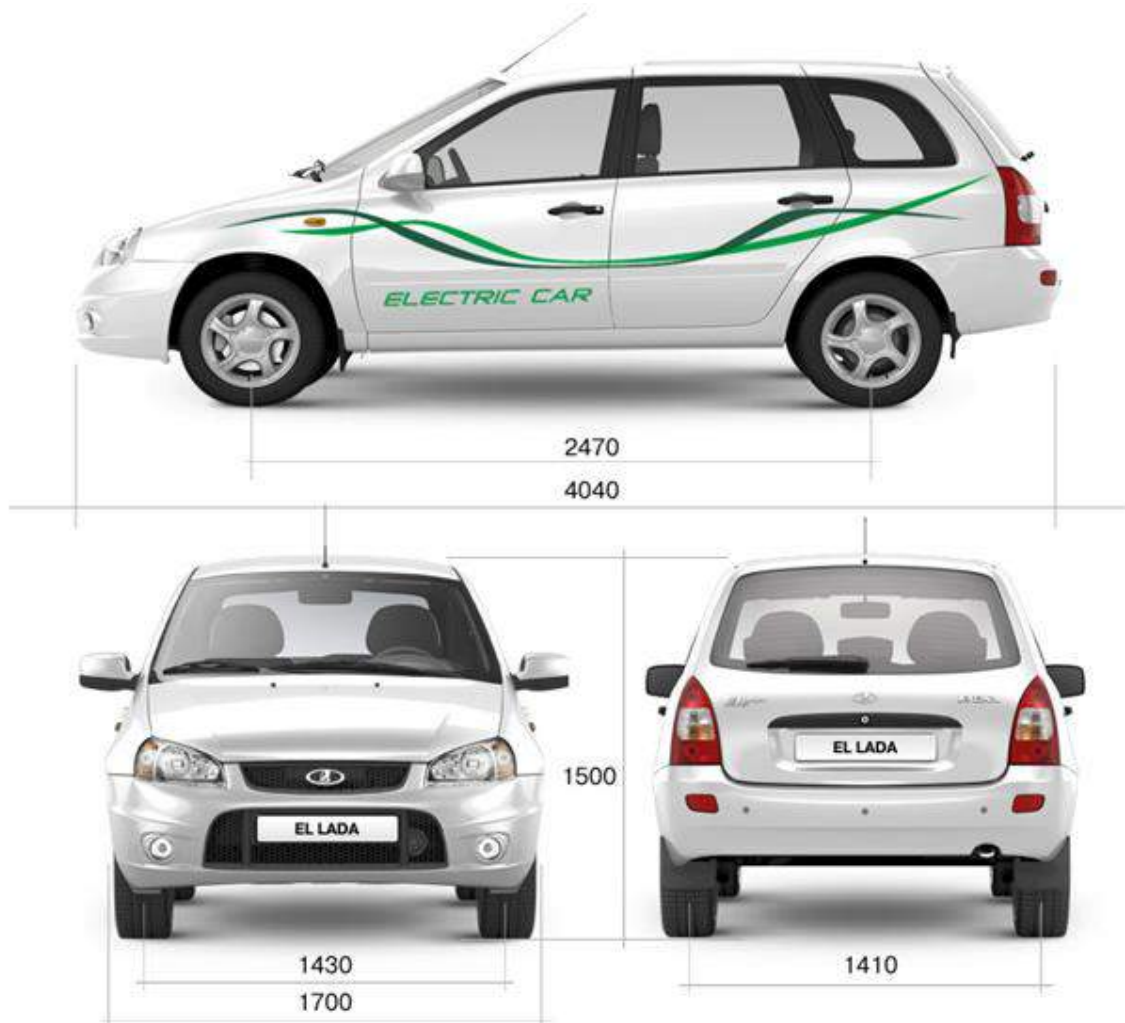


Рисунок 1.11 – Внешний вид и габаритные размеры электромобиля Lada Ellada



Рисунок 1.12 – Компоновка электромобиля Lada Ellada [5]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

23

Таблица 1.1 – Техническая характеристика электромобиля Lada Ellada

Снаряжённая масса		1250 кг
Число мест		5
Максимальная скорость		130 км/час
Разгон до 100 км/час		14 сек
Пробег на одной зарядке, по комбинированному циклу		150 км
Электродвигатель (Швейцария)	тип	асинхронный
	охлаждение	Жидкостное
	мощность	60 кВт (81,58 л.с)
	масса с трансмиссией	86 кг
Батарея	тип	литий-фосфат-железо
	энергоёмкость	23 кВт·ч
	масса	270 кг
	срок службы	3000 циклов
Зарядное устройство		Бортовое
Время зарядки от бытовой сети		8 часов
Система тормозов	гидравлическая	с вакуумным усилителем
	электрическая	с рекуперацией энергии

В салоне сразу же бросается в глаза наличие джойстика (рычага), позволяющего выбирать направление движения – вперед или назад, на панели приборов, кроме стандартных показателей, есть еще и эконометр (рисунок 1.13). Остальные компоненты дизайна особо не отличаются от аналогичных в Калине.

Комбинация приборов



Переключатель направления движения



Рисунок 1.13 – Интерьер и органы управления электромобиля Lada Ellada

У электродвигателя (рисунок 1.14) жидкостное охлаждение с обычным «калиновским» радиатором и дополнительным электронасосом. Там же, в моторном отсеке – часть батарей (литий-ионные батареи китайского производства). Основная батарея находится в мощном стальном каркасе под задними сиденьями. Клиренс автомобиля достаточно мал, однако по поводу возможных повреждений АКБ можно не переживать [5].

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

25



Тяговый электропривод (двигатель с инвертором)



- | | |
|---------------------------------|-------------|
| • Тип – трёхфазный | |
| • Охлаждение - жидкостное | |
| • Номинальное напряжение | 240 – 288 В |
| • Максимальный потребляемый ток | 400 А |
| • Длительная мощность на валу | 30 кВт |
| • Кратковременная мощность | 60 кВт |
| • Длина двигателя | 420 мм |
| • Диаметр двигателя | 235 мм |
| • Габариты инвертора | 350x210x110 |
| • Вес комплекта | 70 кг |

Рисунок 1.14 – Моторный отсек электромобиля Lada Ellada.

Аккумулятор Lada Ellada может держать заряд на протяжении 7-8 часов, количество циклов зарядки-разрядки составляет 3000. Если перефразировать, то батареи хватает, в среднем, лет на 8 работы или на 500 тыс. км пробега. Зарядку можно осуществлять от обычной бытовой электросети (рисунок 1.15).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

26



Рисунок 1.15 – Заряд аккумуляторной батареи Lada Ellada

Заряда батареи хватает на 150 км пробега. Время заряда батареи от бытовой сети – восемь часов. Доступ к ним осуществляется из салона при подъёме подушки заднего сиденья. Суммарная ёмкость батарей – 100 Ач. В тоннеле пола расположено бортовое зарядное устройство, тоже швейцарского производства. Двигатель плотно накрыт защитным кожухом. Возле него находится «традиционная АКБ», играющая роль запасного источника питания – она будет запитывать второстепенные системы автомобиля, не имеющие прямого отношения к движению (сигнализация, магнитола и т.д.), но для которых, кстати, тоже требуется немало энергии.

Тормозная система построена на гидравлическом приводе с вакуумным усилителем, при торможении задействуется рекуперация энергии электропривода, как и на Tesla Model S.

Официальный запас хода на одной зарядке у электромобиля составляет 150 км, но, как показала эксплуатация в Кисловодске, такой запас хода сохраняется только при положительной температуре воздуха. При низкой температуре воздуха ёмкость батарей заметно снижается, что сокращает пробег до 100 км, а при включении отопления, подогрева стёкол и сидений – до 50-70 км. Кроме того, на расход

влияет стиль езды и пользование приборами освещения – так, при самом неэкономичном режиме заряда батарей хватает на 45 км.

1.3 Электромобиль Tesla Model S

Электрокар Tesla Model S впервые сошёл с конвейера американской малоизвестной тогда ещё компании Tesla Motors в 2012 году. Прототип данного электрокара был представлен в 2009 году в Германии на Франкфуртском автосалоне, тогда-то все и началось [6].



Рисунок 1.16 – Внешний вид электромобиля Tesla Model S

Автомобиль приводится в движение исключительно электродвигателем и это является основой. По скоростным показателям Tesla Model S P90D оставляет позади таких именитых «жеребцов», как Porsche 911 и BMW M5. Не плохо для семейного пятидверного седана и то, что его безопасность после краш-тестов была оценена в 5 звёзд (самый безопасный автомобиль 2013 года).

На электрокар установлен современный литий-ионный аккумулятор (рисунок 1.17), ёмкостью 85 кВт·ч или 60 кВт·ч (зависит от комплектации). Аккумулятора

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		28

хватает, чтобы преодолеть расстояние равное 426 км и 335 км соответственно. Подобный показатель с легкостью конкурирует с прочими автомобилями сегмента S, оснащенными двигателями внутреннего сгорания. Батарея весом 450 кг состоит из 16 блоков и располагается вдоль днища автомобиля, что дополнительно повышает торсионную жесткость кузова и его пассивную безопасность. Такое расположение аккумулятора позволяет снизить центр тяжести автомобиля до 45 см [6].



Рисунок 1.17 – Литиево-ионный аккумулятор электромобиля Tesla Model S

Ресурс аккумуляторной батареи составляет 7 лет или 160 тыс. километров пробега. Время зарядки батареи от бытовой сети переменного тока 110 В за 1 час восполняет 8 км пути, время зарядки от бытовой сети переменного тока 220 В за 1 час восполняет 50 км пути. Время полной зарядки на станции Tesla Supercharger составляет 30 минут, причём эта услуга для всех владельцев электрокаров Tesla Model S предоставляется бесплатно.

Стоит отметить, что аккумулятор Tesla Model S имеет крайне высокую плотность заряда (подобные аккумуляторы используются в ноутбуках). Высокий ре-

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		29

сурс батареи достигается за счет современной системы жидкостного охлаждения, которой, кстати говоря, охлаждается и сам электродвигатель.

Электродвигатель Tesla Model S (рисунок 1.18) – трёхфазный, асинхронный, переменного тока. Габаритный размер (диаметр) электродвигателя составляет 9 дюймов (22,5 см), вес 150 фунтов (68 кг) и около 300 фунтов (136 кг) весит вся силовая установка (с редуктором и инвертором). Мощность электродвигателя 302/362/416 л.с., максимальный крутящий момент равен соответственно 430/440/600 Нм. Максимальная частота вращения вала электродвигателя 16000 об/мин, что позволяет электрокару двигаться со скоростью 130 миль/ч (210 км/ч) (официально не подтверждено) [6].

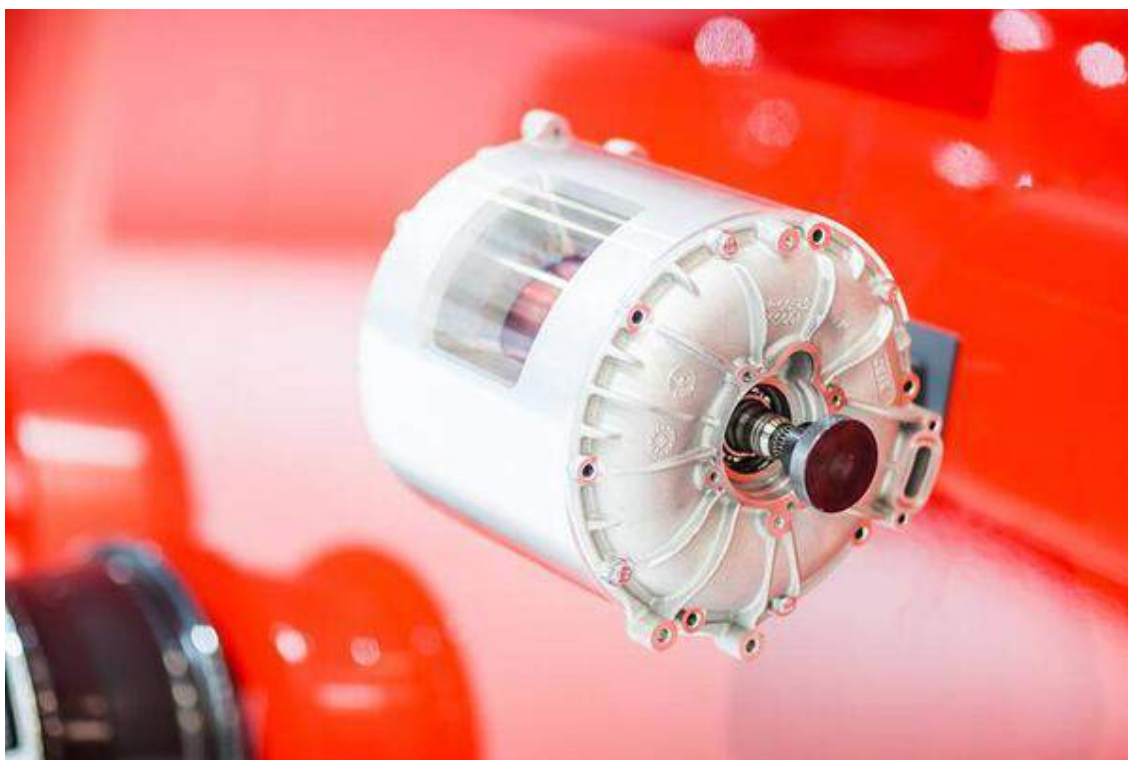


Рисунок 1.18 – Электродвигатель Tesla Model S

Двигатель является собственной разработкой компании Tesla Motors и не имеет аналогов. Электродвигатель установлен на задний мост автомобиля.

Кроме того, современный электромобиль имеет надежную трансмиссию от компании Mercedes-Benz, которая приводит автомобиль в движение при помощи одноступенчатого редуктора с передаточным числом равным 9,73 (рисунок 1.19). Трансмиссия оснащена жидкостной системой охлаждения и включает в себя аккумуля-

мулятор, электродвигатель, преобразователь и коробку передач (редуктор). Преобразователь с частотно-регулируемым приводом и системой рекуперативного торможения.

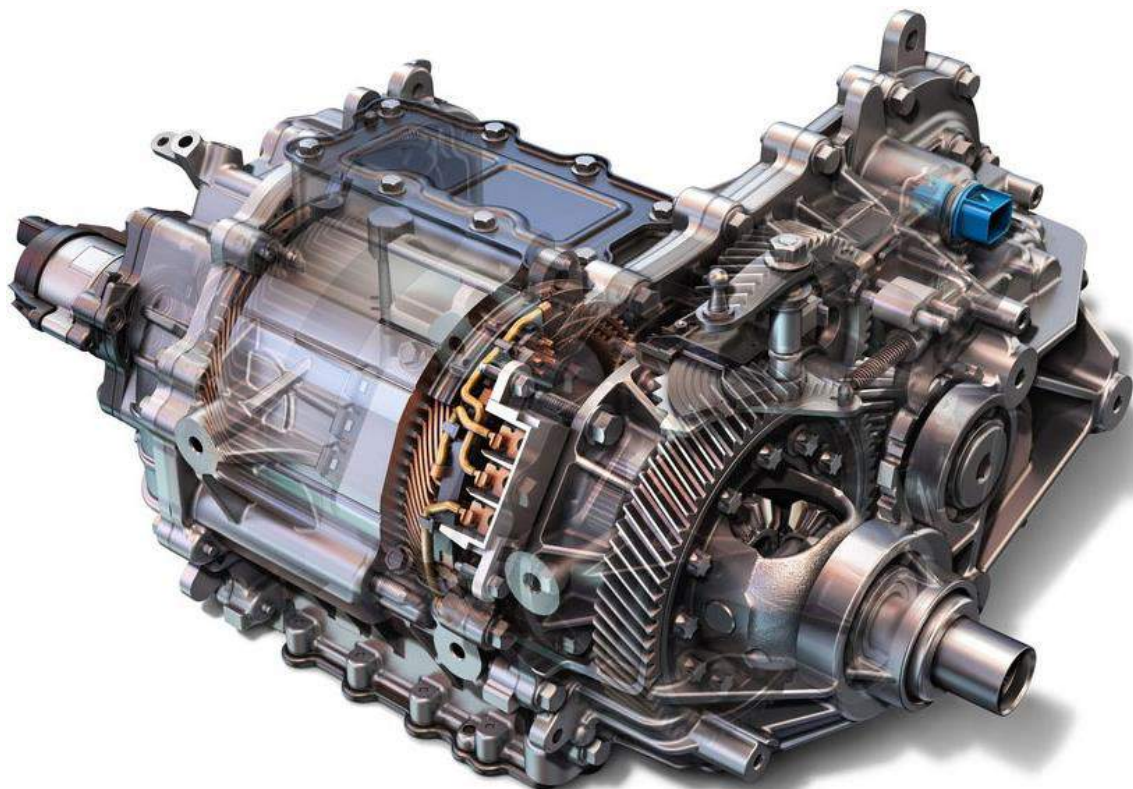


Рисунок 1.19 – Трансмиссия электромобиля Tesla Model S [6]

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

31

В случае P85D установка привода Dual Motor означает 224 л.с. на передних колёсах и 476 л.с. – на задних, в сумме 700 л.с. Максимальный крутящий момент равен 331 Нм спереди и 600 Нм сзади (всего 931 Нм). Паспортное время разгона с места до 60 миль/ч (97 км/ч) сокращается с 4,2 до 3,2 с. Это быстрее, чем у седана Dodge Charger SRT Hellcat (3,7 с) и хэтча Porsche Panamera Turbo S (3,6 с). Максимальная скорость «эски» возрастает с 209 (P85) до 249 км/ч (P85D).

Основные технические характеристики электромобиля Tesla Model S P100D представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Техническая характеристика электромобиля Tesla Model S P100D [6]

Снаряжённая масса	2108 кг	
Длина	4976 мм	
Ширина (с учетом боковых зеркал)	1963 мм	
Высота	1435 мм	
Колесная база	2959 мм	
Клиренс	154,9 мм	
Объем багажника	900 литров	
Число мест	5	
Максимальная скорость	250 км/ч	
Разгон до 100 км/час	2,5 сек	
Пробег на одной зарядке	507 км	
Электродвигатель	тип	асинхронный
	охлаждение	жидкостное
	мощность	700 л.с.
	крутящий момент	931 Нм
	масса с трансмиссией	136 кг
Батарея	тип	литий-ионная
	энергоёмкость	100 кВт·ч
	масса	450 кг
	длина	2,1 м
	ширина	1,2 м
	высота	0,15 м
	ресурс	7 лет или 160 тыс. км
Зарядное устройство		бортовое
Время зарядки от бытовой сети переменного тока 110 В		50 часов
Время зарядки от бытовой сети переменного тока 220 В		8 часов
Время полной зарядки на станции Tesla Supercharger		бесплатно за 30 минут

Продолжение таблицы 1.2

Система тормозов	гидравлическая	с вакуумным усилителем
	электрическая	с рекуперацией энергии

После обновления ПО время разгона Model S P100D с 0 до 100 км/ч в режиме Ludicrous Mode сократится с нынешних 2,5 до 2,4 секунды. В Tesla отмечают, что это третий показатель среди всех выпущенных серийных машин (после LaFerrari и Porsche 918 Spyder) и первый – среди тех, которые выпускаются большими сериями. Четверть мили (402 метра) автомобиль сможет преодолеть за 10,6 секунды. Таким образом, как отмечают сетевые источники, по соотношению цены и динамики электромобили Tesla попросту окажутся вне конкуренции. К примеру, суперкары Porsche 918 Spyder, Ferrari LaFerrari и Bugatti Veyron Grand Sport Vitesse с бензиновым двигателем мощностью более 1000 л.с., способные разогнаться до 100 км/ч за 2,5 секунды, стоят соответственно \$845 тыс., \$1,42 млн и \$2,25 млн. В то же время электромобиль Model S P100D обходится покупателям примерно в \$135 тыс.

Электромобиль Model S P100D – это семейный автомобиль с автопилотом, четырьмя дверями и двумя дополнительными сидениями для детей. Превратить свою более старую версию Model S P90D стоимостью около \$145 тыс. (в максимальной комплектации) в новую P100D можно покупкой новой батареи за \$20 тыс. Помимо ошеломляющей динамики разгона, она обеспечивает и большой запас хода: до 507 км (315 миль) на одной зарядке. В компании говорят, что это первый электромобиль, преодолевший отметку в 300 миль. Почему так важна динамика? Дело в том, что Model S позиционируется как премиальный авто, и в этом сегменте машины Tesla уже потеснили все другие премиальные марки на рынке США. Потребители предпочитают более безопасные, простые в обслуживании и повседневной эксплуатации электромобили от Tesla Motors, которые обеспечивают такую же динамику, как и суперкары. Кроме того, выпуск новых батарей демонстрирует потенциал для

									Лист
									33
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2017.394.00 ПЗ				

монетизации разработок Tesla Motors, таких как новые аккумуляторы. В будущем это поможет создать стабильный денежный поток.

Нынешние владельцы Model S P90D могут улучшить свои автомобили до новой версии за \$20 тысяч. Те, кто заказал эти модели, но не получил, могут заменить их на новую с доплатой в \$10 тысяч. Разница в цене объясняется тем, что старые аккумуляторы придется утилизировать.

Электромобиль Tesla Model S просто пропитан современными технологиями, не исключение и его ходовая часть (рисунок 1.20).



Рисунок 1.20 – Ходовая часть электромобиля Tesla Model S

Пневматическая подвеска (рисунок 1.21) способна изменять просвет автомобиля, достаточно задать желаемый клиренс, и машина поднимется или опустится по желанию хозяина. За счет заниженного центра тяжести, автомобиль уверенно себя чувствует даже с максимальным клиренсом.

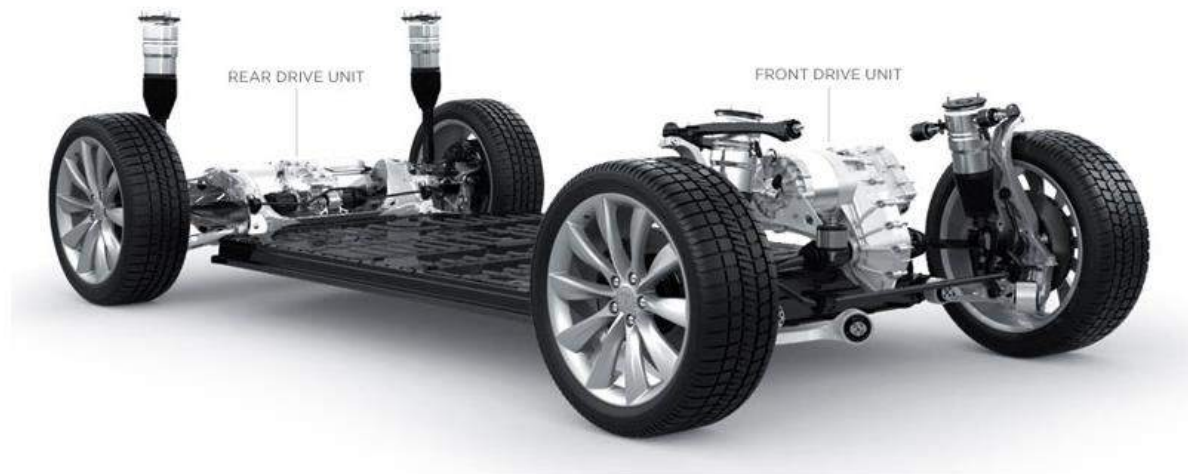


Рисунок 1.21 – Ходовая часть электрокара Tesla Model S P100D

Рулевое управление реечное и само собой имеет электроусилитель. Бортовой компьютер позволяет задавать жесткость руля. Имеется несколько уровней, начиная от спортивного жесткого и заканчивая комфортным «мерседесовским» мягким.

Тормозная система Tesla Model S достойна отдельного внимания. Основная тормозная система состоит из вентилируемых тормозных дисков (рисунок 1.19, 1.22) и электронной системы стояночного тормоза. Но основная «фишка» этого электрокара – рекуперативная система торможения. С ее помощью автомобиль способен тормозить двигателем и преобразовывать получаемую энергию в электричество, заряжая тем самым аккумулятор автомобиля. Это крайне полезная и удобная функция. Чтобы активировать рекуперативную систему торможения, водителю необходимо просто плавно отпустить педаль газа и электрокар сам начнет притормаживать, преобразуя энергию торможения в полезную энергию.

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2017.394.00 ПЗ					35

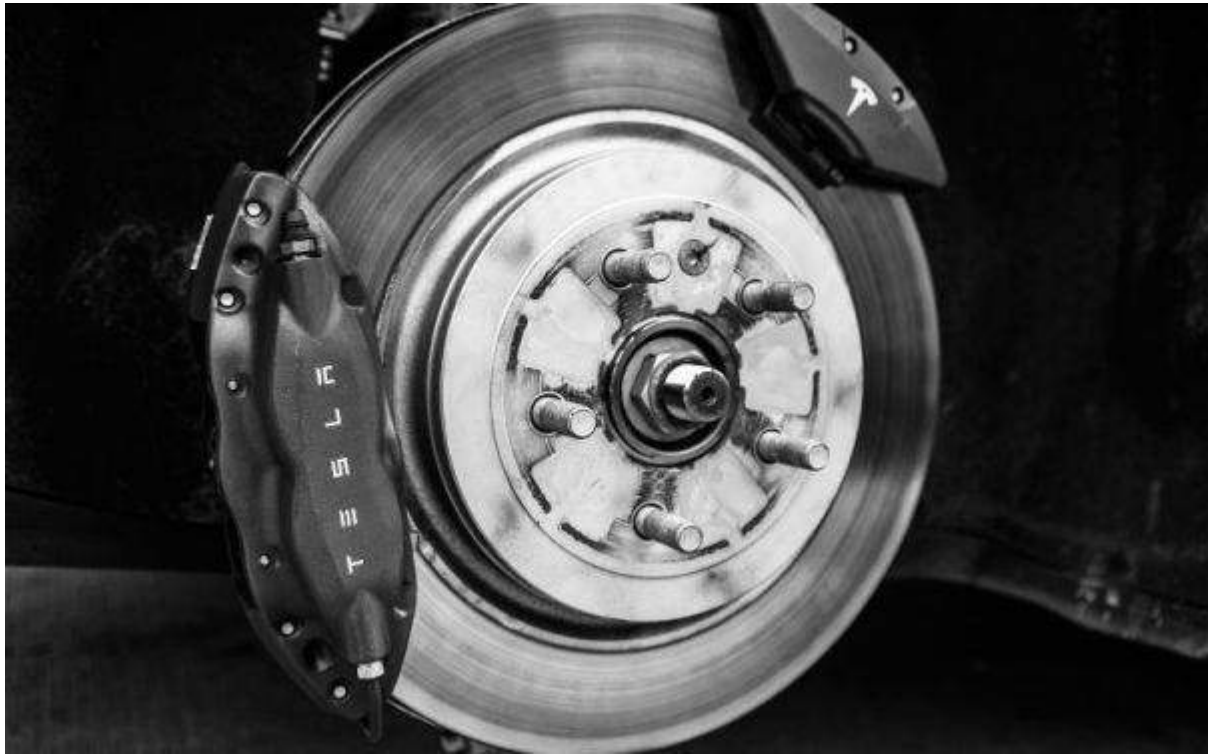


Рисунок 1.22 – Тормозной механизм Tesla Model S

Вывод по первому разделу

Исходя из технико-экономического обоснования видно, что компаний производящих электро-автомобили много, одной из лучших является Tesla. Силовые установки, применяемые на электро-автомобилях, представляют собой асинхронные двигатели постоянного тока, либо синхронные двигатели переменного тока. Асинхронные двигатели пользуются большей популярностью т.к. могут работать в рекуперативном режиме (режим генератор).

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

2 КОНСТРУКТОРСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

2.1 Тягово-скоростной расчет автомобиля LADA Kalina с бензиновым двигателем (прототип)

Тягово-скоростные свойства автомобиля – это совокупность свойств, определяющих выходные характеристики его прямолинейного движения в различных условиях, при работе двигателя на внешней скоростной характеристике. Тяговый режим характеризуется передачей мощности от двигателя к ведущим колесам достаточной для преодоления сопротивления движению. Скорость движения автомобиля выбирают, исходя из эксплуатационных условий.

К показателям выходных характеристик, оценивающих тягово-скоростные свойства автомобиля, относятся: для заданных дорожных условий максимальная скорость движения, максимальное ускорение, максимальные преодолеваемые подъемы и минимальное время разгона до определенной скорости.

Тягово-скоростные свойства имеют важное значение при эксплуатации автомобиля. Они во многом определяют его среднюю скорость и производительность, которые являются важнейшими его показателями.

При выполнении тягового расчета автомобиля были взяты заводские параметры:

- полная масса автомобиля;
- размер шин;
- максимальная мощность, рабочий объем двигателя;
- передаточные числа трансмиссии.

Были определены:

– внешняя-скоростная характеристика, мощностной, тяговый и динамический балансы автомобиля;

- ускорение, время и путь разгона автомобиля.

Расчеты поясняются следующими графиками:

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

- внешняя скоростная характеристика двигателя;
- диаграмма переключения передач;
- мощностной баланс автомобиля на высшей передаче;
- тяговый и динамический балансы автомобиля;
- ускорение и обратное ускорение;
- время и путь разгона автомобиля.

Исходные данные [7]:

- легковой автомобиль с приводом на переднюю ось;
- пассажировместимость – 5 человек;
- легковой автомобиль используется на дорогах с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием.

Выбираемые параметры:

- прототип – LADA Kalina (рисунок 2.1);
- модель двигателя 11186, бензиновый, объемом 1,6 литра, 8 клапанный, мощностью 64 кВт (87 л.с), крутящий момент 140 Нм (при 3800 об/мин) [7]
- масса снаряженного автомобиля $m_0 = 1160$ кг;
- полная масса $m_a = 1585$ кг;
- максимальный угол подъема, преодолеваемый автомобилем $a_{\max} = 20^\circ$;
- распределение веса по осям автомобиля $P/Z = 60/40$;
- коэффициент полезного действия трансмиссии зависит от её типа и конструктивных особенностей. Усреднённое значение КПД механической трансмиссии с двухвальной коробкой перемены передач $\eta_{\text{тр}}=0,92$. (рисунок 2.2).

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		38



Рисунок 2.1 – Внешний вид автомобиля ВАЗ-21118 [7]

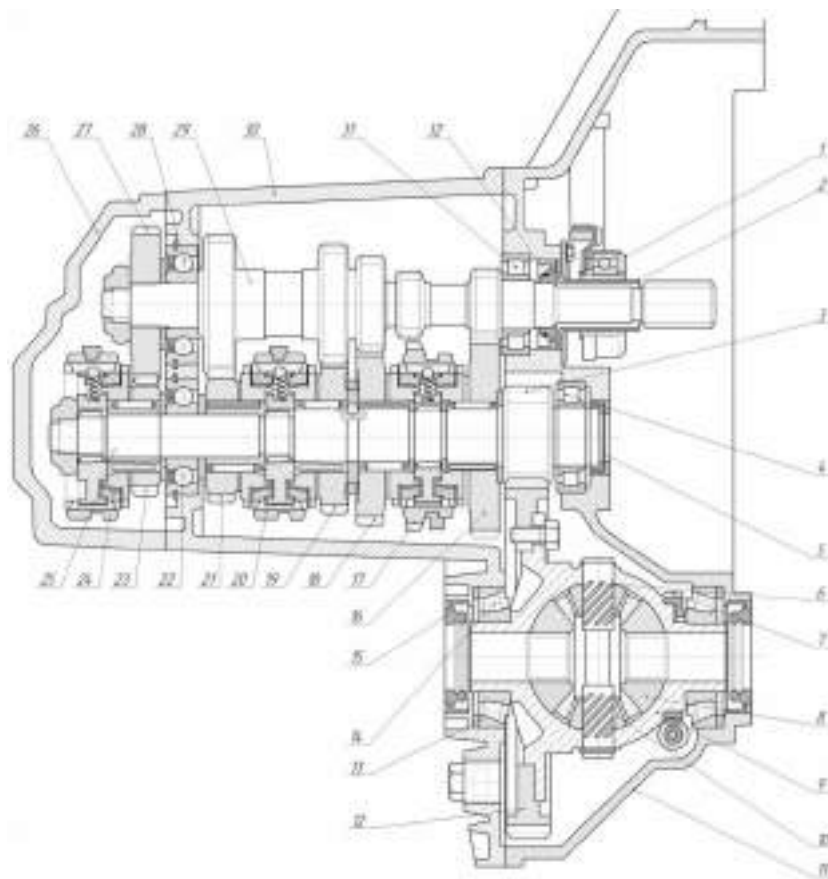


Рисунок 2.2 – Трёхвальная коробка перемены передач автомобиля ВАЗ-21118

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

39

2.1.1 Расчётные параметры

Выбор шин

В соответствии с рекомендациями завода изготовителя были взяты следующие шины [8,9]: 185/55R15

где 185 – ширина профиля шины, мм;

55 – отношение высоты профиля к ширине (в процентах);

R – радиальная шина;

15 – посадочный диаметр, соответствующий диаметру обода колеса d , дюйм.

Рассчитываем радиус качения колеса с выбранной шиной:

$$r_k = (0,9 \dots 0,95)r_c,$$

где r_k – радиус качения колеса с выбранной шиной, м;

r_c – статический радиус колеса, определяемый по формуле;

d – диаметр обода колеса, м;

$\lambda_{ш}$ – коэффициент, учитывающий вертикальную деформацию шин, для широкопрофильных шин $\lambda_{ш} = 0,88 \dots 0,9$;

H – высота профиля шины, м.;

$$r_c = 0,5 d + \lambda_{ш} \cdot H = 0,5 \cdot 0,381 + 0,89 \cdot 0,185 \cdot 0,55 = 0,281 \text{ м.}$$

Таким образом, $r_k = 0,93 \cdot 0,281 = 0,26 \text{ м.}$

2.1.3 Построение внешней скоростной характеристики

Внешняя скоростная характеристика может быть получена из решения следующей эмпирической формулы [8,9]:

$$N_m = N_{\max} \left[a \frac{n_m}{n_N} + b \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right],$$

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

где N_m – текущее значение мощности, кВт;

n_m – текущее значение числа оборотов вала двигателя, об/мин;

n_N – максимальное значение числа оборотов вала двигателя, об/мин;

a , b и c – эмпирические коэффициенты, характеризующие тип и конструкцию двигателя внутреннего сгорания. Для бензинового ДВС $a=b=c=1$ (рис. 3).

$n_{\min}=800 \text{ мин}^{-1}$; $n_N=5600 \text{ мин}^{-1}$ [8,9].

Зададим в интервале от n_{\min} до n_{\max} ряд значений n_m , находим соответствующие значения N_m и строим кривую зависимости $N_m=f(n_m)$, а затем $M_m=f(n_m)$, имея ввиду, что [8,9]:

$$M_m = \frac{1000N_m}{\omega_m} = 1000N_m \left(\frac{30}{\pi \cdot n_m} \right), \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где ω_m – угловая частота вращения коленчатого вала, 1/с;

$$M_m = \frac{30000N_m}{\pi \cdot n_m} = 9550 \frac{N_m}{n_m}, \text{ Н}\cdot\text{м},$$

где M_m – текущее значение крутящего момента, Нм.

Таблица 2.1 – значения эмпирических коэффициентов для различных типов двигателей

Тип и конструкция двигателя	Коэффициент		
	a	b	c
Бензиновый	1	1	1
Дизель с прямотруйным распылением	0,5	1,5	1
Дизель с предкамерой	0,6	1,4	1
Дизель с вихревой камерой	0,7	1,3	1

Результаты расчёта заносятся в таблицу 2.2

Таблица 2.2 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

Частота вращения коленчатого вала n_m , мин ⁻¹	Мощность N_m , кВт	Крутящий момент M_m , Нм
800	15,36152	183,3781
1000	19,61648	187,3374
1200	23,98491	190,8799
1400	28,44063	194,0057
1600	32,95743	196,7147
1800	37,50916	199,0069
2000	42,06961	200,8824
2200	46,6126	202,3411
2400	51,11195	203,383
2600	55,54148	204,0081
2800	59,875	204,2165
3000	64,08632	204,0081
3200	68,14927	203,383
3400	72,03765	202,3411
3600	75,72529	200,8824
3800	79,186	199,0069
4000	82,39359	196,7147
4200	85,32188	194,0057
4400	87,94468	190,8799
4600	90,23581	187,3374
4800	92,1691	183,3781
5000	93,71834	179,002
5200	94,85736	174,2092
5400	95,55998	168,9996
5600	95,8	163,3732

График зависимости $N_m=f(n_m)$ и $M_m=f(n_m)$ представлен на рисунке 2.3.

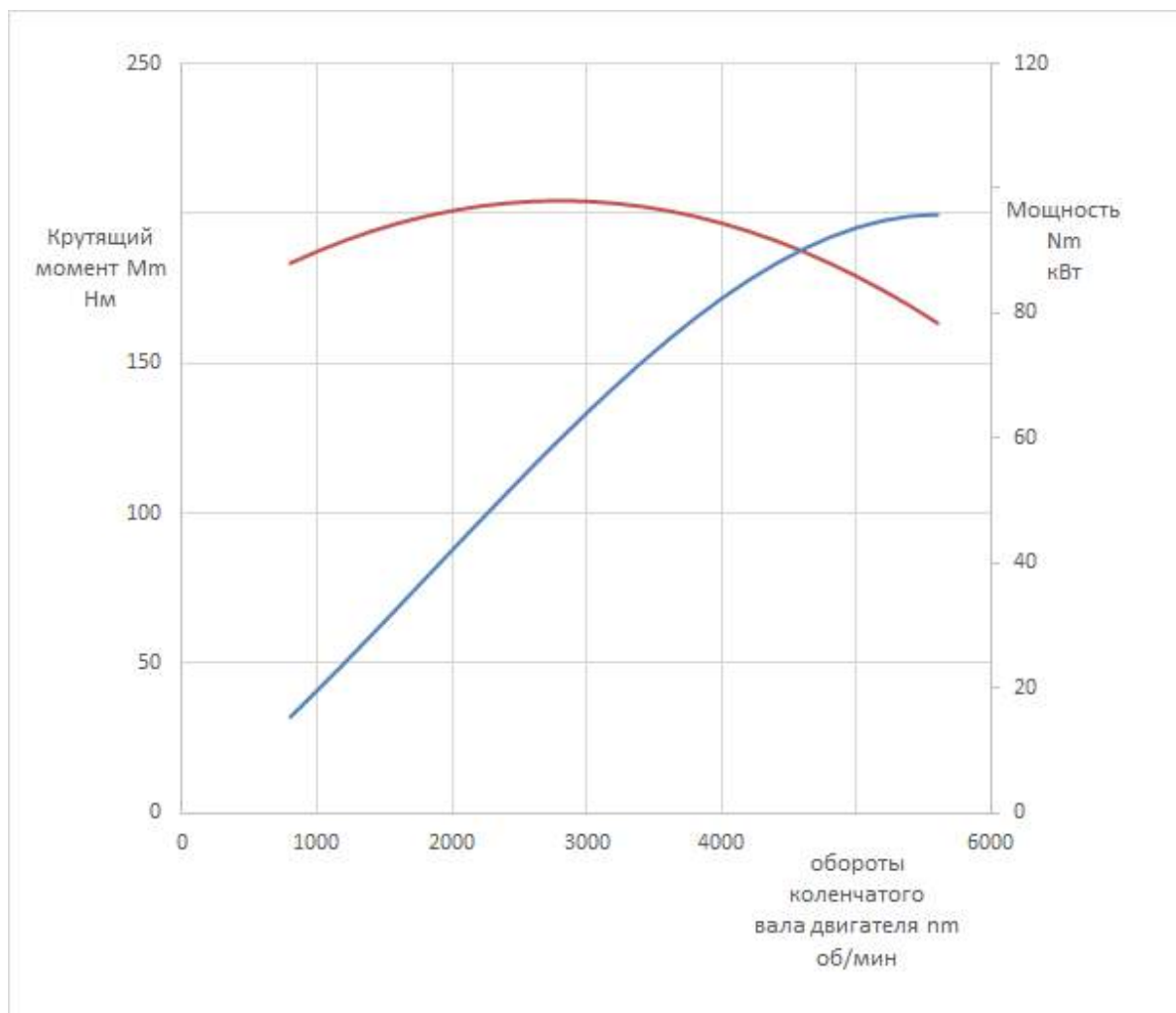


Рисунок 2.3 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

2.1.4 Характеристика заводской коробки переключения передач (КПП)

–КПП заводская пятиступенчатая механика[7].

–Передаточное отношение коробки передач 3,7.

Передаточные числа:

–первой передачи 4,09;

–второй передачи 2,56;

–третьей передачи 1,6;

–четвертой передачи 1;

–пятой передачи 0,63.

2.1.5 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля

Тяговая и динамическая характеристика представляют собой графики зависимостей $P_k=f(V)$ и $D=f(V)$ на всех передачах, а также $P_w=f(V)$; $P_\psi=f(V)$; $\psi=f(V)$ на горизонтальной дороге, которые рассчитываются:

а) сила тяги на колесе:

$$P_k = \frac{M_m i_{тр} \eta_{тр}}{r_d},$$

где P_k – сила тяги на колесе, Н;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии при наличии коробки передач, дополнительной коробки и главной передачи, $i_{тр} = i_k i_d i_0$, принимаем $i_{тр} = 40,3$;

M_m – текущее значение крутящего момента, Н·м;

r_d – радиус качения колеса ($r_d \approx r_k$ при движении без пробуксовывания), м.

б) скорость движения:

$$V = 0,376 \frac{r_k n_m}{i_{тр}},$$

где V – скорость движения, км/ч;

n_m – текущее значение числа оборотов вала двигателя, об/мин.

в) сила сопротивления дороги:

$$P_\psi = \Psi G_a,$$

где P_ψ – сила сопротивления дороги, Н;

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
						44
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

Ψ – коэффициент сопротивления дороги.

$$\Psi = f = f_0(1 + k_1 V^2), \text{ при } \alpha = 0,$$

где f_0 – табличное значение коэффициента сопротивления дороги, принимаем $f_0 = 0,013$;

$$k_1 = (4 \dots 5) 10^{-5};$$

г) сила сопротивления воздуха:

$$P_w = \frac{k F V^2}{13} (1 + k_3 \Pi),$$

где P_w – сила сопротивления воздуха, Н;

Π – количество прицепов или полуприцепов, $\Pi = 0$;

k_3 – коэффициент, учитывающий влияние прицепа или полуприцепа на сопротивление воздуха; $k_3 = 0,4 \dots 0,5$.

Динамический фактор:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_a},$$

где D – динамический фактор;

Угол подъема, который преодолевает автомобиль на каждой передаче при разных значениях равномерной скорости и заданном коэффициенте сопротивления качению определяется по уравнению:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right).$$

Вычисленные значения внесем в таблицу 2.3.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		45

Таблица 2.3 – Тяговая и динамическая характеристики автомобиля

n , мин ⁻¹	V , м/с	V , км/ч	P_k , Н	P_w , Н	D	ψ	α , °	P_ψ , Н
Движение на I передаче								
800	1,392	5,012	9685,157	1,213	0,623	0,013013	37,772	202,340
1000	1,740	6,265	9894,269	1,896	0,636	0,013020	38,761	202,454
1200	2,088	7,518	10081,367	2,730	0,648	0,013029	39,656	202,594
1400	2,436	8,771	10246,457	3,716	0,659	0,013040	40,455	202,759
1600	2,784	10,024	10389,533	4,854	0,668	0,013052	41,154	202,949
1800	3,132	11,277	10510,596	6,143	0,676	0,013066	41,749	203,165
2000	3,480	12,530	10609,651	7,584	0,682	0,013082	42,239	203,406
2200	3,829	13,783	10686,693	9,177	0,687	0,013099	42,620	203,673
2400	4,177	15,036	10741,721	10,921	0,690	0,013118	42,891	203,965
2600	4,525	16,289	10774,736	12,817	0,692	0,013138	43,049	204,282
2800	4,873	17,542	10785,742	14,865	0,693	0,013160	43,095	204,625
3000	5,221	18,795	10774,736	17,064	0,692	0,013184	43,028	204,993
3200	5,569	20,048	10741,721	19,415	0,690	0,013209	42,847	205,387
3400	5,917	21,301	10686,693	21,918	0,686	0,013236	42,555	205,805
3600	6,265	22,553	10609,651	24,572	0,681	0,013265	42,153	206,250
3800	6,613	23,806	10510,596	27,378	0,674	0,013295	41,643	206,719
4000	6,961	25,059	10389,533	30,336	0,666	0,013327	41,027	207,214
4200	7,309	26,312	10246,457	33,445	0,657	0,013360	40,309	207,735
4400	7,657	27,565	10081,367	36,707	0,646	0,013395	39,491	208,281
4600	8,005	28,818	9894,269	40,119	0,634	0,013432	38,578	208,852
4800	8,353	30,071	9685,157	43,684	0,620	0,013470	37,572	209,449
5000	8,701	31,324	9454,033	47,400	0,605	0,013510	36,477	210,071
5200	9,049	32,577	9200,900	51,268	0,588	0,013552	35,297	210,718
5400	9,397	33,830	8925,754	55,287	0,570	0,013595	34,035	211,391
5600	9,745	35,083	8628,594	59,459	0,551	0,013640	32,694	212,089
Движение на II передаче								
800	2,221	7,994	6071,849	3,087	0,390	0,013033	22,241	202,654
1000	2,776	9,993	6202,945	4,824	0,399	0,013052	22,760	202,944
1200	3,331	11,992	6320,241	6,947	0,406	0,013075	23,223	203,300
1400	3,886	13,990	6423,740	9,455	0,413	0,013102	23,631	203,720
1600	4,441	15,989	6513,438	12,350	0,418	0,013133	23,983	204,204
1800	4,997	17,987	6589,335	15,630	0,423	0,013168	24,278	204,753
2000	5,552	19,986	6651,435	19,296	0,427	0,013208	24,516	205,367
2200	6,107	21,985	6699,734	23,348	0,429	0,013251	24,696	206,045
2400	6,662	23,983	6734,233	27,786	0,431	0,013299	24,819	206,788
2600	7,217	25,982	6754,931	32,610	0,432	0,013351	24,884	207,595
2800	7,772	27,980	6761,831	37,820	0,432	0,013407	24,891	208,467
3000	8,328	29,979	6754,931	43,416	0,432	0,013467	24,840	209,404

Продолжение таблицы 2.3

3200	8,883	31,978	6734,233	49,398	0,430	0,013532	24,731	210,405
3400	9,438	33,976	6699,734	55,766	0,427	0,013600	24,565	211,471
3600	9,993	35,975	6651,435	62,519	0,424	0,013673	24,341	212,601
3800	10,548	37,974	6589,335	69,659	0,419	0,013750	24,059	213,796
4000	11,103	39,972	6513,438	77,185	0,414	0,013831	23,721	215,056
4200	11,659	41,971	6423,740	85,096	0,408	0,013916	23,327	216,380
4400	12,214	43,969	6320,241	93,393	0,400	0,014005	22,877	217,769
4600	12,769	45,968	6202,945	102,077	0,392	0,014099	22,371	219,222
4800	13,324	47,967	6071,849	111,146	0,383	0,014196	21,811	220,740
5000	13,879	49,965	5926,951	120,601	0,373	0,014298	21,196	222,323
5200	14,434	51,964	5768,256	130,442	0,363	0,014404	20,529	223,970
5400	14,990	53,962	5595,761	140,669	0,351	0,014514	19,808	225,681
5600	15,545	55,961	5409,465	151,282	0,338	0,014628	19,035	227,458

Движение на III передаче

800	3,555	12,796	3793,353	7,910	0,243	0,013085	13,357	203,461
1000	4,443	15,995	3875,255	12,360	0,248	0,013133	13,651	204,206
1200	5,332	19,194	3948,535	17,798	0,253	0,013192	13,910	205,116
1400	6,220	22,394	4013,196	24,225	0,257	0,013261	14,132	206,192
1600	7,109	25,593	4069,234	31,641	0,260	0,013341	14,317	207,433
1800	7,998	28,792	4116,650	40,045	0,262	0,013431	14,466	208,840
2000	8,886	31,991	4155,447	49,439	0,264	0,013532	14,579	210,412
2200	9,775	35,190	4185,621	59,821	0,265	0,013644	14,655	212,149
2400	10,664	38,389	4207,174	71,192	0,266	0,013766	14,694	214,053
2600	11,552	41,588	4220,105	83,551	0,266	0,013899	14,696	216,121
2800	12,441	44,787	4224,416	96,900	0,265	0,014043	14,662	218,356
3000	13,329	47,986	4220,105	111,237	0,264	0,014197	14,591	220,755
3200	14,218	51,185	4207,174	126,563	0,262	0,014362	14,483	223,320
3400	15,107	54,384	4185,621	142,877	0,260	0,014538	14,339	226,051
3600	15,995	57,583	4155,447	160,181	0,257	0,014724	14,158	228,947
3800	16,884	60,782	4116,650	178,473	0,253	0,014921	13,941	232,009
4000	17,773	63,982	4069,234	197,754	0,249	0,015129	13,687	235,236
4200	18,661	67,181	4013,196	218,024	0,244	0,015347	13,397	238,629
4400	19,550	70,380	3948,535	239,283	0,239	0,015576	13,072	242,187
4600	20,439	73,579	3875,255	261,530	0,232	0,015815	12,710	245,910
4800	21,327	76,778	3793,353	284,766	0,226	0,016065	12,312	249,800
5000	22,216	79,977	3702,829	308,991	0,218	0,016326	11,879	253,854
5200	23,104	83,176	3603,686	334,205	0,210	0,016597	11,410	258,074
5400	23,993	86,375	3495,920	360,407	0,202	0,016880	10,906	262,460
5600	24,882	89,574	3379,533	387,598	0,192	0,017172	10,367	267,011

Движение на IV передаче

800	5,685	20,467	2371,622	20,237	0,151	0,013218	7,964	205,524
-----	-------	--------	----------	--------	-------	----------	-------	---------

Продолжение таблицы 2.3

1000	7,107	25,584	2422,827	31,620	0,154	0,013340	8,112	207,429
1200	8,528	30,701	2468,642	45,533	0,156	0,013490	8,232	209,758
1400	9,949	35,818	2509,068	61,975	0,157	0,013667	8,321	212,510
1600	11,371	40,935	2544,104	80,947	0,158	0,013871	8,382	215,685
1800	12,792	46,052	2573,749	102,449	0,159	0,014103	8,413	219,284
2000	14,213	51,168	2598,004	126,480	0,159	0,014361	8,414	223,307
2200	15,635	56,285	2616,870	153,041	0,158	0,014647	8,386	227,752
2400	17,056	61,402	2630,344	182,131	0,157	0,014961	8,328	232,621
2600	18,478	66,519	2638,429	213,751	0,156	0,015301	8,241	237,913
2800	19,899	71,636	2641,124	247,901	0,154	0,015668	8,124	243,629
3000	21,320	76,753	2638,429	284,580	0,151	0,016063	7,978	249,768
3200	22,742	81,870	2630,344	323,788	0,148	0,016485	7,802	256,331
3400	24,163	86,986	2616,870	365,527	0,145	0,016935	7,597	263,317
3600	25,584	92,103	2598,004	409,795	0,141	0,017411	7,363	270,726
3800	27,006	97,220	2573,749	456,592	0,136	0,017915	7,100	278,559
4000	28,427	102,337	2544,104	505,919	0,131	0,018446	6,807	286,815
4200	29,848	107,454	2509,068	557,776	0,125	0,019004	6,486	295,495
4400	31,270	112,571	2468,642	612,162	0,119	0,019590	6,135	304,597
4600	32,691	117,688	2422,827	669,078	0,113	0,020202	5,755	314,124
4800	34,112	122,804	2371,622	728,524	0,106	0,020842	5,346	324,073
5000	35,534	127,921	2315,026	790,499	0,098	0,021509	4,909	334,446
5200	36,955	133,038	2253,041	855,004	0,090	0,022204	4,442	345,243
5400	38,376	138,155	2185,665	922,038	0,081	0,022925	3,947	356,463
5600	39,798	143,272	2112,899	991,602	0,072	0,023674	3,423	368,106
Движение на V передаче								
800	9,012	32,442	1496,233	50,843	0,093	0,013547	4,600	210,647
1000	11,265	40,553	1528,538	79,443	0,093	0,013855	4,614	215,434
1200	13,518	48,663	1557,442	114,397	0,093	0,014231	4,592	221,284
1400	15,770	56,774	1582,946	155,708	0,092	0,014676	4,534	228,199
1600	18,023	64,884	1605,050	203,373	0,090	0,015189	4,441	236,177
1800	20,276	72,995	1623,752	257,394	0,088	0,015771	4,311	245,218
2000	22,529	81,105	1639,055	317,771	0,085	0,016421	4,146	255,324
2200	24,782	89,216	1650,957	384,503	0,081	0,017139	3,944	266,493
2400	27,035	97,326	1659,458	457,590	0,077	0,017926	3,707	278,726
2600	29,288	105,437	1664,559	537,033	0,073	0,018781	3,434	292,023
2800	31,541	113,547	1666,259	622,831	0,067	0,019704	3,125	306,383
3000	33,794	121,658	1664,559	714,984	0,061	0,020696	2,781	321,807
3200	36,047	129,768	1659,458	813,493	0,054	0,021757	2,401	338,295
3400	38,300	137,879	1650,957	918,358	0,047	0,022886	1,986	355,847
3600	40,553	145,989	1639,055	1029,577	0,039	0,024083	1,535	374,462
3800	42,806	154,100	1623,752	1147,153	0,031	0,025348	1,048	394,141

Продолжение таблицы 2.3

4000	45,058	162,210	1605,050	1271,083	0,021	0,026682	0,526	414,884
4200	47,311	170,321	1582,946	1401,369	0,012	0,028085	-0,031	436,691
4400	49,564	178,432	1557,442	1538,011	0,001	0,029556	-0,624	459,561
4600	51,817	186,542	1528,538	1681,008	-0,010	0,031095	-1,252	483,495
4800	54,070	194,653	1496,233	1830,360	-0,021	0,032703	-1,915	508,493
5000	56,323	202,763	1460,527	1986,068	-0,034	0,034379	-2,615	534,554
5200	58,576	210,874	1421,421	2148,131	-0,047	0,036123	-3,349	561,679
5400	60,829	218,984	1378,915	2316,549	-0,060	0,037936	-4,120	589,868
5600	63,082	227,095	1333,007	2491,323	-0,074	0,039817	-4,927	619,121

Строим графики зависимостей $P_k=f(V)$; $P_w=f(V)$ (см. рис. 5); $\psi=f(V)$ и $D=f(V)$ (рисунок 2.4 и 2.5).

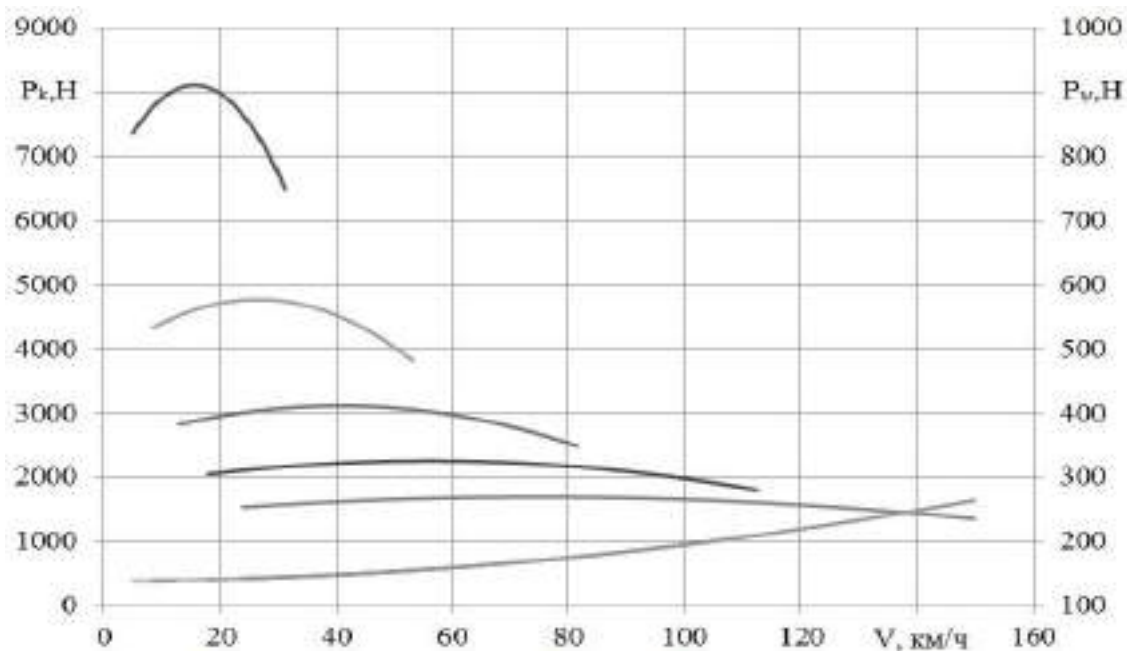


Рисунок 2.4 – Тяговый баланс автомобиля

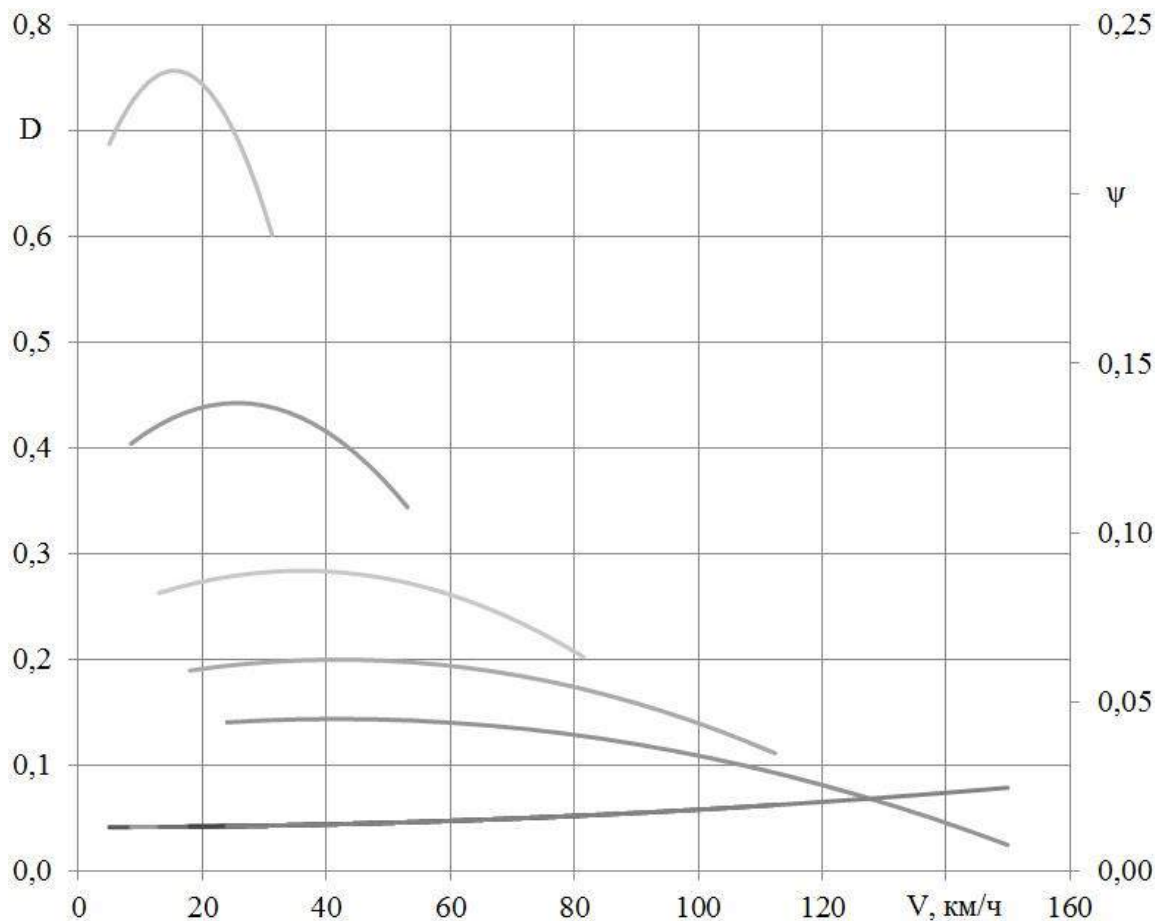


Рисунок 2.5 – Динамический баланс автомобиля

2.1.6 Ускорение автомобиля

Время равномерного движения автомобиля обычно мало по сравнению с общим временем его работы. Например, в городах оно составляет 15...25% времени движения, от 30 до 45% – ускоренное движение и 30...40% – движение накатом и торможение. Показателями динамических свойств автомобиля при неравномерном движении служат величины ускорений, а также путь и время, необходимые для движения в определенном интервале изменения скорости. Ускорение движения, которое может развивать автомобиль при заданных условиях, характеризует прие- мистость автомобиля: чем больше ускорение, тем выше при прочих равных усло-

виях средняя скорость движения, а следовательно, и производительность автомобиля [8,9].

Ускорение автомобиля найдем по формуле:

$$D = \Psi + \frac{\delta dV}{g dt},$$

отсюда;

$$\frac{dV}{dt} = j = (D - \Psi) \cdot \frac{g}{\delta},$$

где j – ускорение автомобиля, м/с^2 ;

D – динамический фактор;

Ψ – коэффициент сопротивления дороги;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

δ – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля.

В этом уравнении величина, стоящая в скобках, определяется по динамическому балансу автомобиля отрезком, заключенным между кривой динамической характеристики и линией, соответствующей коэффициенту сопротивления дороги.

Коэффициент учета вращающихся масс автомобиля (коэффициент условного увеличения поступательно движущейся массы автомобиля):

$$\delta = 1 + \frac{J_m i_k^2 i_d^2 \eta_{\text{тр}} g}{r_{\text{Дк}} r_{\text{Гa}}} + \frac{\sum J_{\text{К}} g}{r_{\text{Дк}} r_{\text{Гa}}},$$

где J_m – момент инерции вращающихся масс двигателя, $J_m = 0,1 \dots 0,5 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$;

$\sum J_{\text{К}}$ – суммарный момент инерции колес, $\sum J_{\text{К}} = 2,5 \dots 5,0 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$;

i_k – передаточное число коробки передач на выбранной передаче;

i_d – передаточное число высшей передачи в раздаточной коробке;

i_0 – передаточное число главной передачи;

G_a – полный вес автомобиля, Н;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

r_d – динамический радиус колеса, м.

r_k – радиус качения колеса, м;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

$$\delta_1 = 1 + \frac{0,3 \cdot 4,09^2 \cdot 1^2 \cdot 3,82^2 \cdot 0,88 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} + \frac{4 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} = 1,639$$

$$\delta_2 = 1 + \frac{0,3 \cdot 2,3^2 \cdot 1^2 \cdot 3,82^2 \cdot 0,88 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} + \frac{4 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} = 1,22$$

$$\delta_3 = 1 + \frac{0,3 \cdot 1,44^2 \cdot 1^2 \cdot 3,82^2 \cdot 0,88 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} + \frac{4 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} = 1,111$$

$$\delta_4 = 1 + \frac{0,3 \cdot 0,95^2 \cdot 1^2 \cdot 3,82^2 \cdot 0,88 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} + \frac{4 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} = 1,069$$

$$\delta_5 = 1 + \frac{0,3 \cdot 0,63^2 \cdot 1^2 \cdot 3,82^2 \cdot 0,88 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} + \frac{4 \cdot 9,81}{0,259925 \cdot 0,259925 \cdot 15549} = 1,051$$

Полученные значения ускорений внесем в таблицу 2.4.

Таблица 2.4 – Ускорение и обратное ускорение автомобиля

$j_1, \text{ м/с}^2$	$1/j_1, \text{ с}^2/\text{м}$	$j_2, \text{ м/с}^2$	$1/j_2, \text{ с}^2/\text{м}$	$j_3, \text{ м/с}^2$	$1/j_3, \text{ с}^2/\text{м}$	$j_4, \text{ м/с}^2$	$1/j_4, \text{ с}^2/\text{м}$	$j_5, \text{ м/с}^2$	$1/j_5, \text{ с}^2/\text{м}$
3,650	0,274	2,907	0,344	2,002	0,500	1,262	0,793	0,741	1,349
3,730	0,268	2,971	0,337	2,045	0,489	1,284	0,779	0,741	1,350
3,802	0,263	3,028	0,330	2,082	0,480	1,301	0,768	0,733	1,363
3,865	0,259	3,078	0,325	2,114	0,473	1,314	0,761	0,720	1,389
3,919	0,255	3,121	0,320	2,140	0,467	1,321	0,757	0,700	1,429
3,965	0,252	3,157	0,317	2,161	0,463	1,324	0,755	0,673	1,486
4,003	0,250	3,185	0,314	2,177	0,459	1,322	0,756	0,640	1,563
4,032	0,248	3,207	0,312	2,187	0,457	1,315	0,761	0,600	1,666
4,052	0,247	3,221	0,310	2,192	0,456	1,303	0,768	0,554	1,805
4,064	0,246	3,229	0,310	2,191	0,456	1,286	0,778	0,502	1,994
4,067	0,246	3,229	0,310	2,185	0,458	1,264	0,791	0,442	2,260
4,062	0,246	3,222	0,310	2,173	0,460	1,237	0,808	0,377	2,654
4,048	0,247	3,209	0,312	2,156	0,464	1,206	0,830	0,305	3,281
4,026	0,248	3,188	0,314	2,133	0,469	1,169	0,855	0,226	4,422
3,995	0,250	3,160	0,316	2,105	0,475	1,127	0,887	0,141	7,088

Продолжение таблицы 2.4.

3,956	0,253	3,125	0,320	2,071	0,483	1,081	0,925	0,049	20,202
3,908	0,256	3,083	0,324	2,032	0,492	1,030	0,971		
3,851	0,260	3,034	0,330	1,987	0,503	0,974	1,027		
3,786	0,264	2,978	0,336	1,937	0,516	0,912	1,096		
3,713	0,269	2,915	0,343	1,882	0,531	0,846	1,181		
3,631	0,275	2,845	0,352	1,821	0,549	0,776	1,289		
3,540	0,282	2,767	0,361	1,755	0,570	0,700	1,429		
3,441	0,291	2,683	0,373	1,683	0,594	0,619	1,615		
3,333	0,300	2,592	0,386	1,606	0,623	0,533	1,875		
3,217	0,311	2,493	0,401	1,523	0,657	0,443	2,258		

Строим кривые зависимости ускорений и обратных ускорений автомобиля от скорости движения (рисунок. 2.6 и рисунок 2.7).

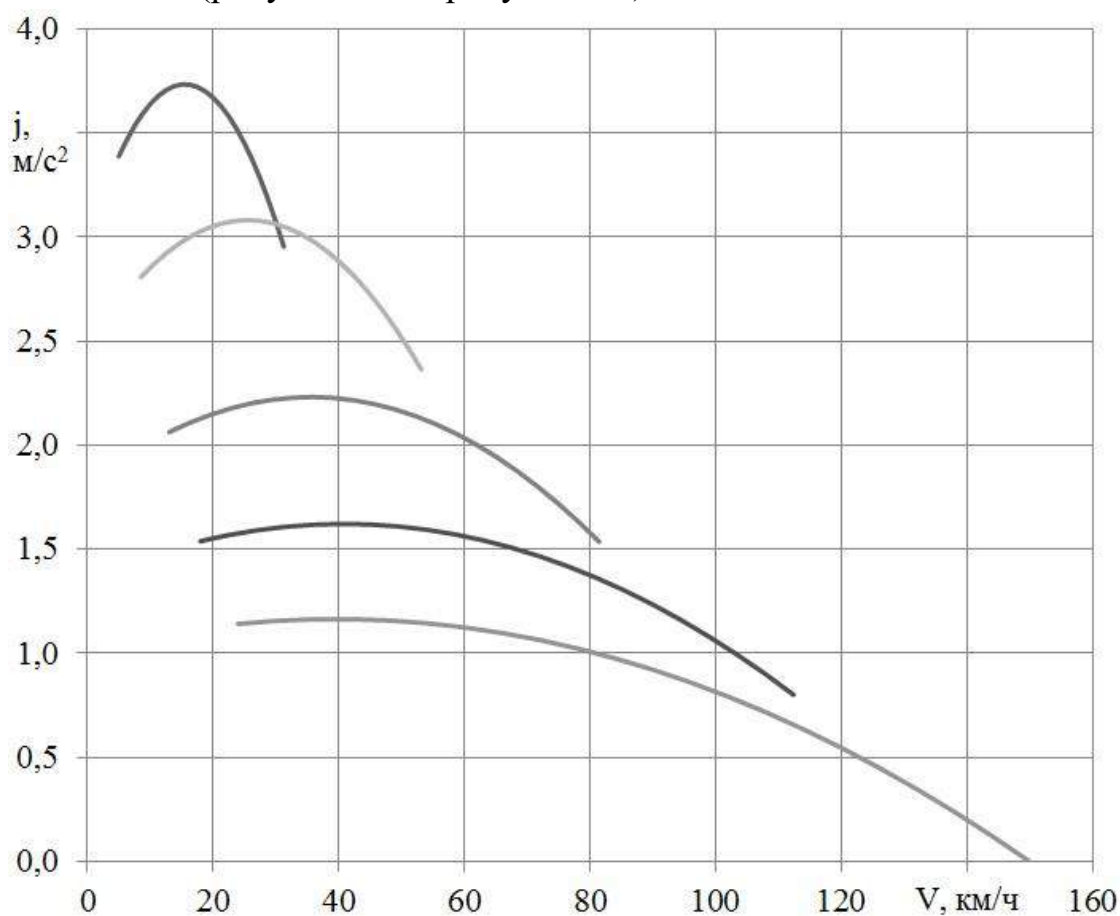


Рисунок 2.6 – График ускорений

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

53

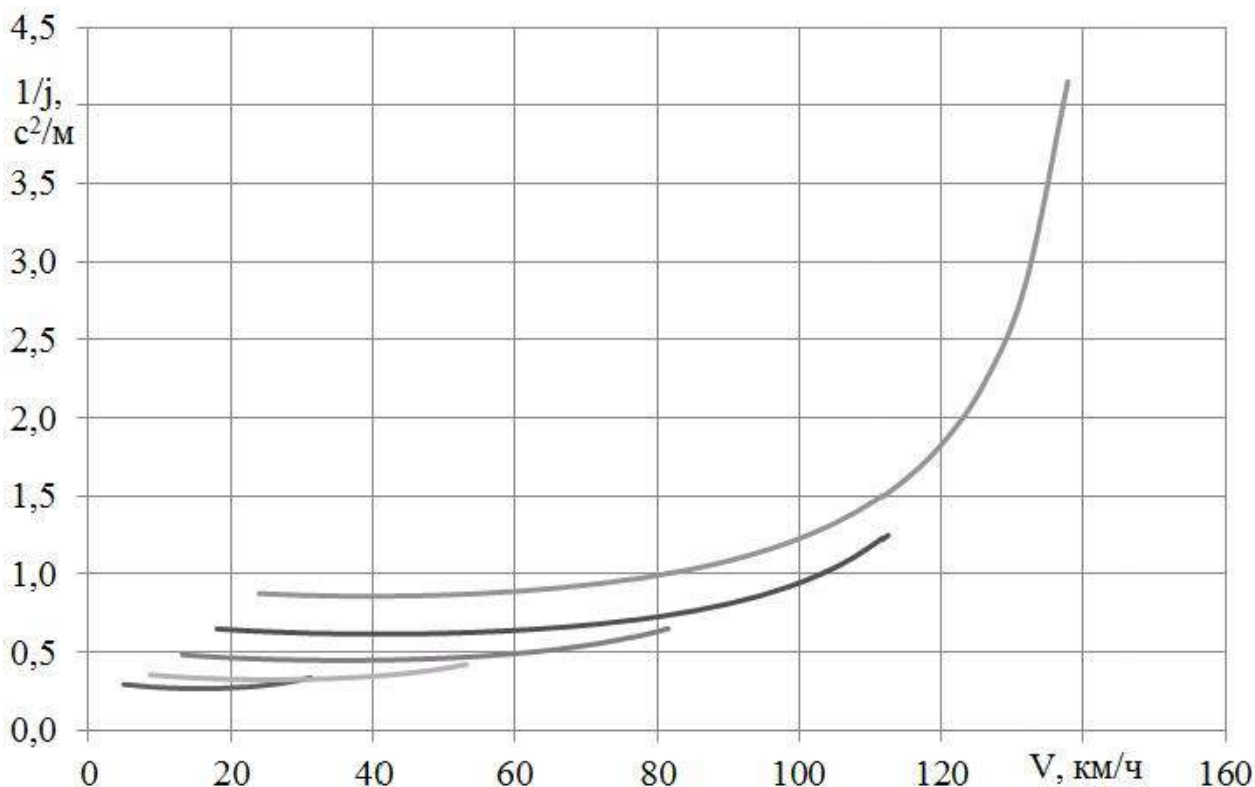


Рисунок 2.7 – график обратных ускорений

2.1.7 Определение времени и пути разгона

Ускорение, полностью характеризую способность автомобиля к быстрому разгону, не дает достаточно наглядного представления о приемистости автомобиля. Поэтому определяют время и путь разгона, которые позволяют выявить приемистость автомобиля в более наглядной форме и сравнить автомобили по этим показателям.

Так как отсутствует аналитическая связь между обратным ускорением $1/j$ и скоростью V , то время разгона обычно определяют графоаналитически. Для построения зависимости времени разгона от скорости всю площадь под кривой $1/j = f(V)$ разбивают вертикальными линиями на участки с интервалом скоростей 10 км/ч.

Для упрощения подсчета площадь каждого участка заменяют площадью равно-великого участка с высотой [8,9]:

$$\frac{1}{j'_{cp}} = \frac{1/j_1 + 1/j_2}{2},$$

где $1/j_1$ и $1/j_2$ – обратные ускорения в начале и в конце интервала скорости. Тогда для участка, например, при изменении скорости от V_1 до V_2 время разгона:

$$t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6j'_{cp}},$$

где t_1 – время, с;

V_1 – скорость в начале интервала, м/с;

V_2 – скорость в конце интервала, м/с;

j – ускорение, м/с².

Аналогично определяются $t_2, t_3 \dots t_n$ по остальным участкам.

Путь разгона определяют из соотношения:

$$V = \frac{dS}{dt},$$

Этот интеграл решают также графоаналитически, используя график $t=f(V)$. Для построения графика $S=f(V)$ эту площадь разбивают горизонтальными линиями на несколько участков. Для упрощения подсчета площадь каждого участка заменяем площадью равновеликого участка с тем же основанием и высотой.

$$V'_{cp} = \frac{V_1 + V_2}{2},$$

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		55

где V_1 – скорость в начале участка, км/ч;

V_2 – скорость в конце участка, км/ч.

При изменении скорости от V_1 до V_2

$$S_1 = (t_2 - t_1) \cdot \frac{V'_{cp}}{3,6},$$

где S_1 – расстояние, м;

t_2 – время в конце интервала времени, с;

t_1 – время в начале интервала времени, с;

V'_{cp} – средняя скорость на интервале, м/с.

Аналогично определяются значения $S_2, S_3 \dots S_n$ по остальным участкам.

Полученные значения расчетных точек внесем в таблицу 2.5.

Таблица 2.5 определение времени и пути разгона

V, км/ч	t, с	S, м
0	0	0
10	0,7	1,05
20	1,48	3,91
30	1,96	9,85
40	2,79	11,25
50	3,88	32,5
60	4,71	48,74
70	5,9	86,19
80	7,23	102,9
90	8,78	158,09
100	10,56	292,36
110	14,87	349,95
120	19,4	501,28
130	24,37	622,87
140	31,16	894,76
150	40,02	1152,88

По найденным значениям построим график $S=f(V)$ и $t=f(V)$ (рисунок 2.8 и рисунок 2.9).

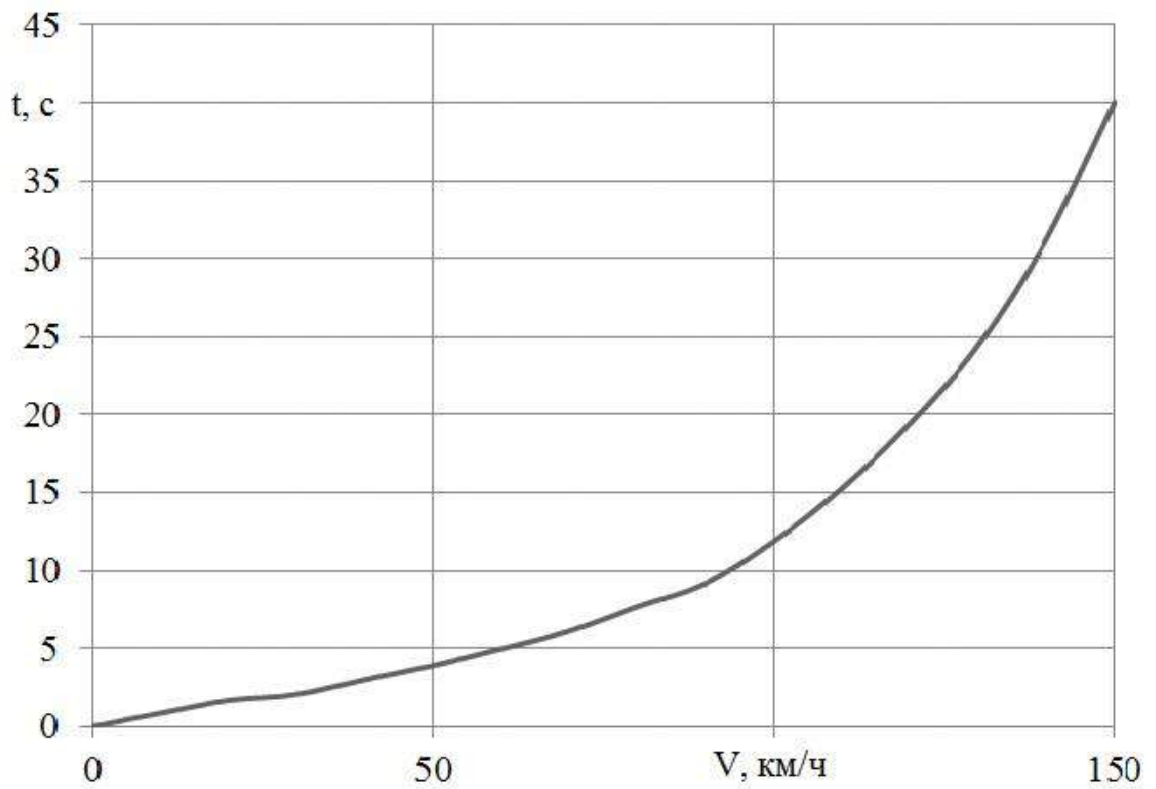


Рисунок 2.8 – Время разгона автомобиля

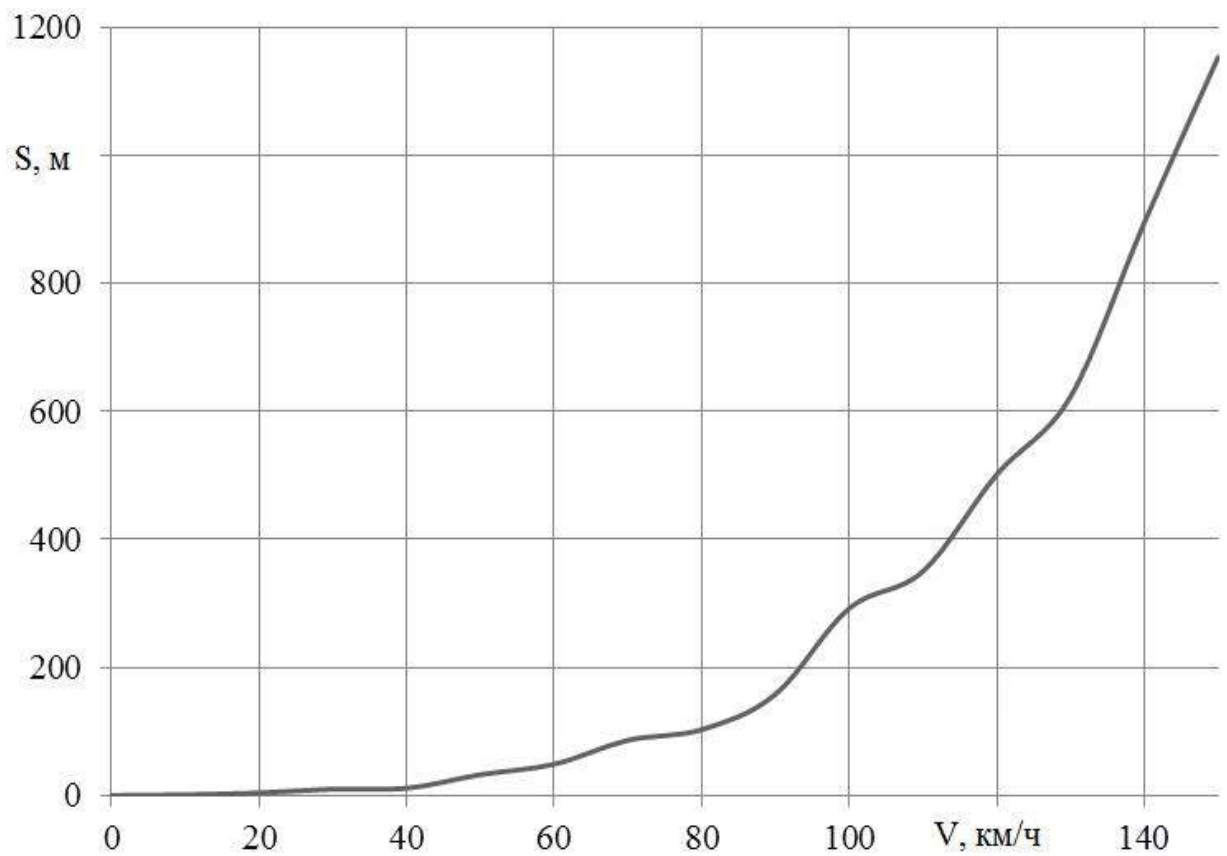


Рисунок 2.9 – Путь разгона автомобиля

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

2.1.8 Мощностной баланс

Для оценки тягово-скоростных свойств и тяговой экономичности используют уравнение мощностного баланса, которое иллюстрирует распределение мощности по видам сопротивления:

$$N_k = N_m \eta_{TP} = N_\psi + N_\omega + N_j,$$

где N_k – мощность на ведущих колесах, кВт;

N_m – мощность двигателя при текущих оборотах, кВт;

η_{TP} – КПД трансмиссии;

N_ψ – мощность на преодоление сопротивления дороги, кВт;

N_ω – мощность на преодоление сопротивления воздуха, кВт;

N_j – разность мощности подводимая к ведущим колесам, кВт.

Разность мощности, подводимая к ведущим колесам есть:

$$N_j = N_k - (N_\psi + N_\omega)$$

Определим значения мощности, найденные значения запишем в таблицу 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6 – Тягово-скоростные свойства

I передача			II передача			III передача		
п, мин ⁻¹	N _m , кВт	V, км/ч	п, мин ⁻¹	N _m , кВт	V, км/ч	п, мин ⁻¹	N _m , кВт	V, км/ч
800	11,380	4,988	800	11,380	8,505	800	11,380	13,038
1000	14,546	6,235	1000	14,546	10,631	1000	14,546	16,297
1200	17,793	7,482	1200	17,793	12,758	1200	17,793	19,557
1400	21,095	8,729	1400	21,095	14,884	1400	21,095	22,816
1600	24,430	9,976	1600	24,430	17,010	1600	24,430	26,076
1800	27,773	11,223	1800	27,773	19,137	1800	27,773	29,335

Продолжение таблицы 2.6

2000	31,099	12,469	2000	31,099	21,263	2000	31,099	32,594
2200	34,386	13,716	2200	34,386	23,389	2200	34,386	35,854
2400	37,608	14,963	2400	37,608	25,515	2400	37,608	39,113
2600	40,742	16,210	2600	40,742	27,642	2600	40,742	42,373
2800	43,764	17,457	2800	43,764	29,768	2800	43,764	45,632
3000	46,649	18,704	3000	46,649	31,894	3000	46,649	48,892
3200	49,373	19,951	3200	49,373	34,021	3200	49,373	52,151
3400	51,914	21,198	3400	51,914	36,147	3400	51,914	55,410
3600	54,245	22,445	3600	54,245	38,273	3600	54,245	58,670
3800	56,344	23,692	3800	56,344	40,399	3800	56,344	61,929
4000	58,186	24,939	4000	58,186	42,526	4000	58,186	65,189
4200	59,747	26,186	4200	59,747	44,652	4200	59,747	68,448
4400	61,003	27,433	4400	61,003	46,778	4400	61,003	71,708
4600	61,930	28,680	4600	61,930	48,905	4600	61,930	74,967
4800	62,503	29,927	4800	62,503	51,031	4800	62,503	78,227
5000	62,700	31,174	5000	62,700	53,157	5000	62,700	81,486
IV передача			V передача					
n, мин ⁻¹	N _м , кВт	V, км/ч	n, мин ⁻¹	N _м , кВт	V, км/ч			
800	11,380	17,988	800	11,380	23,985			
1000	14,546	22,486	1000	14,546	29,981			
1200	17,793	26,983	1200	17,793	35,977			
1400	21,095	31,480	1400	21,095	41,973			
1600	24,430	35,977	1600	24,430	47,969			
1800	27,773	40,474	1800	27,773	53,965			
2000	31,099	44,971	2000	31,099	59,961			
2200	34,386	49,468	2200	34,386	65,957			
2400	37,608	53,965	2400	37,608	71,954			
2600	40,742	58,462	2600	40,742	77,950			
2800	43,764	62,959	2800	43,764	83,946			
3000	46,649	67,457	3000	46,649	89,942			
3200	49,373	71,954	3200	49,373	95,938			
3400	51,914	76,451	3400	51,914	101,934			
3600	54,245	80,948	3600	54,245	107,930			
3800	56,344	85,445	3800	56,344	113,927			
4000	58,186	89,942	4000	58,186	119,923			
4200	59,747	94,439	4200	59,747	125,919			
4400	61,003	98,936	4400	61,003	131,915			
4600	61,930	103,433	4600	61,930	137,911			
4800	62,503	107,930	4800	62,503	143,907			
5000	62,700	112,428	5000	62,700	149,903			

Таблица 2.7 мощностной баланс

$V, \text{ км/ч}$	$P_{\omega}, \text{ Н}$	ψ	$P_{\psi}, \text{ Н}$	$N_{\psi}/\eta, \text{ кВт}$	$N_{\psi}+N_{\omega}/\eta, \text{ кВт}$
0	0,000	0,013000	139,009	0,000	0,000
10	4,831	0,013052	139,565	1,551	1,604
20	19,323	0,013208	141,233	3,139	3,568
30	43,477	0,013468	144,013	4,800	6,250
40	77,292	0,013832	147,906	6,574	10,009
50	120,769	0,014300	152,910	8,495	15,204
60	173,908	0,014872	159,026	10,602	22,196
70	236,708	0,015548	166,255	12,931	31,342
80	309,169	0,016328	174,595	15,520	43,001
90	391,292	0,017212	184,048	18,405	57,534
100	483,077	0,018200	194,613	21,624	75,299
110	584,523	0,019292	206,289	25,213	96,655
120	695,631	0,020488	219,078	29,210	121,961
130	816,400	0,021788	232,979	33,653	151,577
140	946,831	0,023192	247,992	38,577	185,861
150	1086,923	0,024700	264,117	44,020	225,173

По найденным значениям строим график мощностного баланса (рисунок. 2.10).

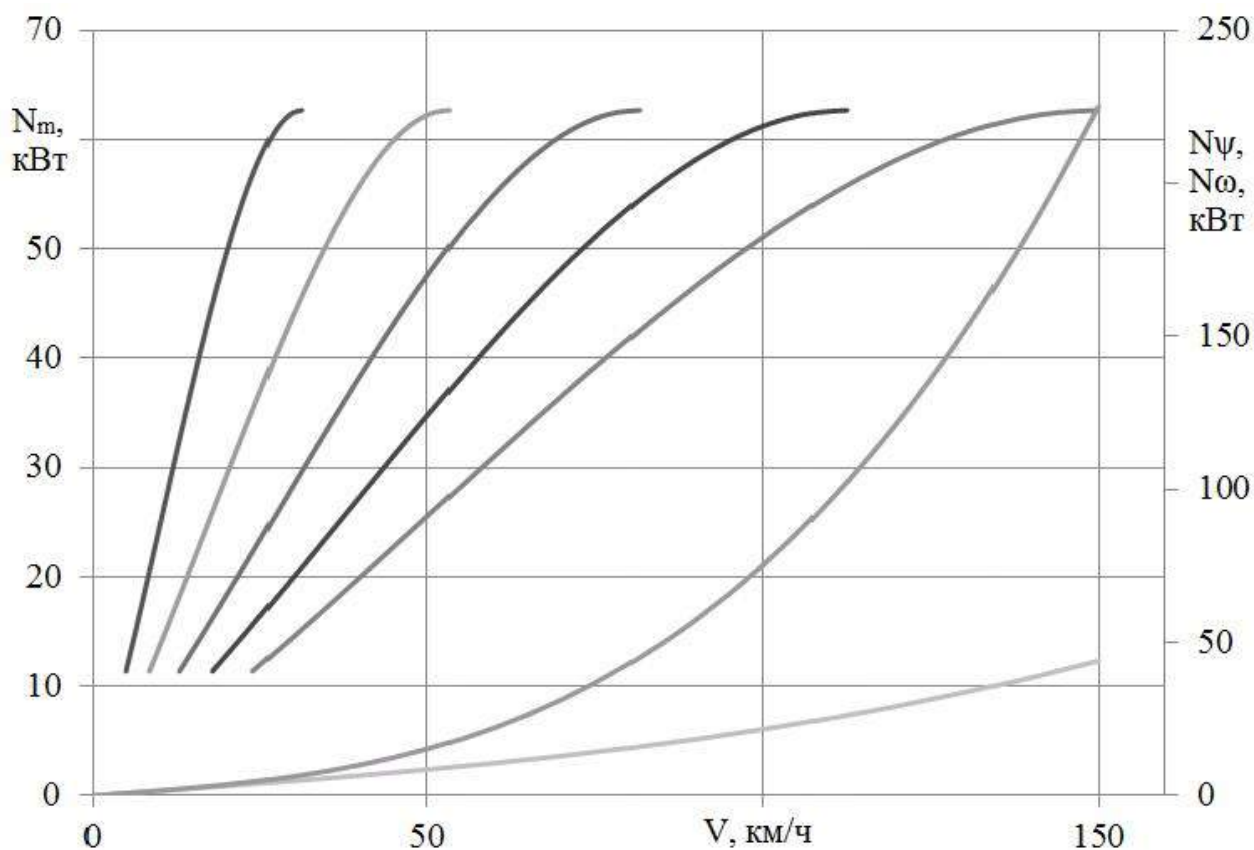


Рисунок 2.10 – Мощностной баланс

2.2 Тягово-скоростной расчет автомобиля Lada Kalina с электрической силовой установкой

2.2.1 Исходные данные

Техническое задание:

- легковой автомобиль с приводом на переднюю ось;
- вместимость – 5 человек;
- используется на дорогах общей сети с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием.

Выбираемые параметры:

- прототип – LADA Kalina
- масса снаряженного автомобиля $m_0 = 1210$ кг
- максимальная скорость $V_{\max} = 200$ км/ч
- максимальный угол подъема, преодолеваемый автомобилем $\alpha_{\max} = 20^\circ$
- фактор обтекаемости $kF = 0,56$ Н·с²/м²
- распределение веса по осям автомобиля П/З = 60/40

Коэффициент полезного действия трансмиссии рассчитываем, опираясь на знания, полученные по курсу «Детали машин». КПД одноступенчатого редуктора (рисунок 2.11), $\eta_{\text{тр}}=0,98$.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						61
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		



Рисунок 2.11 – Одноступенчатый редуктор

2.2.2 Расчетные параметры

Определение полной массы автомобиля.

Полную массу автомобиля рассчитывают по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_{\text{ч}} + m_{\text{б}}) \cdot n,$$

где m_a – полная масса автомобиля, кг;

m_0 – масса снаряженного автомобиля, $m_0 = 1210$ кг;

$m_{\text{ч}}$ – масса водителя или пассажира, $m_{\text{ч}} = 75$ кг;

n – число мест для сиденья, $n = 5$;

$m_{\text{б}}$ – масса багажа на одного человека ($m_{\text{б}} = 10$ кг).

$$m_a = 1210 + (75 + 10) \cdot 5 = 1635 \text{ кг.}$$

Выбор шин.

Так как проектируемый автомобиль предназначен только для движения по дорогам общей сети, в том числе и с асфальтобетонным и цементобетонным покрытием, то принимаем колесную формулу 4х2.

Для определения нагрузки на переднюю ось воспользуемся развесовкой автомобиля – прототипа при полной нагрузке:

$$m_{п} = 0,6 \cdot m_{а},$$

где $m_{п}$ – масса приходящаяся на переднюю ось автомобиля, кг;

$m_{а}$ – полная масса автомобиля, кг.

$$m_{п} = 0,6 \cdot 1635 = 981 \text{ кг},$$

соответственно на заднюю ось приходится остальная часть нагрузки, численно равная:

$$m_{з} = m_{а} - m_{п},$$

где $m_{з}$ – масса, приходящаяся на заднюю ось автомобиля, кг;

$m_{п}$ – масса приходящаяся на переднюю ось автомобиля, кг;

$m_{а}$ – полная масса автомобиля, кг.

$$m_{з} = 1635 - 981 = 654 \text{ кг}.$$

Выбор шин осуществляем в соответствии с рекомендациями завода изготовителя.

Выбираем следующий размер шин: 185/55R15,

где 185 – ширина профиля шины, мм;

55 – отношение высоты профиля к ширине (в процентах);

R – радиальная шина;

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

15 – посадочный диаметр, соответствующий диаметру обода колеса d , дюйм.

Рассчитываем радиус качения колеса с выбранной шиной:

$$r_k = (0,9...0,95) \cdot r_c, \quad (25)$$

где r_k – радиус качения колеса с выбранной шиной, м;

r_c – статический радиус колеса, определяемый по формуле:

$$r_c = (0,9...0,95)r_c, \quad (26)$$

где r_k – радиус качения колеса с выбранной шиной, м;

r_c – статический радиус колеса, определяемый по формуле:

d – диаметр обода колеса, м;

$\lambda_{ш}$ – коэффициент, учитывающий вертикальную деформацию шин, для широкопрофильных шин $\lambda_{ш} = 0,88...0,9$;

H – высота профиля шины, м.

$$r_c = 0,5 d + \lambda_{ш} \cdot H = 0,5 \cdot 0,381 + 0,89 \cdot 0,185 \cdot 0,55 = 0,281 \text{ м.}$$

Таким образом, $r_k = 0,93 \cdot 0,281 = 0,26$ м.

2.2.3 Выбор двигателя и построение его внешней скоростной характеристики

В настоящее время на автомобилях всё чаще используется электродвигатель в качестве тяговой установки. По сравнению с двигателями внутреннего сгорания, электродвигатель имеет ряд преимуществ по тягово–скоростным характеристикам, а именно:

– максимальный крутящий момент развивается со стартовых оборотов;

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

- максимальные обороты выше чем у большинства ДВС;
- понятие номинальной мощности электродвигателя отличается от понятия номинальной мощности ДВС.

Номинальной мощностью ДВС называют мощность, соответствующую высшей точке его характеристики, т.е. максимальную мощность, которую вообще может развить данный двигатель. Поэтому автомобильный ДВС подбирается по максимальной мощности, требующейся для заданных условий движения. Электродвигатель может развивать максимальный момент и максимальную мощность, который далеко выходят за пределы его номинального режима. Различают:

- продолжительную мощность;
- кратковременную (30–минутную, часовую и т.п., и т.д.);
- мощность, предельную при коротких перегрузках (на несколько минут, секунд); ограничивается коммутацией и механической прочностью.

Исходя из этого можно заключить, что коэффициент перегрузки по моменту значительно больше чем у ДВС.

Методика выбора электродвигателя:

1) определяем мощность, необходимую для равномерного движения по горизонтальному участку с заданной скоростью. Мощность двигателя при V_{\max} рассчитаем по формуле [8,9]:

$$N_{V_{\max}} = \frac{\psi_{V_{\max}} \cdot G_a \cdot \frac{V_{\max}}{3,6} + kF \left(\frac{V_{\max}}{3,6} \right)^3}{1000 \eta_{\text{тр}V_{\max}}},$$

где $N_{V_{\max}}$ – мощность двигателя при максимальной скорости, кВт;

G_a – полный вес автомобиля, Н;

V_{\max} – выбранная максимальная скорость движения, км/ч;

kF – фактор обтекаемости, Н·с²/м²;

$kF = 0,52$;

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

$\psi_{V_{\max}}$ – коэффициенты сопротивлению качению дороги при максимальной скорости;

$\eta_{\text{тр}V_{\max}}$ – КПД трансмиссии;

$$\eta_{\text{тр}V_{\max}} = 0,98.$$

$$\psi_{V_{\max}} = f = f_0(1 + k_1 V_{\max}^2),$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качения для асфальтобетона, относящийся к малым скоростям, $f_0 = 0,012 \dots 0,015$;

$$k_1 = (4 \dots 5) 10^{-5}.$$

$$\psi_{V_{\max}} = f = 0,013(1 + 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot 200^2) = 0,0312.$$

$$G_a = m_a g = 1635 \cdot 9,8 = 16023 \text{ Н.}$$

Мощность двигателя при максимальной скорости:

$$N_{V_{\max}} = \frac{0,0312 \cdot 16023 \cdot \frac{200}{3,6} + 0,52 \cdot \left(\frac{200}{3,6}\right)^3}{1000 \cdot 0,98} = 119 \text{ кВт.}$$

2) Находим величину длительной мощности:

$$N_{\max} = N_{\max V} \cdot \varepsilon,$$

где ε – коэффициент для различных типов езды. Городская езда – 1,1.

$$N_{\max} = 119 \cdot 1,1 = 131 \text{ кВт.}$$

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

3) Максимальная скорость электромобиля определяется часовой мощностью выбранного электродвигателя (если скорость задана, то данный пункт выполнять не требуется).

Исходя из этих данных выбираем электродвигатель Орион-18-2-7:

- 1) за основу принят 12-полюсный магнитно-реактивный синхронный электродвигатель с постоянными магнитами.
- 2) двигатели предназначены для применения с частотными инверторами или в режиме синхронного генератора.
- 3) диапазон двигателей по полезной мощности – от 34 кВт до 340 кВт в режиме S1.

Область применения – технологическое оборудование, электротранспорт, малая энергетика.

Особенности конструкции и рабочих режимов [10]:

- 1) водяное охлаждение двигателя (основной вариант, дополнительные варианты – принудительное или собственное воздушное охлаждение).
- 2) в дальнейшем планируется вариант исполнения со встроенным индуктионом, а также бес корпусное (кассетное) исполнение двигателя.
- 3) расчетные значения параметров второго габаритного типа ряда двигателей «Орион-18-2-7» приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 Орион-18-2-7

Параметры двигателей «ОРИОН-18-2»	Ед. изм.	- 07
M_U , пиковый (пусковой) момент (2...3 сек.)	Нм	2700
M_C , номинальный момент (вод., возд. охл.)	Нм	675

Продолжение таблицы 2.8

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
						67
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

P_c , номинальная мощность (вод., возд. охл.)	кВт	135
Eff, КПД (при номинальной мощности)	%	98,0
Электромагнитная система		
D_r , диаметр ротора	мм	240
D_s , диаметр статора	мм	356
B_m , длина активной стали	мм	240
L_s , длина статора с обмоткой	мм	330
Электрические параметры		
P_{U_t} , тепловая мощность (пиковая)	кВт	23,2
P_c , тепловая мощность (номинальная, вод. охл.)	Вт	1452
K_T , константа момента (20°C)	Нм/А	1,45
K_m , константа двигателя (20°C)	Нм/ \sqrt Вт	17,71
Масса узлов и двигателя		
m_{em} , масса электромагнитной системы	кг	120,5
m , масса двигателя (корпусное исполнение)	кг	200

Расчетное значение номинальной выходной мощности при скорости вращения 2000 мин⁻¹ (режим S1).

Диаметр по магнитопроводу статора, (с корпусом $\pm 15 \dots 20$ мм на сторону, фланец – 400×400 мм).

Длина по лобовым частям обмотки, (общая длина корпуса двигателя $\pm 30 \dots 35$ мм на сторону).

Параметры двигателей указаны для 20°C , точность для момента, мощности и электрических параметров $\pm 5 \dots 7\%$.

Тепловая мощность указана для статического состояния при номинальных моментах нагрузки.

Номинальная температура обмоток до 120°C , максимальная до 150°C , температура ротора до 100°C .

Применяются встроенные температурные датчики для тепловой защиты обмоток двигателя (линейные или пороговые).

Рабочий (немагнитный) зазор ротор-статор $1,2 \dots 1,5$ мм на сторону.

Максимальная скорость вращения – до 5300 мин^{-1} . (533 Гц, с ослаблением магнитного поля ротора).

Номинальное напряжение питания – 3 фазы, до 380 В , частота до 500 Гц (макс. частота – 533 Гц с выхода инвертора).

Аккумуляторная батарея была взята с автомобиля Tesla, т.к. имеет подходящие характеристики, для обеспечения дальности хода автомобиля.

Если максимальная мощность не дана, то её можно найти по формуле:

$$N_{\text{max}} = \frac{9,55 M_{\text{max}}}{n_{\text{ном}}},$$

где M_{max} – максимальный крутящий момент, $n_{\text{ном}}$ – обороты при номинальной мощности.

Для построения внешней скоростной характеристика требуется параметры:

$$N_{\text{ном}} = N_m = 135 \text{ кВт} = \text{const}$$

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
						69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$M_m = 9550 \cdot \frac{N_{\text{НОМ}}}{n}$$

Строим кривые момента и мощности, учитывая особенности электродвигателя, а именно до номинальных оборотов момент постоянен и равен максимальному моменту, мощность до номинальных оборотов растёт прямолинейно, а после остаётся неизменной в диапазоне от номинальных до максимальных оборотов.

Таблица 2.9 – Внешняя скоростная характеристика

M, Нм	243	252	263	274	286	322	368	429	515	644	675
n, мин ⁻¹	5300	5100	4900	4700	4500	4000	3500	3000	2500	2000	0
N, кВт	135	135	135	135	135	135	135	135	135	135	0

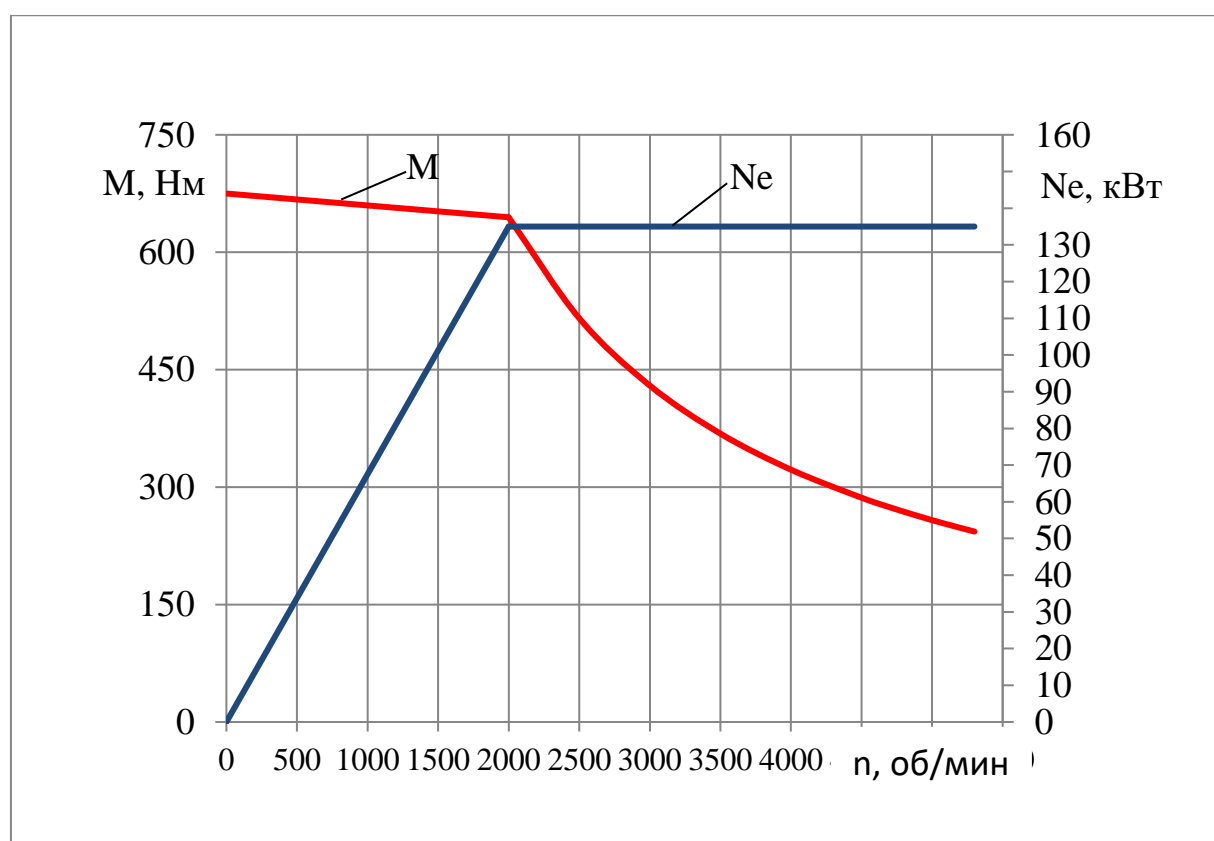


Рисунок 2.12 – Внешняя скоростная характеристика

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

70

2.2.4 Определение передаточного числа главной передачи

Трансмиссия данного автомобиля состоит из одноступенчатого редуктора, который одновременно является и главной передачей, и передачей в КПП.

Определим передаточное число:

$$i_{\text{ред}} = 0,376 \cdot \frac{r_k n_V}{V_{\text{max}}},$$

$$i_{\text{ред}} = 0,376 \cdot \frac{0,26 \cdot 5300}{200} = 2,6 .$$

2.2.5 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля

Тяговая и динамическая характеристика представляют собой графики зависимостей $P_k = f(V)$ и $D = f(V)$ на всех передачах, а также $P_w = f(V)$; $P_\psi = f(V)$; $\psi = f(V)$ на горизонтальной дороге, которые рассчитываются:

а) сила тяги на колесе;

$$P_k = \frac{M_m i_{\text{тр}} \eta_{\text{тр}}}{r_D},$$

где P_k – сила тяги на колесе, Н;

$i_{\text{тр}}$ – передаточное число трансмиссии при наличии коробки передач,

дополнительной коробки и главной передачи, $i_{\text{тр}} = i_k i_D i_0$;

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
						71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$\eta_{\text{ТР}}$ – КПД трансмиссии;

M_m – текущее значение крутящего момента, Н·м;

r_d – радиус качения колеса ($r_d \approx r_k$ при движении без пробуксовывания), м.

б) скорость движения;

$$V = 0,376 \frac{r_k n_m}{i_{\text{ТР}}},$$

где V – скорость движения, км/ч;

n_m – текущее значение числа оборотов вала двигателя, об/мин.

в) сила сопротивления дороги;

$$P_{\Psi} = \Psi G_a,$$

где P_{Ψ} – сила сопротивления дороги, Н;

G_a – полный вес автомобиля, Н;

Ψ – коэффициент сопротивления дороги;

$$\Psi = f = f_0(1 + k_1 V^2), \quad \text{при } \alpha = 0,$$

где f_0 – табличное значение коэффициента сопротивления дороги;

$f_0 = 0,007 - 0,015$;

V – текущая скорость движения, км/ч;

$k_1 = (4..5)10^{-5}$.

г) сила сопротивления воздуха;

$$P_w = \frac{kFV^2}{13} (1 + k_3 \Pi),$$

где P_w – сила сопротивления воздуха, Н;

V – текущая скорость движения, км/ч;

Π – количество прицепов или полуприцепов, $\Pi = 0$;

k_3 – коэффициент, учитывающий влияние прицепа или полуприцепа на сопротивление воздуха; $k_3 = 0,4 \dots 0,5$;

kF – фактор обтекаемости, $\text{Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^2$; $kF = 0,52$;

Динамический фактор;

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_a},$$

где D – динамический фактор;

P_k – сила тяги на колесе, Н;

P_w – сила сопротивления воздуха, Н;

G_a – полный вес автомобиля, Н.

Угол подъема, который преодолевает автомобиль на каждой передаче при разных значениях равномерной скорости и заданном коэффициенте сопротивления качению определяется по уравнению:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right).$$

Вычисленные значения внесем в таблицу 2.10

Таблица 2.10 Тяговая и динамическая характеристика автомобиля

n , мин ⁻¹	V , км/ч	V , м/с	P_k	P_w	D	φ	a	$P, \text{Н}$	a
0	0,000	0,000	6615,00	0,000	0,413	0,014	0,426	224,322	24,40

Продолжение таблицы 2.8

2000	75,200	20,889	6317,33	17,454	0,393	0,014	0,404	228,727	23,16
2500	94,000	26,111	5053,86	27,272	0,314	0,014	0,319	231,204	18,29
3000	112,800	31,333	4211,55	39,271	0,260	0,015	0,263	234,233	15,10
3500	131,600	36,556	3609,90	53,452	0,222	0,015	0,224	237,811	12,83
4000	150,400	41,778	3158,66	69,815	0,193	0,015	0,194	241,941	11,12
4500	169,200	47,000	2807,70	88,360	0,170	0,015	0,171	246,621	9,78
4700	176,720	49,089	2688,22	96,389	0,162	0,016	0,162	248,647	9,31
4900	184,240	51,178	2578,50	104,767	0,154	0,016	0,155	250,761	8,89
5100	191,760	53,267	2477,38	113,494	0,148	0,016	0,148	252,963	8,49
5300	199,280	55,356	2383,90	122,570	0,141	0,016	0,142	255,254	8,12

Строим графики зависимостей $P_k = f(V)$; $P_w = f(V)$ (см. рис. 3); $\psi = f(V)$ и $D = f(V)$ (рисунок 2.13 и рисунок 2.14).

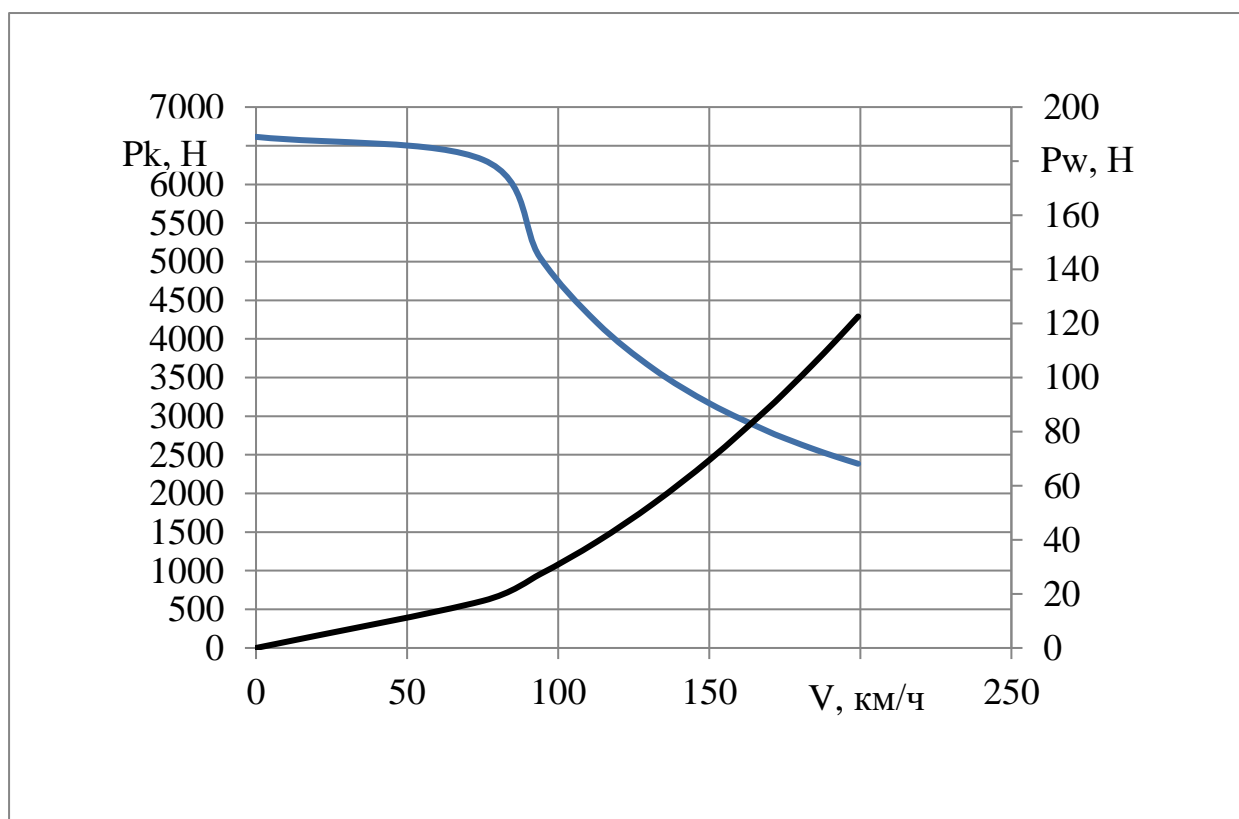


Рисунок 2.13 – Тяговый баланс автомобиля

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

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

74

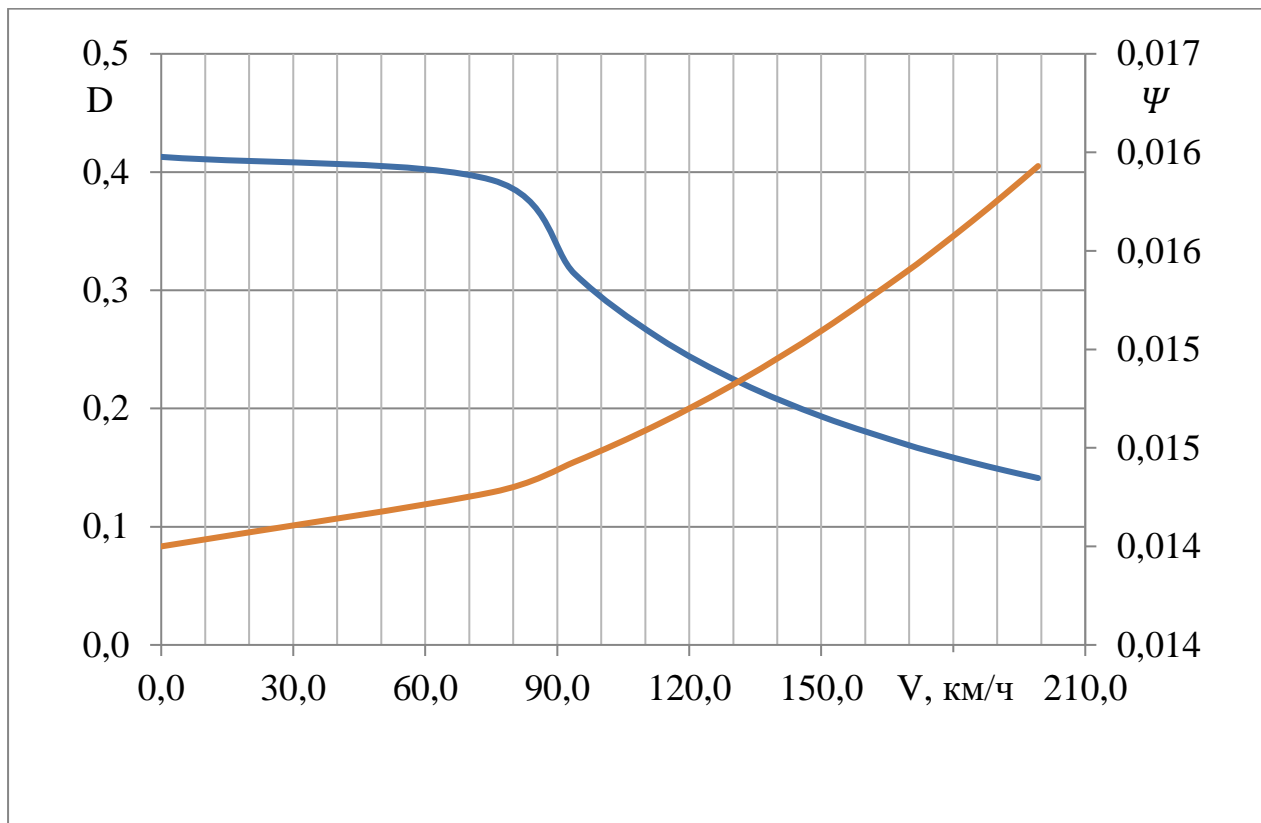


Рисунок 2.14 – Динамический баланс автомобиля

2.2.6 Ускорение автомобиля

Время равномерного движения автомобиля обычно мало по сравнению с общим временем его работы. Например, в городах оно составляет 15...25% времени движения, от 30 до 45% – ускоренное движение и 30...40% – движение накатом и торможение.

Показателями динамических свойств автомобиля при неравномерном движении служат величины ускорений, а также путь и время, необходимые для движения в определенном интервале изменения скорости.

Ускорение движения, которое может развивать автомобиль при заданных условиях, характеризует приемистость автомобиля: чем больше ускорение, тем выше при прочих равных условиях средняя скорость движения, а следовательно, и производительность автомобиля.

Ускорение автомобиля найдем по формуле:

$$j = (D - \Psi) \frac{g}{\delta},$$

где j – ускорение автомобиля, м/с^2 ;

D – динамический фактор;

Ψ – коэффициент сопротивления дороги;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

δ – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля.

В этом уравнении величина, стоящая в скобках, определяется по динамическому балансу автомобиля отрезком, заключенным между кривой динамической характеристики и линией, соответствующей коэффициенту сопротивления дороги.

Коэффициент учета вращающихся масс автомобиля (коэффициент условного увеличения поступательно движущейся массы автомобиля):

$$\delta = 1 + \frac{J_m i_k^2 i_{дв}^2 i_0^2 \eta_{тр} g}{r_d r_k G_a} + \frac{\sum J_k g}{r_d r_k G_a},$$

где J_m – момент инерции вращающихся масс двигателя, $J_m = 0,1 \dots 0,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$;

$\sum J_k$ – суммарный момент инерции колес, $\sum J_k = 2,5 \dots 5,0 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2$;

i_k – передаточное число коробки передач на выбранной передаче;

$i_{дв}$ – передаточное число высшей передачи в раздаточной коробке;

i_0 – передаточное число главной передачи;

G_a – полный вес автомобиля, Н ;

g – ускорение свободного падения, м/с^2 ;

r_d – динамический радиус колеса, м .

r_k – радиус качения колеса, м ;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

$$\delta_1 = 1 + \frac{0,1 \cdot 2,6^2 \cdot 0,98 \cdot 9,8}{0,26 \cdot 0,25 \cdot 16023} + \frac{5 \cdot 9,8}{0,26 \cdot 0,25 \cdot 16023} = 1,0532 .$$

Полученные значения ускорений внесем в таблицу 2.11.

Таблица 2.11 – Ускорение и обратное ускорения автомобиля.

J1,	1/J1,
м/с ²	с ² /м
3,71	0,27
3,53	0,28
2,78	0,36
2,29	0,44
1,93	0,52
1,65	0,60
1,44	0,70
1,36	0,73
1,29	0,77
1,23	0,82
1,16	0,86

Строим кривые зависимости ускорений и обратных ускорений автомобиля от скорости движения (рисунок 2.15 и рисунок 2.16).

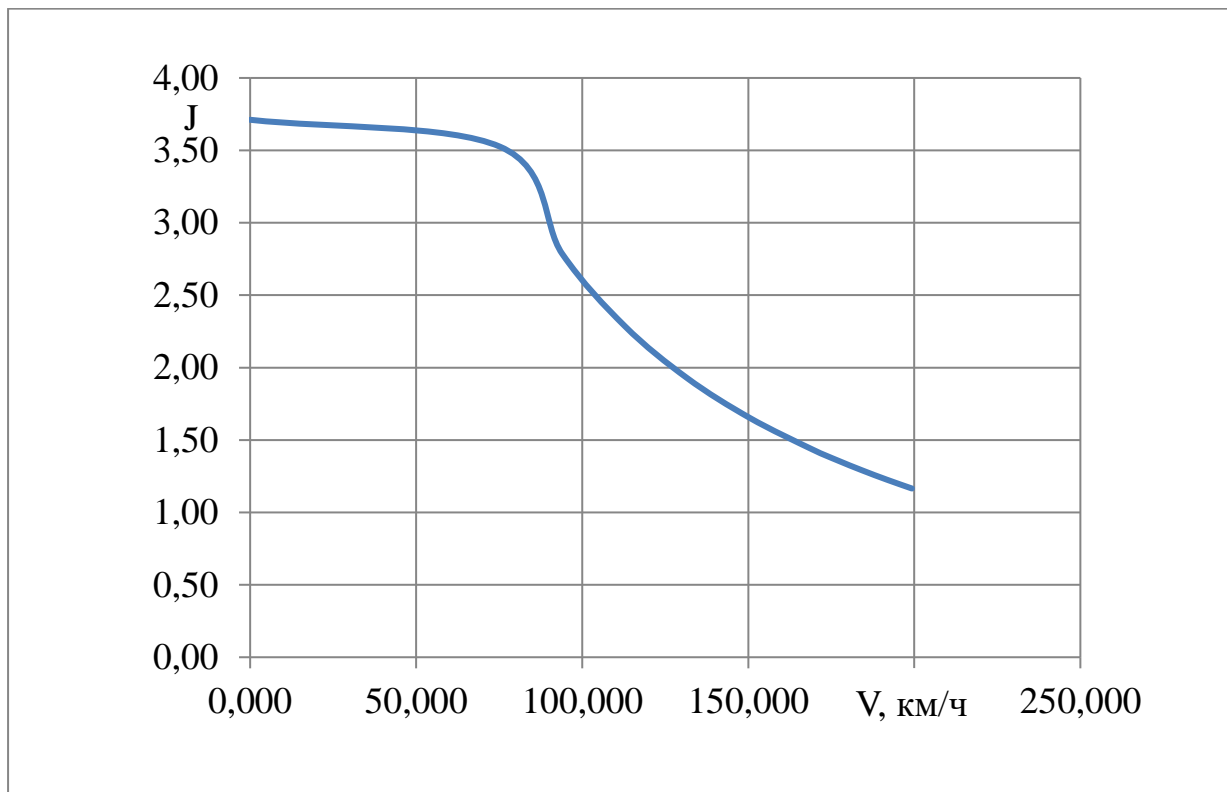


Рисунок 2.15 – График ускорений.

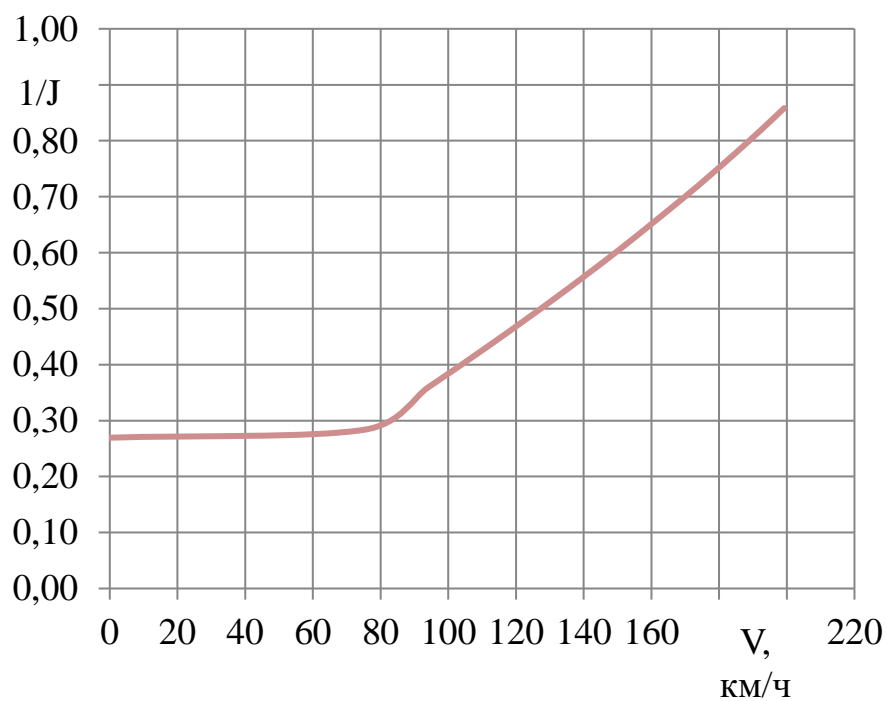


Рисунок 2.16 – График обратных ускорений.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

2.2.7 Определение времени и пути разгона

Ускорение, полностью характеризующая способность автомобиля к быстрому разгону, не дает достаточно наглядного представления о приемистости автомобиля. Поэтому определяют время и путь разгона, которые позволяют выявить приемистость автомобиля в более наглядной форме и сравнить автомобили по этим показателям.

Так как отсутствует аналитическая связь между обратным ускорением $1/j$ и скоростью V , то время разгона обычно определяют графоаналитически.

Для построения зависимости времени разгона от скорости всю площадь под кривой $1/j = f(V)$ разбивают вертикальными линиями на участки с интервалом скоростей 10 км/ч.

Для упрощения подсчета площадь каждого участка заменяют площадью равноугольного участка с высотой:

$$\frac{1}{j'_{\text{cp}}} = \frac{1/j_1 + 1/j_2}{2},$$

где $1/j_1$ и $1/j_2$ – обратные ускорения в начале и в конце интервала скорости. Тогда для участка, например, при изменении скорости от V_1 до V_2 время разгона:

$$t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6j'_{\text{cp}}},$$

где t_1 – время, с;

V_1 – скорость в начале интервала, м/с;

V_2 – скорость в конце интервала, м/с;

j – ускорение, м/с².

Аналогично определяются $t_2, t_3 \dots t_n$ по остальным участкам.

Путь разгона определяют из соотношения:

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		79

$$V = \frac{dS}{dt}.$$

Этот интеграл решают также графоаналитически, используя график $t = f(V)$.

Для построения графика $S = f(V)$ эту площадь разбивают горизонтальными линиями на несколько участков. Для упрощения подсчета площадь каждого участка заменяем площадью равновеликого участка с тем же основанием и высотой:

$$V'_{\text{cp}} = \frac{V_1 + V_2}{2},$$

где V_1 – скорость в начале участка, км/ч;

V_2 – скорость в конце участка, км/ч.

При изменении скорости от V_1 до V_2 .

$$S_1 = (t_2 - t_1) \frac{V'_{\text{cp}}}{3,6},$$

где S_1 – расстояние, м;

t_2 – время в конце интервала времени, с;

t_1 – время в начале интервала времени, с;

V'_{cp} – средняя скорость на интервале, м/с.

Аналогично определяются значения $S_2, S_3 \dots S_n$ по остальным участкам.

Полученные значения расчетных точек внесем в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Определение времени и пути разгона.

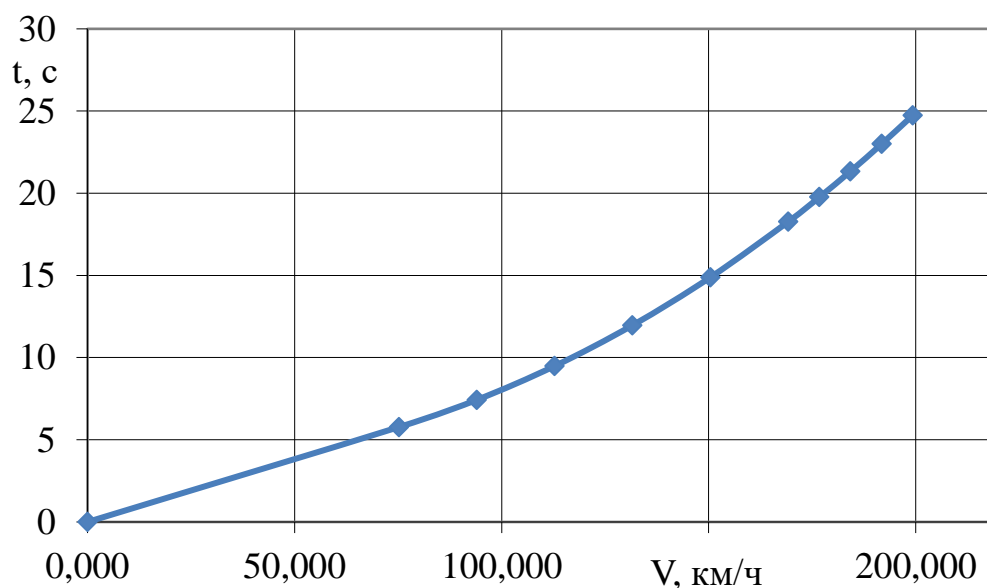
V , км/ч	t , с	s , м
0,000	0	0

Продолжение таблицы 2.12

75,200	5,77	60,295
94,000	7,43	99,189
112,800	9,49	158,34
131,600	11,97	242,47
150,400	14,88	356,72
169,200	18,26	506,79
176,720	19,76	578,56
184,240	21,33	657,55
191,760	22,99	744,23
199,280	24,74	839,14

По найденным значениям построим график $S = f(V)$ и $t = f(V)$ (рисунок 2.17).

Время разгона автомобиля



Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

81

Путь разгона автомобиля

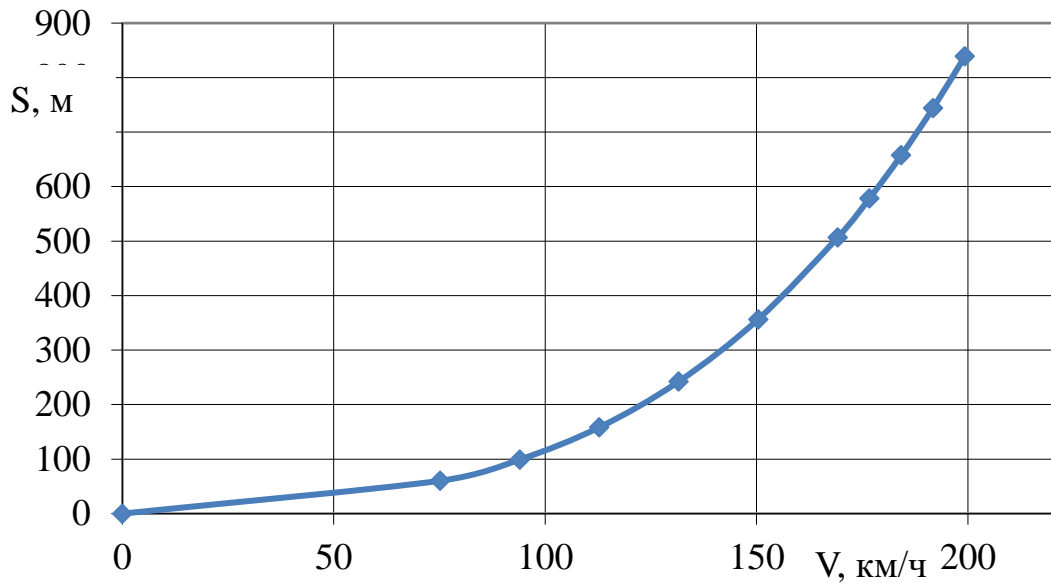


Рисунок 2.17 – Время и путь разгона автомобиля

2.2.8 Мощностной баланс

Для оценки тягово–скоростных свойств и тяговой экономичности используют уравнение мощностного баланса, которое иллюстрирует распределение мощности по видам сопротивления:

$$N_k = N_m \eta_{тр} = N_{\psi} + N_{\omega} + N_j,$$

где N_k – мощность на ведущих колесах, кВт;

N_m – мощность двигателя при текущих оборотах, кВт;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

N_{ψ} – мощность на преодоление сопротивления дороги, кВт;

N_{ω} – мощность на преодоление сопротивления воздуха, кВт;

N_j – разность мощности подводимая к ведущим колесам, кВт.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

82

Разность мощности подводимая к ведущим колесам есть:

$$N_j = N_k - (N_\psi + N_\omega) \text{ кВт.}$$

Определим значения мощности, найденные значения запишем в таблицу 2.13 и в таблицу 2.14. Помним, что особенность электродвигателя – это постоянство мощности на диапазоне оборотов выше номинальной точки.

Таблица 2.13 – Тягово-скоростные свойства

n,	Nm,	V,
мин ⁻¹	кВт	км/ч
0	0,00	0,000
2000	135,00	75,200
2500	135,00	94,000
3000	135,00	112,800
3500	135,00	131,600
4000	135,00	150,400
4500	135,00	169,200
4700	135,00	176,720
4900	135,00	184,240
5100	135,00	191,760
5300	135,00	199,280

Таблица 2.14 – Мощностной баланс

V, км/ч	P _ω , Н	ψ	P _ψ , Н	N _ψ /η, кВт	N _ψ +N _ω /η, Вт
0,000	0,000	0,014	224,322	0	0
75,200	17,454	0,014	228,727	8,77563616	9,6243878
94,000	27,272	0,014	231,204	11,0883706	12,622588

Продолжение таблицы 2.14

112,800	39,271	0,015	234,233	13,480322	16,015523
131,600	53,452	0,015	237,811	15,9673338	19,882141
150,400	69,815	0,015	241,941	18,5652493	24,301388
169,200	88,360	0,015	246,621	21,2899119	29,352212
176,720	96,389	0,016	248,647	22,418815	31,567067
184,240	104,767	0,016	250,761	23,5715466	33,900659
191,760	113,494	0,016	252,963	24,7491207	36,358039
199,280	122,570	0,016	255,254	25,9525511	38,944261

По найденным значениям строим график мощностного баланса (рисунок 2.18).

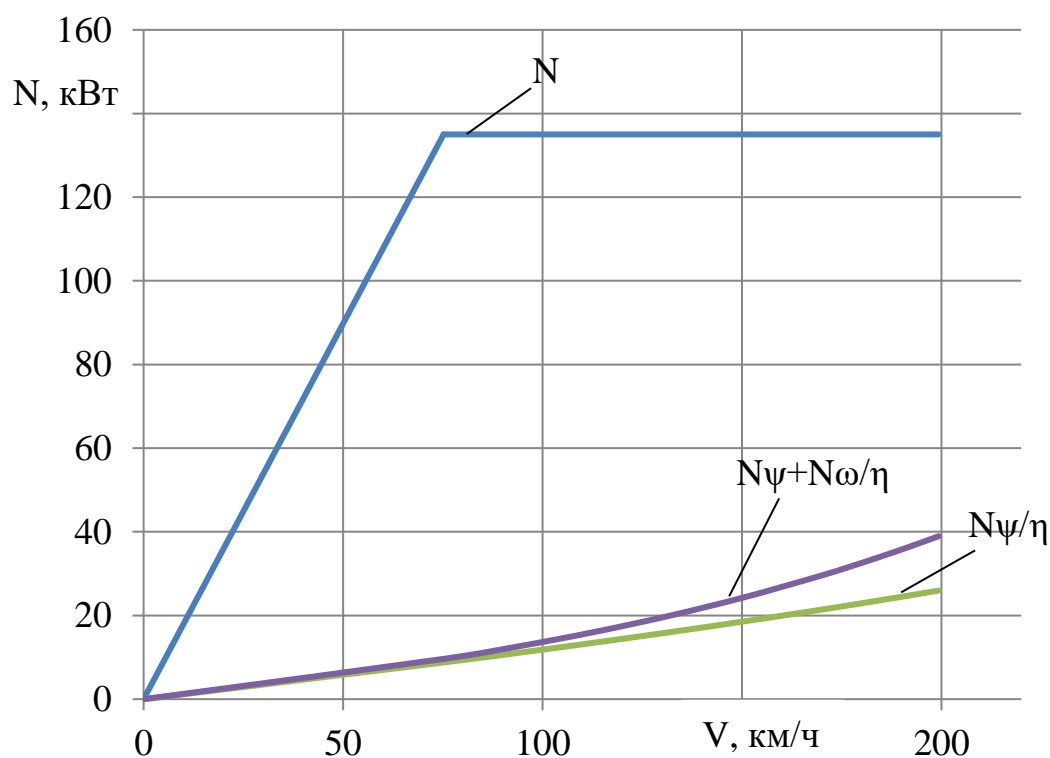


Рисунок 2.18 – Мощностной баланс

2.2.9 Рекуперативное торможение

Рекуперативное торможение – вид электрического торможения, при котором электроэнергия, вырабатываемая тяговыми электродвигателями, работающими в генераторном режиме, возвращается в электрическую сеть.

Рекуперативное торможение широко применяется на электровозах, электропоездах, современных трамваях и троллейбусах, где при торможении электродвигатели начинают работать как электрогенераторы, а вырабатываемая электроэнергия передаётся через контактную сеть либо другим электровозам, либо в общую энергосистему через тяговые подстанции.

Аналогичный принцип используется на электромобилях, гибридных автомобилях, где вырабатываемая при торможении электроэнергия используется для подзарядки аккумуляторов. Некоторые контроллеры двигателей электровелосипедов реализуют рекуперативное торможение.

Проводились также эксперименты по организации рекуперативного торможения других принципов на автомобилях; для хранения энергии использовались маховики, пневматические аккумуляторы, гидроаккумуляторы и другие устройства.

В электромобиле функция рекуперации позволяет автомобилю накапливать энергию, когда машина замедляет ход. При этом колеса используются в качестве генераторов электричества. Это позволяет подзарядить батарею и происходит всякий раз, когда вы переставляете ногу с педали акселератора на педаль тормоза.

2.3 Расчет одноступенчатого редуктора

Расчет включает в себя:

- кинематика привода;
- проектный расчет;
- подготовка исходных данных для проектного расчета;

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		85

- выбор материала зубчатых передач;
- допускаемые контактные напряжения при расчете на выносливость активных поверхностей зубьев закрытых передач;
- геометрические параметры передачи;
- проверочный расчет цилиндрической зубчатой передачи средствами Компас 3D V16.

Кинематика привода изображена на рисунке 2.19

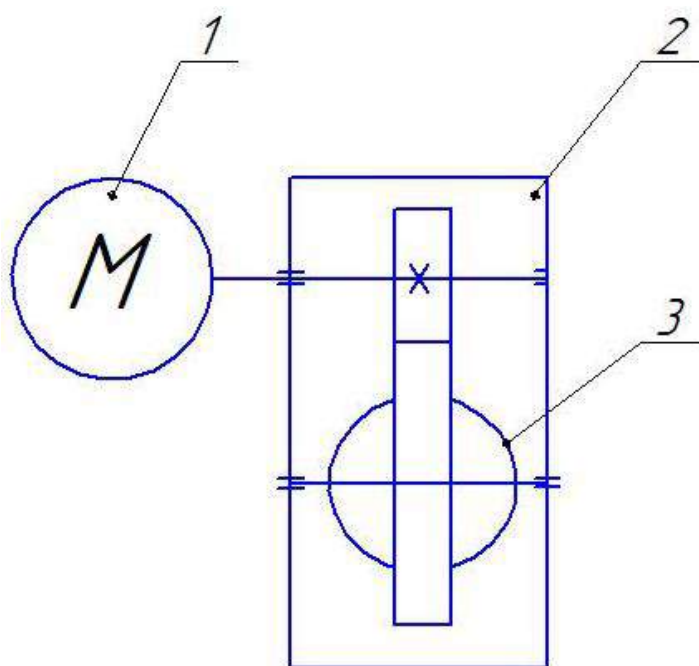


Рисунок 2.19. Кинематическая схема привода: 1—вентильно-импульсный электродвигатель; 2—одноступенчатый редуктор; 3— дифференциал.

2.3.1 Проектный расчет

Цель расчета – определение основных геометрических размеров зубчатых колес из условия предотвращения усталостного выкашивания активных поверхностей зубьев. Основной расчетный параметр – межосевое расстояние передачи. Вычислению межосевого расстояния предшествуют выбор материалов, термообработки и определение допускаемых напряжений в зубчатой передаче, выбор ряда расчетных коэффициентов.

Подготовка исходных данных для проектного расчета.

Выбираем материал для зубчатых колес сталь 12ХНЗА ГОСТ 4543-71 [11].

Сводная таблица механических свойств материала 2.15

Сводная таблица механических свойств материала				
Наименование и обозначение параметра				Значение
Наименование материала	-			Сталь 12ХНЗА
ГОСТ на материал	-			ГОСТ 4543-71
Аналоги или заменители материала	-			20ХНЗА,30ХН
Термическая обработка	Закалка			
Твердость материала	HRC(HB)		62	
	HRC = 62, HB = 630, HV = 670			
Модуль упругости (модуль Юнга I)	E	M	220000	
Модуль сдвига (модуль Юнга II рода)	G	M	84600	
Коэффициент Пуассона	Ц	—	0.3	
Плотность материала	P	кг	7850	
Предел прочности	°B	M	950	
Предел текучести	°T	M	700	
Прочностные характеристики, применяемые в расчётах зубчатых колёс				
Допускаемое напряжение при максимальной	контакте	H _{ртах}	MПа	2728
	изгибе	F _{рmax}	MПа	1600
Предел выносливости при:	контакте	H _{limb}	MПа	1426
	изгибе	F _{limb}	MПа	950

Допускаемые контактные напряжения при расчете на выносливость активных поверхностей зубьев.

Принято называть меньшее из сопряженных зубчатых колес шестерней, большее — колесом. Величинам, относящимся к шестерне, присваивают индекс 1, к колесу — индекс 2. Величины, относящиеся к передаче в целом, пишутся без индекса.

Допускаемые контактные напряжения:

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
						87
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

$$\sigma_{HPj} = 0,9 \cdot \frac{\sigma_{Hlimbj}}{S_{Hmin}} Z_{Nj}, \quad j=1;2,$$

где σ_{Hlimb1} , σ_{Hlimb2} – пределы контактной выносливости поверхностей зубьев шестерни и колеса, соответствующие базовому числу циклов напряжений, приведены в таблице 2.15;

S_{Hmin} – минимальный коэффициент запаса прочности, при поверхностном упрочнении зубьев $S_{Hmin}=1,1$;

Z_{H1} , Z_{H2} – коэффициенты долговечности для шестерни и колеса т.к. проводится многовариантное проектирование редуктора на ЭВМ, то на данном этапе принимаем $Z_{H1}=Z_{H2}=1$.

Тогда получим:

$$\sigma_{HP1} = \sigma_{HP2} = 0,9 \cdot \frac{1380}{1,2} \cdot 1 = 1035 \text{ МПа},$$

Расчетные допускаемые контактные напряжения передачи определяются, для косозубых и шевронных передач по формуле:

$$\sigma_{HP} = 0,45 \cdot (\sigma_{HP1} + \sigma_{HP2}),$$

$$\sigma_{HP} = 0,45 \cdot (1035 + 1035) = 931,5 \text{ МПа}$$

Коэффициенты цилиндрической передачи. Коэффициент ширины зубчатого венца в долях диаметра шестерни. Выбирается исходя из высокой твердости $H>350$ НВ и несимметричного расположения колеса относительно опор: $\psi_{bd2}=0,5$.

Коэффициент $K_{H\beta}$ выбирается так же как для конической передачи: $K_{H\beta2}=1,08$.

Диаметр вершины зубьев:

шестерни:

$$d_{a1} = d_1 + 2 \cdot m_n = 96 + 2 \cdot 4 = 104 \text{ (мм)},$$

										Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2017.394.00 ПЗ					88

колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2 \cdot m_n = 231.111 + 2 \cdot 4 = 239,1111 \text{ (мм)}.$$

Диаметр впадин зубьев:

шестерни:

$$d_{f1} = d_1 - 2.5 \cdot m_n = 96 - 2,5 \cdot 4 = 86 \text{ (мм)},$$

колеса:

$$d_{f2} = d_2 - 2.5 \cdot m_n = 231.111 - 2,5 \cdot 4 = 221.111 \text{ (мм)}.$$

Проверка вписывания передачи в заданное межосевое расстояние:

$$a_w = \frac{d_{w2} + d_{w1}}{2},$$

$$180 = \frac{299,111 + 88,888}{2} = 158.$$

2.3.2 Проверочный расчет

Цель расчета – определить фактическое напряжение в контакте для проверки условия прочности. Фактические напряжения могут отличаться от допускаемых вследствие уточнения геометрических размеров передачи и расчетных коэффициентов.

Проверочный расчет зубчатого зацепления производился в среде Компас 3D V16, результаты приведены в таблице 2.16, 2.17 и 2.18.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
						89
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

Таблица 2,16 – Расчёт на прочность при действии максимальной нагрузки цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления (по ГОСТ 21354-87) [12]

Наименование и обозначение параметра		Ведущее колесо	Ведомое *2 колесо
Исходные данные			
Число зубьев	z_1, z_2	2,	52
Модуль, мм	m	4	
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре	β	25°08'00"	
Угол профиля исходного контура	α	20°00'00"	
Ширина зубчатого венца, мм	b	48	45
Коэффициент смещения исходного контура	X	0,5352	-0,2958
Степень точности	-	7-C	7-C
Вариант схемы расположения передачи	-	5	
Марка материала		Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71	
	*2	Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71	
Твердость активных поверхностей зубьев, HRC	-	D2	62
Расчётная нагрузка (крутящий момент на ведущем колесе), Н*м	T_{max}	D75	
Частота вращения ведущего колеса, об/мин	n_1	2000	
Определяемые параметры			
Окружная скорость в зацеплении, м/с	V	&,254	
Расчёт на контактную прочность			
Коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине контактных линий	$K_H p$	1,22	
Удельная окружная динамическая сила, Н/мм	H_V	15,39	
Коэффициент, учитывающий динамическую	H_V	1,045	
Окружная сила на делительном цилиндре, Н	F_H	15277,306	
Удельная расчетная окружная сила, Н/мм	W_{Ht}	474,579	
Расчётное контактное напряжение, МПа	H_{ma}	1010,439	
Допускаемое контактное напряжение, МПа	H_P	2728	2728
Коэффициент запаса по контактным напряжениям	H	2,7	2,7
Расчёт на прочность при изгибе			
Коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по длине контактных линий	F_p	1,179	
Удельная окружная динамическая сила, Н/мм	F_V	23,084	

Продолжение таблицы 2.16

Коэффициент, учитывающий динамическую нагрузку, возникающую в зацеплении до зоны резонанса	KFV	1,068	
Окружная сила на делительном цилиндре, Н	FF	15277,306	
Удельная расчетная окружная сила, Н/мм	^w Ft	468,457	
Расчётное напряжение изгиба, МПа	Fma	208,204	232,444
Допускаемое напряжение изгиба, МПа	FPm	1600	1600
Коэффициент запаса по напряжениям изгиба	n _F	7,237	6,595

Таблица 2.17 – Расчёт на выносливость цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления (по ГОСТ 21354-87) [12]

Наименование и обозначение параметра		Ведущее *1 колесо	Ведомое *2 колесо
Исходные данные			
Число зубьев	z ₁ , z ₂	20	52
Модуль, мм	т.	4	
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре	ρ	25°08'00"	
Угол профиля исходного контура	α	20°00'00"	
Ширина зубчатого венца, мм	b	48	45
Коэффициент смещения исходного контура	X	<0,5352	-0,2&58
Степень точности	-	7-C	7-C
Вариант схемы расположения передачи	-	5	
Марка материала		Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71	
		*2	Сталь 12ХН3А ГОСТ 4543-71
Твердость активных поверхностей зубьев, HRC		"2	62
Базовое число циклов перемены напряжений, миллионы	кон-такт	НИТ	120
	изгиб	Flim	4
Предел выносливости по контакту, соответствующий базовому числу циклов, МПа		Hlimb	1426
Коэффициент ограничения усталостных повреждений (контакт)		HG	0,6
Коэффициент безопасности (контакт)		SH	1,2
Показатель кривой выносливости (контакт)		H	6

Продолжение таблицы 2.17

Предел выносливости по изгибу, соответствующий базовому числу циклов, МПа	Flimb	&50	&50
Коэффициент ограничения усталостных повреждений (изгиб)	FG	0,6	
Коэффициент безопасности (изгиб)	^S F	1,55	1,55
Показатель кривой выносливости (изгиб)	QF	&	&
Коэффициент, учитывающий шероховатость	^Z R	1	1
Коэффициент, учитывающий влияние двухстороннего приложения нагрузки	Y _A	0,65	0,65
Планируемый ресурс работы, час		20000	

Таблица 2.18 – Геометрический расчёт цилиндрической зубчатой передачи внешнего зацепления

Наименование и обозначение параметра		Ведущее ^{A1} колесо	Ведомое ^{*2} колесо
Исходные данные			
Число зубьев	$z_1 > z_2$	20	52
Модуль, мм		(
Угол наклона зубьев на делительном цилиндре	P	25°08'00"	
Исходный контур	-	ГОСТ 13755-81 [13]	
Угол профиля исходного контура	a	20°00'00"	
Коэффициент высоты головки зуба исходного контура		1	
Коэффициент радиального зазора исходного контура	* c	0,25	
Коэффициент радиуса кривизны переходной кривой в граничной точке профиля зуба исходного контура	* p*	0,38	
Ширина зубчатого венца, мм	ь	(8	45
Коэффициент смещения исходного контура	X	+0,5352	-0,2958
Степень точности	-	7-:	7-:
Определяемые параметры			
Передаточное число	и	2,6	
Межосевое расстояние, мм	a	d ЛЛ+0,028	
Делительный диаметр, мм	d	88,366	229,753

Продолжение таблицы 2.18

Диаметр вершин зубьев, мм	d	100,614	235,352
Диаметр впадин зубьев, мм	df	82,648	217,386
Начальный диаметр, мм	d ₁	88,887	231,111
Основной диаметр, мм	d _b	81,988	213,17
Угол зацепления	^a tw	22°43'30"	
Контролируемые и измерительные параметры			
Постоянная хорда, мм	s _c	6,924	4,788
Высота до постоянной хорды, мм	hc	4,864	1,928
Радиус кривизны разноимённых профилей зуба в точках, определяющих постоянную хорду, мм	P ₅	19,859	45,187
Радиус кривизны активного профиля зуба в нижней точке, мм	P P	11,937	32,65
Условие >pp (возможность измерения постоянной хорды)	-	выполнено	выполнено
Число зубьев в длине общей нормали	^Z Wr	4	8
Длина общей нормали, мм	W	44,281-0,04	91,62-0,18
Максимальная длина общей нормали, мм	wb	120,267	112,75
Возможность измерения длины общей нормали	-	выполнено	выполнено

2.3.3 Компоновка редуктора

Проектный расчет валов

Диаметр цапф вала в местах установки подшипников рассчитывается из условия прочности на кручение при заниженных допускаемых напряжениях, полученные размеры округляют до ближайших размеров из ряда внутренних диаметров подшипников:

$$d_n \geq \sqrt[3]{\frac{T \cdot 10^3}{0.2 \cdot [\tau_K]}}$$

где $[\tau_K]$ – допускаемые напряжения при кручении,

										Лист
										93
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2017.394.00 ПЗ					

T – вращающий момент, Н·м.

Для первого, быстроходного вала:

$$d_{n1} \geq \sqrt[3]{\frac{T \cdot 10^3}{0.2 \cdot [\tau_K]}} = \sqrt[3]{\frac{675 \cdot 10^3}{0.2 \cdot 20}} = 55,2 \text{ (мм)};$$

Роль, выходного вала играет дифференциал, его берем стандартный:

Полученные размеры округлим до стандартных по ГОСТ 6636-69 [14], соответственно:

$$d_{n1} = 60 \text{ (мм)};$$

Диаметр участка вала под установку зубчатых колес выбираем по формуле:

Для первого, вала:

$$d_{k1} = 0,85 \cdot d_{n1} = 0,9 \cdot 30 = 27 \text{ (мм)},$$

Роль второго вала играет стандартный дифференциал.

Для осевой фиксации колес и подшипников вал выполняют ступенчатым. Высоту заплечника выбирают в зависимости от диаметра вала по формуле:

$$d_1 = 1.1 \cdot d_k$$

Вращающиеся детали в редукторе выполняют таким образом, чтобы исключить их касание друг с другом и со стенками корпуса, а также получить наименьшие габариты редуктора. Поэтому при проектировании выдерживаются зазоры:

между внешними поверхностями вращающейся детали и стенками корпуса редуктора:

$$\Delta \geq 4t = 4 \cdot 4 = 16 \text{ (мм)},$$

между внешними поверхностями вращающейся детали и дном редуктора:

$$\Delta_0 \geq 6t = 6 \cdot 4 = 24 \text{ (мм)},$$

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		94

где: $m=4$ – модуль зацепления тихоходной передачи.

2.3.4 Подбор подшипников качения

Подшипники – детали, поддерживающие вращающиеся валы и оси в пространстве, обеспечивая им возможность вращения или качения, и воспринимая действующие на них нагрузки.

Для цилиндрической передачи был выбран шариковый радиально-упорный подшипник по ГОСТ 831-75 [15] лёгкой серии. Серия диаметров 9, серия ширин 1.

2.3.5 Конструирование основных элементов

Цилиндрические зубчатые колеса

Зубчатые колеса с диаметром впадин зубьев $d_f < 2.5d_K$, экономически целесообразно изготовить за одно целое с валом. Поэтому шестерню цилиндрической передачи, проектируем в целом с валом.

Основные геометрические характеристики при проектировании, находятся по формулам:

ширина базовых поясков: $e = 2.5 \cdot m.$

толщина обода: $s = 2.5 \cdot m + 2,$

длина ступицы: $l_{ст} = 0.8 \cdot d_K,$

диаметр ступицы: $d_{ст} = 1.5 \cdot d_K,$

толщина диска: $c = 0.4 \cdot b,$

штамповочные и литейные уклоны и радиусы:

$$R = 5 \dots 10 \text{ (мм)},$$

$$\gamma = 5 \dots 7^\circ,$$

фаски на торцах зубчатого венца:

$$f = 0.6m.$$

Вывод по второму разделу:

Исходя из полученных расчетов, мы видим, что Lada-Kalina с электрической силовой установкой превосходит свой прототип, по скорости разгона, пути разгона, по максимальной скорости и по показателям экологичности. Силовая установка в паре с редуктором занимает меньше пространства нежели двигатель внутреннего сгорания с трансмиссией.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		96

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

Современное производство – это ведущие отрасли промышленности, занятые производством конкурентоспособной продукции с использованием обработки деталей на металлорежущих станках.

Тенденции развития современного производства связаны с переходом на быстропереналаживаемое серийное производство, где предпочтение отдается гибкому автоматизированному производству. Его основная характеристика – гибкость, которая достигается высокой степенью универсальности, переналаживаемости, взаимозаменяемости и другими требованиями.

На современном этапе развития машиностроения большое значение имеет автоматизация производственных процессов. Основой автоматизации производственных процессов являются автоматизированные технологические процессы механической обработки и сборки, которые обеспечивают высокую производительность и необходимое качество изготавливаемых изделий.

В условиях быстрого обновления номенклатуры выпускаемых изделий, вызванного потребностями рынка, эффективным становится применение гибких производственных систем (ГПС), основанных на широком использовании промышленных роботов, микропроцессорной техники и электроники. Высокая эффективность производства достигается рациональным сочетанием оборудования, организацией транспортных операций и управления ГПС [17].

Необходимым элементом перехода от локальной автоматизации к ГПС являются роботизированные технологические комплексы (РТК). Организационно РТК могут функционировать отдельно, как самостоятельный вид оборудования, или быть объединены в роботизированные технологические линии (РТЛ) и роботизированные технологические участки (РТУ).

Состав РТК определяется характером выполняемого технологического процесса и формируется на основе следующих данных: типа производства; заданной годовой программы выпуска; состава технологического оборудования; организации

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		97

потока материалов (транспортирование, промежуточное хранение деталей и заготовок); числа подразделений обслуживания оборудования.

3.1 Обще технологическая часть

3.1.1 Анализ служебного назначения детали

В машиностроении принято малое зубчатое колесо с меньшим числом зубьев называть шестернёй, а большое колесом. Однако часто все зубчатые колёса называют шестернями.

Зубча-

тые колёса обычно используются парами с разным числом зубьев с целью преобразования

вращающего момента и числа оборотов валов на входе и выходе. Колесо, к которому

вращающий момент подводится извне, называется ведущим, а колесо, с которого момент снимается —

ведо-

мым. Если диаметр ведущего колеса меньше, то вращающий момент ведомого колеса увеличивается за счёт пропорционального уменьшения скорости вращения, и наоборот.

В соответствии с передаточным отношением, увеличение крутящего момента будет

вызывать пропорциональное уменьшение угловой скорости вращения ведомой шестерни, а их произведение — механическая мощность —

останет-

ся неизменным. Данное соотношение справедливо лишь для идеального случая, не

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		98

учитывающе-

го потери на трение и другие эффекты, характерные для реальных устройств.

На рисунке 3.1 представлен фрагмент чертежа детали «Зубчатое колесо прямо-
зубое».

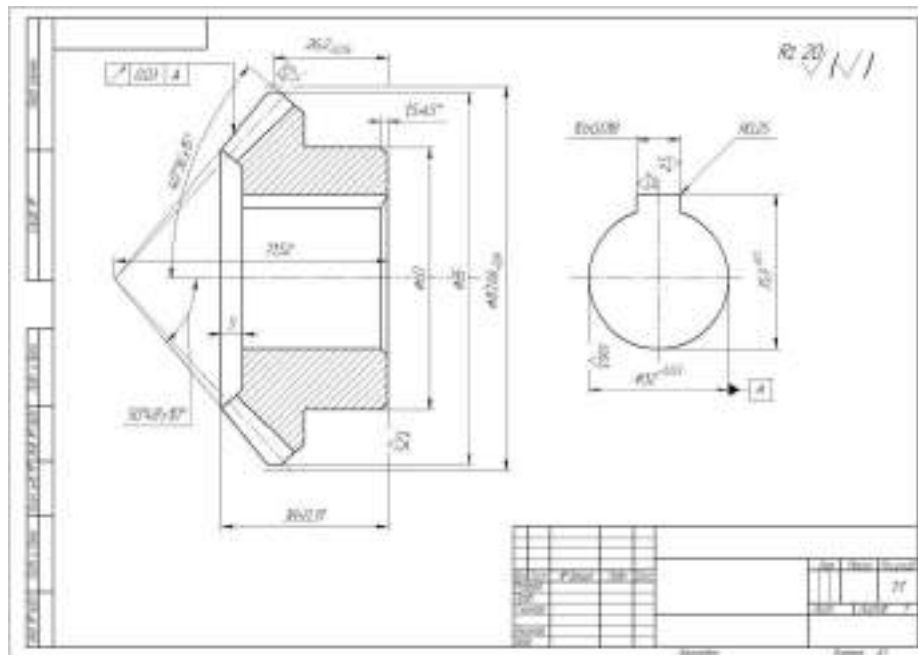


Рисунок 3.1 – Фрагмент чертежа детали «Зубчатое колесо прямозубое»

3.1.2 Анализ технологичности детали

Технологичность конструкции изделия – это совокупность свойств изделия, определяющих приспособленность его конструкции к достижению оптимальных затрат ресурсов при производстве и эксплуатации для заданных показателей качества, объема выпуска и условий выполнения работ.

В соответствии с ГОСТ 14205 – 83 [16], отработкой конструкции изделия на технологичность называется часть работ по обеспечению технологичности, направленная на достижение заданного уровня технологичности, выполняемая на всех этапах разработки изделия [17,18].

Технологичность конструкции изделия может быть определена при помощи качественной и количественной оценки. В данной работе производится качественная оценка технологичности.

Материал детали – Сталь 45 – сталь конструкционная легированная, широко используемая в промышленности для изготовления нагруженных зубчатых колес и других деталей, твердость которых более HRC 65. Химический состав стали 45 представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Химический состав стали 45

Химический состав стали 45 в процентах								
C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Fe	Cu
0,42 - 0,5	0,17 – 0,37	0,5 – 0,8	до 0,25	до 0,04	до 0,035	до 0,25	~97	до 0,25

Сталь 45 отличается повышенными характеристиками прочности, выносливости, хорошо обрабатывается, доступна по стоимости. Нашла применение практически во всех областях промышленности, там, где имеют место постоянные механические нагрузки, сложные температурные условия.

Самая высокая точность размеров детали соответствует 7 качеству (Ø32H7), а самая низкая – 14 качеству (размеры с неуказанными отклонениями).

Наибольшая шероховатость поверхности Rz 0,63 мкм, наименьшая Ra 20 мкм.

С точки зрения технологичности детали можно отметить следующее:

- 1) возможно совмещение конструкторских, технологических и измерительных баз;
- 2) требуемая точность и шероховатость поверхностей могут быть получены на основном оборудовании нормальной точности;
- 3) конструкция детали позволяет производить удобный подвод режущего инструмента и отвод стружки при обработке большинства поверхностей;

Анализ технологичности конструкции детали «Зубчатое колесо» показал, что в целом деталь технологична.

3.1.3 Анализ действующего технологического процесса обработки детали «Зубчатое колесо»

Действующий технологический процесс обработки детали «Зубчатое колесо» включает в себя 18 операций. Маршрут действующего технологического процесса представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Маршрут действующего технологического процесса

№ операции	Содержание или наименование операции	Оборудование	Оснастка
005	Отрезать заготовку	Абразивно-отрезной 8В262	Тиски
010	Кузнечная		
015	Термическая обработка		
020	Подрезать торцы Ø60/Ø32Н7 и Ø87,66/Ø66. Точить поверхность Ø60 предварительного. Сверлить, зенкеровать, развернуть отверстие Ø32Н7 предварительно. Расточить и точить фаски.	Токарный полуавтомат с ЧПУ КТ141	Трехкулачковый патрон
025	Подрезать торец Ø87,66/Ø32Н7 предварительно. Точить поверхность Ø87,66 предварительно.	Токарный полуавтомат с ЧПУ КТ141	Трехкулачковый патрон
030	Протянуть шпоночный паз В=10Js9 окончательно.	Горизонтально – протяжной 7512	Жесткая опора
035	Опилить заусенцы на шпоночном пазе	Вибробункер	
040	Подрезать торец Ø60/Ø32Н7 предварительно, торец Ø87,66/Ø60 и точить поверхности Ø60, Ø87,66 окончательно.	Токарный полуавтомат с ЧПУ КТ141	Трехкулачковый патрон
045	Подрезать торец Ø67,66/Ø32Н7 предварительно	Токарный полуавтомат с ЧПУ КТ141	Трехкулачковый патрон
050	Контроль		

Продолжение таблицы 3.2

055	Строгать 35 зубьев (m=2,5) под шлифование	Зубострогальный 5Т23В	Оправка
060	Зачистить заусенцы на зубьях	Вибробункер	
065	Шлифовать торец Ø60/Ø32Н7 окончательно и отверстие Ø32Н7 окончательно	Внутришлифовальный	Трехкулачковый патрон
070	Шлифовать торец Ø87,66/Ø32Н7 окончательно	Плоскошлифовальный 3Б740	Магнитный стол
075	Шлифовать 35 зубьев (m=2,5) окончательно	Зубошлифовальный 58П70В	Оправка
080	Промыть деталь	Моечная машина	
085	Технический контроль		
095	Нанесение антикоррозионного покрытия		

В целом действующий вариант технологического процесса построен правильно и является дифференцированным. Однако возможно усовершенствование данного технологического процесса за счет повышения концентрации операций, использования более нового оборудования и режущего инструмента, что значительно уменьшит время обработки, а так же время необходимое на переналадку оборудования и установку полуфабрикатов.

3.1.4 Разработка проектного варианта технологического процесса обработки детали «зубчатое колесо»

3.1.4.1 Анализ методов получения заготовки

При выборе метода получения заготовок деталей машин учитываются такие факторы, как материал детали, ее форма, масса и габаритные размеры, условия работы детали в узле, тип производства и т.д.

Материалом детали «Зубчатое колесо» является сталь 45, обладающая низкими литейными свойствами. Зубчатое колесо – нагруженная и ответственная деталь, а дефекты литья могут привести к ненадежности работы противовеса. Поэтому для получения заготовки целесообразно применять обработку давлением.

Деталь имеет сложную конструкцию со значительно различающимися по диаметру ступенями наружных поверхностей и в условиях серийного производства целесообразно применять заготовки, по форме приближенные к форме готовой детали.

В качестве метода получения поковки выбрана штамповка на молотах. Технология штамповки на молотах основана на динамическом воздействии на заготовку удара падающих частей молота. При этом за счет больших скоростей деформирования металла обеспечивается однородная качественная структура заготовки. Данный метод позволяет значительно приблизить форму заготовки к форме готовой детали, что ведет к значительному уменьшению припуска, снимаемого на последующих операциях механической обработки.

3.1.4.2 Выбор технологических баз

Выбор комплекта черновых технологических баз производился с соблюдением следующих рекомендаций:

- 1) так как по конструкторскому чертежу детали обрабатываются все поверхности, то за черновую базу принимается поверхность, имеющая наименьший припуск на обработку. Это позволяет расположить снимаемые припуски симметрично (параллельно) обрабатываемым поверхностям для того, чтобы в дальнейшем избежать появления «черноты» при обработке поверхностей с наименьшим припуском после смены черновых баз;
- 2) поверхности исходной заготовки, принятые в качестве черновых баз, простые, правильной геометрической формы, без литников, прибылей, выпоров. Они

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		103

имеют достаточные размеры для обеспечения надёжной установки заготовки в приспособлении;

3) комплект черновых технологических баз используется только один раз: для первой установки исходной заготовки на станке.

После окончания первой операции механической обработки дальнейшая обработка заготовки производится от других базовых поверхностей – чистовых.

При выборе комплекта чистовых технологических соблюдались следующие рекомендации:

a) в качестве чистовых технологических баз приняты поверхности, являющиеся одновременно конструкторскими и измерительными базами, т.е. соблюден принцип совмещения баз;

b) в качестве чистовых базовых поверхностей приняты поверхности, которые обеспечивают наиболее простую и надёжную конструкцию приспособления.

c) черновыми базами при обработки зубчатого колеса являются наружная цилиндрическая поверхность и один торец. От черновых баз обрабатываются основные технологические базы зубчатого колеса (центральное отверстие и торец).

d) от основных технологических баз обрабатывается наружный контур зубчатого колеса.

3.1.4.3 Технологический маршрут обработки

При составлении маршрута обработки был использован базовый технологический процесс, а также учтены следующие положения:

1) в первую очередь следует обрабатывать те поверхности, которые будут служить технологическими базами для следующих операций;

2) обработка поверхностей ведётся в последовательности, обратной их степени точности;

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		104

3) технический контроль проводится после тех этапов обработки, где вероятно повышение количества брака, перед сложными дорогостоящими операциями, а также в конце обработки детали.

Исходя из пункта 3.1.3 «Анализ действующего технологического процесса обработки детали «Зубчатое колесо», для условий мелкосерийного производства предлагаются следующие изменения:

- 1) объединить технологические переходы, выполняемые на токарных операциях, фрезерование и закругление зубьев объединить и выполнить на комплексной операции, зачистку заусенцев на торцах зубьев также выполнить на этой операции;
- 2) шлифование наружной цилиндрической поверхности, торцев и центрального отверстия производить на одной операции – торцекруглошлифовальной с ЧПУ.

Маршрут проектного варианта технологического процесса представлен в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Маршрут проектного варианта технологического процесса

№ операции	Название операции	Оборудование	Эскиз
005	Заготовительная (штамповка на молотах)		

Продолжение таблицы 3.3

010	Комплексная с ЧПУ	Токарно-фрезерный станок с ЧПУ Millturn M35-G	
015	Протяжная	Горизонтально протяжной станок МП7А523	
020	Технический контроль	Стол контрольный	
025	Термообработка	Печь для отпуска металлов модели СНО 6.6 – 6.8	

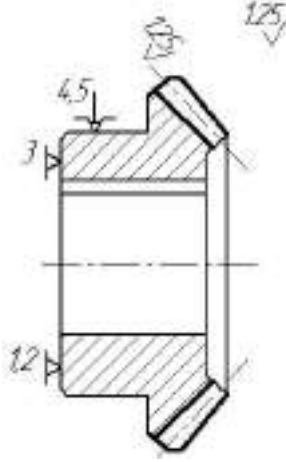
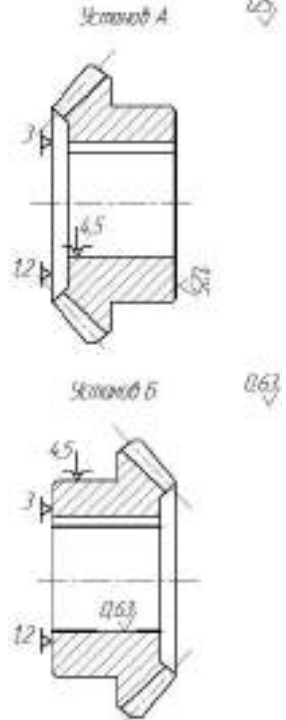
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

106

Продолжение таблицы 3.3

030	Зубошлифовальная	Зубошлифовальный станок с ЧПУ LUREN LFG-8040	
040	Торцекруглошли – фовальная с ЧПУ	Торцекруглошли – фовальный станок с ЧПУ LJ-300E	
045	Промывка	Машина моечная	
050	Технический контроль	Стол контрольный	
055	Нанесение антикоррозионного покрытия		

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

Лист

107

3.1.4.4 Обоснование выбора технологического оборудования и технологической оснастки

Для 010 комплексной операции с ЧПУ выберем токарно-фрезерный станок с ЧПУ Millturn M35-G отличается, прежде всего, встроенным полноценным фрезерным шпинделем и протившпинделем. Его мощность в 15 кВт и частота вращения до 12000 об/мин позволяют обрабатывать на станке крупные детали со сложной геометрией, требующие наравне с токарной большого объема фрезерной обработки. Также фрезерный шпиндель позволяет производить и токарную обработку при установке в него различных резцов. Благодаря различной комплектации, эффективность станка можно повысить до полного автомата, с применением загрузчика прутка, работа выгрузчика, с системой протившпинделя.

015 операция производится на Горизонтально протяжной станок МП7А523. Станок предназначен для шлифования на деталях шлицев прямого и эвольвентного профиля.

Технические возможности станка позволяют осуществлять с использованием дополнительных опций операции шлифования пазов делительных дисков, прямозубых цилиндрических зубчатых колес и другие подобные операции. Устройство ЧПУ SINUMERIK 840DSL (Германия) в комплекте с цифровыми приводами осей координат обеспечивает высокое качество управления полуавтоматом, его надежную, бесперебойную работу. Шлифование поверхностей на полуавтомате осуществляется по управляющей программе.

Для 030 операции наиболее оптимальным вариантом будет являться зубошлифовальный станок с ЧПУ LUREN LFG-8040.

Зубошлифовальные станки данного типа предназначены для шлифования профиля зубьев прямозубых и косозубых шестерен с наружным диаметром до 800 мм и максимальным модулем 20 мм. Наличие 6 / 8-осевого ЧПУ контроллера с системой управления от сервопривода замкнутого контура, промышленного персональ-

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		108

ного компьютера и двигателя прямого привода обеспечивают достижение высочайшей точности.

Станки серии LFG оснащены удобным интерфейсом на базе Windows разработки Luren, который позволяет пользователю вносить изменения в конструкцию, изменять профиль зубчатого колеса и задавать условия шлифования. С указанным программным обеспечением оператору только нужно пошагово внести требуемые параметры зубчатого колеса. Станина изготовлена из серого чугуна высокой прочности.

Шлифование поверхностей на 040 операции производить на торце шлифовальном станке с ЧПУ LJ-300E. LJ-300E высокопроизводительный торце шлифовальный станок для обработки средних прецизионных деталей. Оригинальная конструкция станины станка упрощает установку и снятие деталей, делает работу оператора более производительной и безопасной. Угол поворота шпинделя изделия 180°. Бесступенчатое регулирование скорости вращения шлифовального круга (опция). Благодаря использованию прецизионной ШВП, перемещение шлифовальной бабки осуществляется с высокой точностью. Станок позволяет шлифовать заготовки высотой от 1 до 150 мм.

3.1.4.5 Выбор режущего инструмента

Для 010 операции выберем режущий инструмент из каталога фирмы Widia. Для начала нам необходимо обработать торец и наружную поверхность заготовки для этого выберем токарный резец с креплением прижимом сверху, форму пластины – ромбическую с углом 80°, и задним углом равным 0°, в левом исполнении. Материал пластины подбираем исходя из материала заготовки, а именно сплав CVD.

Габариты державки резца и пример обрабатываемых поверхностей представлены на рисунке 3.2, а пластины на рисунке 3.3

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		109

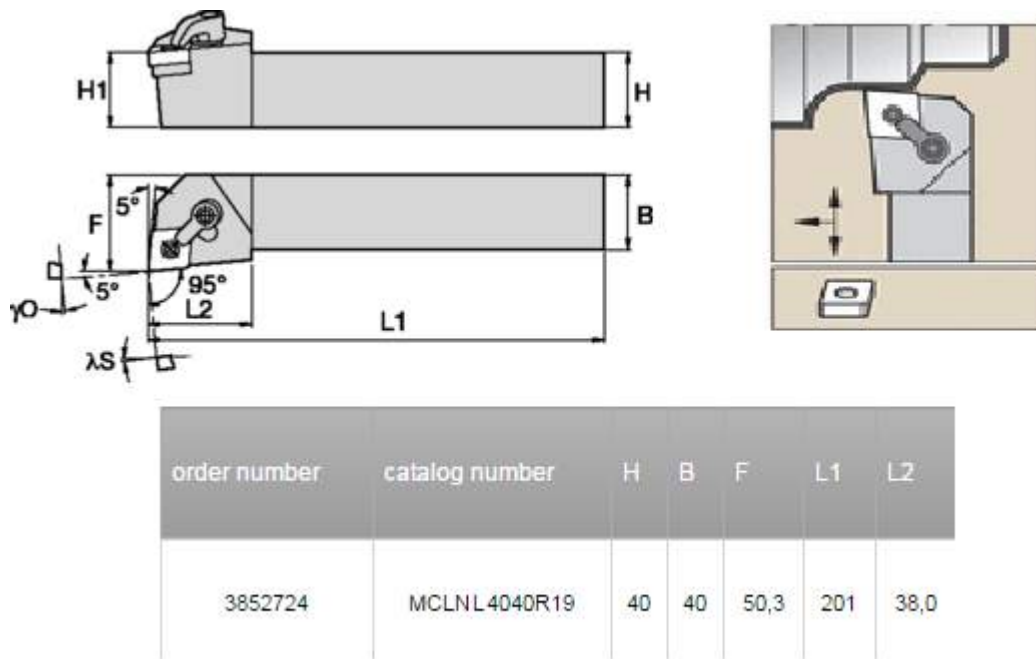


Рисунок 3.2 – Габариты державки резца и пример обрабатываемы поверхностей

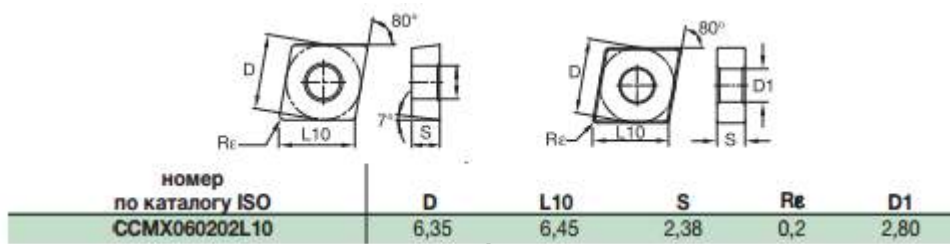


Рисунок 3.3 – Габариты пластины

Далее необходимо просверлить отверстие $\varnothing 32$. Для предварительной обработки отверстия используем сверла $\varnothing 31,5$ мм, ГОСТ 10903-77 [19].

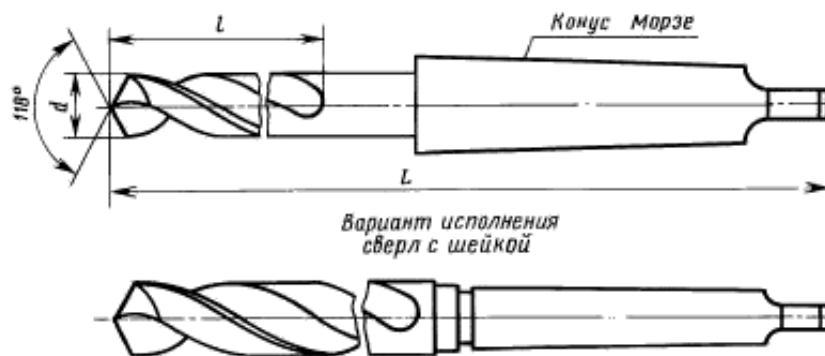


Рисунок 3.4 – Конструктивные элементы сверла

Для чистовой обработки отверстия, используем развертку Ø32 мм ГОСТ 1672-80 [20].

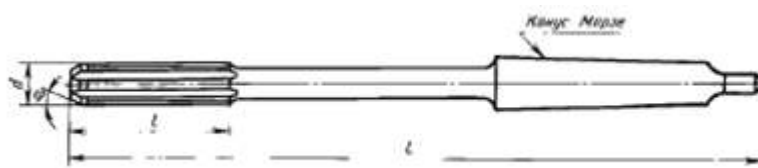


Рисунок 3.5 – конструктивные элементы развертки

Для получения внутренних шлицов используя ГОСТ 25158-82 [21], подберем подходящие для нас габариты протяжки, схематическое изображение протяжки представлено на рисунке 3.6.

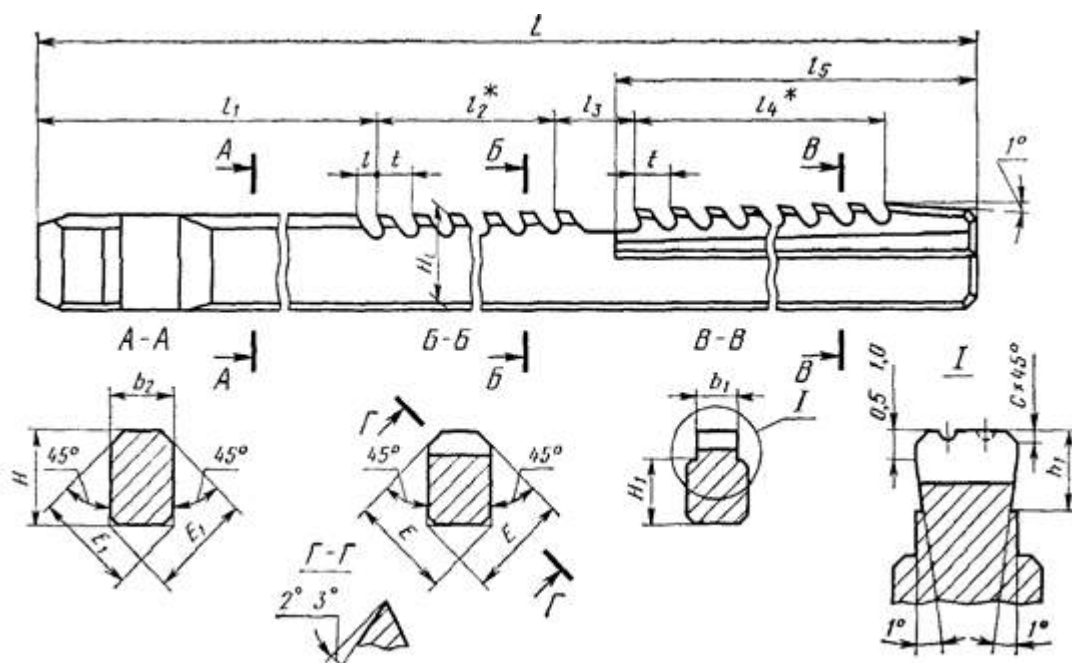


Рисунок 3.6 – Схематичное изображение протяжки

Червячные фрезы являются наиболее распространенным зуборезным инструментом и применяются для чернового и чистового зубонарезания. По ГОСТ 10331-81 [22] «Фрезы червячные мелко модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия» подберем необходимую для нас фрезу. А по ГОСТ 9324-80 [23] «Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия»

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2017.394.00 ПЗ

подберем инструмент для чистовой обработки зубьев. Схематичное изображение червячной фрезы представлено на рисунке 3.7.

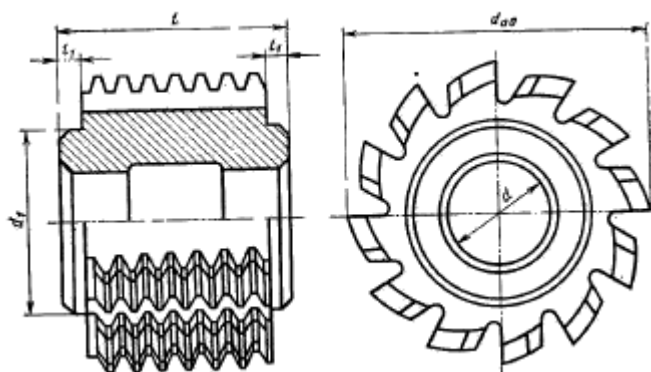


Рисунок 3.7 – Схематичное изображение червячной фрезы

Для 045 операции используем 2 шлифовальных круга габариты которых определяем по ГОСТ Р 52781 – 2007 [24] «Круги шлифовальные. Технические условия»

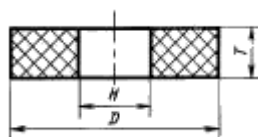


Рисунок 3.8 – Круг шлифовальный

3.1.4.6 Определение режимов резания и норм времени

При назначении режимов резания сначала устанавливают глубину резания, затем выбирают подачу и в зависимости от них определяют скорость резания.

Глубина резания определяется величиной припуска на обработку. Глубина резания оказывает большое влияние на силы резания, поэтому иногда возникает необходимость разделить припуск на несколько проходов.

Суммарный припуск разделяется следующим образом: 60% на черновую обработку, 20 – 30 % на получистовую и 10 – 20 % на чистовую. При чистовой обработке глубина резания назначается в зависимости от необходимой степени точности и качества поверхности [25].

Расчет режимов резания:

Точение.

1) Глубина резания t , мм, выбирается согласно рекомендации в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности: $t=0,5$ мм ;

2) Подача резца S , мм/об, выбирается согласно рекомендации в зависимости от шероховатости обрабатываемой поверхности и радиусу при вершине резца: $S=0,14$ мм/об;

3) Скорость резания V , м/мин, выбирается из справочника.

$$V = 120 \text{ м/мин.}$$

4) Сила резанья:

$$P_z = 10C_p t^x s^{yp} V^{np} k_p = 10 \cdot 300 \cdot 0.5^1 \cdot 0.14^{0.75} \cdot 120^{-0.15} \cdot 0.96;)$$

$$P_z = 153 \text{ Н}$$

Сверление $\varnothing 31.5$.

1) Назначаем подачу на один оборот шпинделя: 1 мм/об;

2) Глубина резания t , мм, рассчитывается по формуле:

$$t = \frac{D}{2} = \frac{31,5}{2} = 15,75 \text{ мм ;}$$

3) Скорость резания V , м/мин, выбирается из справочника:
 $V=15.75 \cdot 0.9=14.175 \approx 14$ м/мин;

4) Скорость вращения n , об/мин, рассчитывается по формуле

$$n = \frac{1000V}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 14}{3,14 \cdot 31,5} = 144,5 \approx 145 \text{ об/мин,}$$

где V -линейная скорость резания, м/мин;

D – диаметр детали, мм;

$$\pi = 3,14.$$

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		113

Протягивание.

При протягивании следует, исходя из геометрических параметров протяжки, рассчитать периметр резания $\sum B$ - наибольшую суммарную длину лезвий всех одновременно режущих зубьев:

$$\sum B = B \cdot z_1,$$

где B – периметр резания, равный длине обрабатываемого контура заготовки

Z_1 – наибольшее число одновременно режущих зубьев $z_1 = l/t$;

l – длина обрабатываемой поверхности;

t – шаг режущих зубьев.

$$\sum B = 18,22 \cdot \frac{33}{50} = 18,88 \approx 19.$$

Подача на зуб S_z также заложена в конструкции протяжки и равна размерному перепаду между соседними режущими зубьями.

После расчета периметра резания рассчитывается скорость резания:

$$v = 61200 \frac{N}{P \cdot \sum B} \cdot \eta,$$

где N – мощность протяжного станка, кВт

η - КПД протяжного станка

P – сила резания на 1 мм длины лезвия

$$V = 61200 \cdot \frac{4000}{472 \cdot 19} \cdot 0.8 = 21,8 \text{ м / мин}$$

Зубонарезание.

Обработка цилиндрических колес червячными фрезами. Скорость реза-

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		114

ния v определяется, как при обычном фрезеровании. Подача задается перемещением фрезы в миллиметрах за один оборот заготовки S_0 или подачей за один оборот фрезы S_ϕ , которая может быть определена по формуле:

$$S_\phi = S_0 \frac{K}{z},$$

где K —число заходов червячной фрезы;

z — число зубьев нарезаемого колеса.

В нормативах по режимам резания рекомендуемые подачи даны в мм/об. Средние величины таких подач при предварительном нарезании прямозубых колес могут быть подсчитаны по формуле:

$$S_0 = \frac{C_s z^{0,14}}{m^{0,25}},$$

где C_s — коэффициент, зависящий от обрабатываемого металла;

для углеродистой стали $C_s = 2,65$;

для хромистой и хромоникелевой стали $C_s = 2,0$;

для серого чугуна $C_s = 3,7$; t — модуль нарезаемого колеса, мм.

$$S_0 = \frac{2,65 \cdot 36^{0,14}}{2,5^{0,25}} = 3,48 \approx 3,5,$$

$$S_\phi = \frac{4 \cdot 3}{36} = 0,33 \approx 0,34.$$

Шлифование.

Скорость шлифования. Скорость вращения обрабатываемой детали по сравнению со скоростью шлифовального круга очень мала, то ею пренебрегают и скоростью шлифования называют скорость шлифовального круга.

Скорость вращения круга имеет большое значение для процесса шлифования. Производительность процесса шлифования возрастает с увеличением скорости круга.

Выбирать скорости нужно по наибольшим допустимым значениям, (в зависимости от формы круга, связки, обрабатываемого материала, вида шлифования, конструкции станка):

$$V_{\kappa 1} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 32 \cdot 1100}{60 \cdot 1000} = 1,84 \text{ м/с} \approx 2 \text{ м/с}$$

$$V_{\kappa 1} = \frac{\pi \cdot D_{\kappa} \cdot n_{\kappa}}{60 \cdot 1000} = \frac{\pi \cdot 200 \cdot 1100}{60 \cdot 1000} = 12 \text{ м/с}$$

Расчет норм времени:

1) Основным временем (T_o) – называется время, на протяжении которого происходит резание.

Время основное на обработку T_o , мин, рассчитывается по формуле:

$$T_o = \frac{L}{S_{\text{пасп}} \cdot n_{\text{пасп}}}$$

где L – длина резания, мм;

$S_{\text{пасп}}$ – подача по паспорту станка, мм/об;

$n_{\text{пасп}}$ – скорость вращения по паспорту станка, об/мин.

$$T_o = \frac{247 + 38}{0,12 \cdot 3300} = 1,12 \text{ мин}$$

2) Вспомогательным временем (T_B) называется время, затрачиваемое на различные приемы, применяемые при выполнении основной работы и повто-

ряющиеся с каждой обрабатываемой деталью, т. е. на подачу заготовки к станку, на установку, выверку и зажим заготовки, разжим и снятие детали, управление станком, контрольные промеры детали.

а) На подачу заготовок к станку 5-10% = 0,07 мин.

б) На установку, закрепление, раскрепление и снятие детали 15-25% = 0,2 мин.

с) На управление станком 35 – 50% = 0,25 мин.

д) На измерение детали на станке 20 – 40% = 0,29 мин

$$T_{в} = 0,07+0,2+0,25+0,29 = 1,35 \text{ мин.}$$

3) Время оперативное $T_{оп}$, мин, рассчитываем по формуле:

$$T_{оп} = T_o + T_{в},$$

где T_o - время основное, мин;

$T_{в}$ - время вспомогательное, мин.

$$T_{оп} = 1,12 + 1,35 = 2,47 \text{ мин}$$

4) Подготовительно-заключительным временем ($T_{пз}$) – называется время, затрачиваемое работником на подготовку к выполнению заданной работы и действия, связанные с ее окончанием.

Подготовительно-заключительное рассчитывается по формуле:

$$T_{пз} = T_{оснащ} + T_{налад} + T_{инструкт} ,$$

где $T_{оснащ}$ – время на получение инструмента, оснастки и документации. Принято 10 мин.

$T_{инструкт}$ – время на инструктаж рабочего. Принято 2 мин.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		117

$T_{\text{налад}}$ – время на наладку оборудования, рассчитывается как сумма следующих параметров:

$$T_{\text{НАЛАД}} = i T_{\text{ИНСТРУМ}} + T_{\text{КРЕП}} + T_{\text{ПОДГОТ}},$$

где i – количество инструмента;

$T_{\text{инструм}}$ – время на единицу инструмента. Принято по таблице 1.5 мин;

$T_{\text{креп}}$ – время, зависящее от способа крепления заготовки. Принято по таблице 1,5 мин;

$T_{\text{подгот}}$ – время на подготовку оснастки. Принято по таблице 3.4 мин;

$$T_{\text{пз}} = 10 + 1(2 + 1,5 + 4) + 2 = 19,5 \text{ мин.}$$

$$T_{\text{шт.}} = T_{\text{о}} + T_{\text{в}} + T_{\text{то}} + T_{\text{оо}} + T_{\text{отд}} = 54,62 \text{ мин.}$$

Маршрутная, операционная и эскизные карты находятся в приложении А.

Вывод по третьему разделу

В ходе работы были проведены все необходимые расчёты, операции, которые необходимы для изготовления данной детали.

Все эти этапы были проведены с учётом типа производства, материала заготовки и материала режущих частей инструментов. Для каждой операции проведён выбор металлорежущего оборудования, режущего инструмента.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		118

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из технико-экономического обоснования видно, что компаний производящих электро-автомобили много, одной из лучших является Tesla. Силовые установки, применяемые на электро-автомобилях, представляют собой асинхронные двигатели постоянного тока, либо синхронные двигатели переменного тока. Асинхронные двигатели пользуются большей популярностью т.к. могут работать в рекуперативном режиме (режим генератор).

После проведенных расчетов, видно, что Lada-Kalina с электрической силовой установкой превосходит свой прототип, по скорости разгона, пути разгона, по максимальной скорости и по показателям экологичности, приведенные графики доказывают это. Силовая установка в паре с редуктором занимает меньше пространства нежели двигатель внутреннего сгорания с трансмиссией.

В ходе работы были проведены все необходимые расчёты, операции, которые необходимы для изготовления данной детали.

Все эти этапы были проведены с учётом типа производства, материала заготовки и материала режущих частей инструментов. Для каждой операции проведён выбор металлорежущего оборудования, режущего инструмента.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		119

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Достоинства и недостатки электроавтомобилей. – <https://ru.wikipedia.org>.
- 2 Характеристики электроавтомобилей. – <http://www.lib.knigi-x.ru>.
- 3 Электроавтомобиль. – <http://systemsauto.ru/engine/electric-car.html>.
- 4 Audi eTron R8. – <http://www.allcarz.ru/audi-r8-ii-e-tron/>.
- 5 Lada ellada. – https://ru.wikipedia.org/wiki/LADA_Ellada.
- 6 Tesla S. – <http://autotesla.ru/auto-tesla/model-s>.
- 7 Технические характеристики лада калина. – <http://www.lada.ru/>.
- 8 Вахламов, В.К. Автомобили: Конструкция и эксплуатационные свойства: учебное пособие – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 150с.;
- 9 Галимзянов, Р.К. Теория автомобиля: учебное пособие – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 200 с.
- 10 Технические характеристики «Орион». – <http://www.orionmotor.ru/trans4.htm>.
- 11 ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкционной стали. Технические условия. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 2001. – 40с.
- 12 ГОСТ 12354-87. Стали легированные и высоколегированные. Методы определения молибдена. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1999. – 10с.
- 13 ГОСТ 21354-87. Передатки зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1987. – 110с.
- 14 ГОСТ 13755-81. Основные нормы взаимозаменяемости. Передатки зубчатые конические с круговыми зубьями. Исходный контур. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1981. – 7с.
- 15 ГОСТ 6636-69. Нормальные линейные размеры от 1 до 1000 мм. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1969. – 3с.

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		120

- 16 ГОСТ 831-75. Подшипники шариковые радиально-упорные однорядные. Типы и основные размеры. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1975. – 13с.
- 17 ГОСТ 14205-83. Технологичность конструкции изделий. Термины и определения. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1983. – 5с.
- 18 Кулыгин, В.Л. Основы технологии машиностроения: учебное пособие / В.Л. Кулыгин, И.А. Кулыгина – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – 147 с.
- 19 Кулыгин, В.Л. Технология машиностроения: учебное пособие для студентов вузов / В.Л. Кулыгин, В.И. Гузеев, И.А. Кулыгина – Москва: Издательский Дом «БАСТЕТ», 2011. – 184 с.
- 20 ГОСТ 10903-77. Сверла спиральные с коническим хвостовиком. Основные размеры. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1977. – 9с.
- 21 ГОСТ 1672-80. Развертки машинные цельные. Типы, параметры и размеры. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1980. – 14с.
- 22 ГОСТ 25158-82. Протяжки для шлицевых отверстий с эвольвентным профилем диаметром от 15 до 90 мм, модулем от 1 до 2,5 мм с центрированием по наружному диаметру. Конструкция и размеры. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1982. – 120с.
- 23 ГОСТ 10331-81. Фрезы червячные мелко модульные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1981. – 149с.
- 24 ГОСТ 9324-80. Фрезы червячные чистовые однозаходные для цилиндрических зубчатых колес с эвольвентным профилем. Технические условия. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 1980. – 96с.
- 25 ГОСТ Р 52781-2007. Круги шлифовальные и заточные. Технические условия. Межгосударственный стандарт.: Издательство стандартов, 2007. – 30с.
- 26 Ковальчук, Е.Р. Основы автоматизации машиностроительного производства: Учебник для машиностроительных специальностей вузов / Е.Р. Ковальчук, М.Г.

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		121

Косов, В.Г. Митрофанов и др.; Под редакцией Ю.М. Соломенцева. – Москва:
Высшая школа, 1999. – 311 с.

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		122

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

					<i>23.03.02.2017.394.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		123

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. СПЕЦИФИКАЦИИ

					23.03.02.2017.394.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		140