

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Кафедра «Колесные и гусеничные машины»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ В.Н. Бондарь
_____ 2020 г.

Модернизация автомобиля ГАЗ-2705 за счет установки мотор-колес на задний
МОСТ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ–23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы:
к.т.н., доцент
_____ А.Г. Уланов
« ____ » _____ 2020г.

Автор работы
студент группы П – 404
_____ Е.А. Питерцев
« ____ » _____ 2020г.

Нормоконтролер
к.т.н., доцент
_____ В.И. Дуюн
« ____ » _____ 2020г.

Челябинск 2020

АННОТАЦИЯ

Питерцев Е.А. Модернизация автомобиля ГАЗ-2705 за счет установки мотор-колес на задний мост – Челябинск: ЮУрГУ, П-404, 2020. стр. 73, ил. 25, табл. 17, библиогр. список - 21 наим.

В данной выпускной квалификационной работе рассмотрены: конструкции мотор-колес, выявлены их основные особенности. Приведен тяговый расчет базового автомобиля.

Разработана конструкция мотор-колеса, приведено обоснование принимаемого решения, произведены основные расчеты, выполнен графический раздел.

					<i>23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР</i>		
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Питерцев Е.А.</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>	<i>Уланов А.Г.</i>					2	73
<i>Н.контр.</i>	<i>Дуян В.И.</i>				<i>ЮУрГУ Кафедра КГМ</i>		
<i>Утв.</i>	<i>Бондарь В.Н.</i>						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МОТОР-КОЛЕС	
1.1 Конструктивные особенности мотор-колес.....	7
1.2 Типы электроприводов колес.....	10
1.3 Обзор основных существующих конструкций электромотор-колес.....	14
1.4 Разработка кинематической схемы мотор-колеса.....	17
2 РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МОТОР-КОЛЕСА ДЛЯ АВТОМОБИЛЯ КАТЕГОРИИ М ₂	
2.1 Выбор базового автомобиля и привязка разрабатываемой конструкции.....	20
2.2 Устройство гибридных автомобилей.....	21
2.3 Разработка схемы трансмиссии автомобиля ГАЗ-2705.....	24
3 РАСЧЕТ БАЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ	
3.1 Определение полной массы автомобиля.....	27
3.2 Выбор шин.....	27
3.3 Выбор двигателя и построение его внешней скоростной характеристики..	28
3.4 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля.....	32
3.5 Ускорение автомобиля.....	36
3.6 Определение времени и пути разгона.....	39
3.7 Мощностной баланс.....	42
3.8 Топливная экономичность.....	44
4 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ	
4.1 Расчет мощности электродвигателя.....	50
4.2 Построение внешней скоростной характеристики.....	51
4.3 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля.....	52
4.4 Ускорение автомобиля.....	56
4.5 Определение времени и пути разгона.....	59
4.6 Мощностной баланс автомобиля.....	61
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	
5.1 Актуальность вопросов БЖД на сегодняшний день.....	64
5.2 Комплекс мероприятий по снижению травматизма в автомобильном транспорте.....	64

									Лист
									3
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

5.3 Инструкция по охране труда для работников АТП.....	65
6 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
6.1 Расчет базового автомобиля.....	69
6.2 Расчет проектируемого автомобиля.....	69
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	72
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	73

					<i>23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		4

ВВЕДЕНИЕ

Идея электромотор-колеса родилась почти сразу после того, как появились достаточно мощные и компактные электродвигатели.

Первые патенты на такие механизмы были получены в Америке Веллингтоном Адамсом из Сент-Луиса в 1884 году и шестью годами позже Альбертом Перселлом из Бостона. "Пионером" в практическом применении мотор-колеса был Фердинанд Порше. В 1900 году на Всемирной выставке в Париже был продемонстрирован его электромобиль Lohner-Porsche с передними ведущими электромотор-колесами. В 1906 году патент на силовую установку был продан Даймлеру, и до начала Первой мировой войны компания выпустила более 300 электромобилей. Впоследствии эта технология не получила развития, и только после Второй мировой войны в СССР к ней всерьез вернулись.

В рамках советской лунной программы Ленинградский ВНИИТрансмаш создал шасси для планетохода с использованием электромотор-колеса. Его герметичный модуль содержал редуктор, электродвигатель, тормоз и необходимые датчики. Аналогичные проекты были разработаны NASA. В конце 70-х годов в Новосибирске был создан первый опытный образец колесного двигателя для автомобиля "Жигули". В 1979 году на Волжском автомобильном заводе такие колеса были собраны из металла и затем экспонировались на советско-американском симпозиуме по электромобилям.

В конце 80-х и начале 90-х годов исследования по технологии мотор-колес с переменным успехом проводились практически всеми крупными компаниями. Интересно, что наибольших успехов на этом поприще вновь добились наши соотечественники Александр Пунтиков и Борис Маслов. В 1998 году они запатентовали оригинальную концепцию двигателя, имитирующего работу мышц человека (Adaptive motor), а в 2000 году создали технологическую компанию Wavecrest Laboratories в Америке. Идея была успешно реализована на практике, и теперь мотор-колеса Пунтикова и Маслова применяются в различных отраслях промышленности.

Другой россиянин, изобретатель Владимир Шкондин, в начале 90-х годов разработал мотор-колесо собственной конструкции и запатентовал его в 28 странах мира. Уникальный механизм состоит всего из семи частей. Стоит отметить еще одну интересную идею, родившуюся в России – вариоколесо Н.В. Гулия, М. Ференца и С. А. Юркова. Студенты предложили встроить бесступенчатый вариатор в ступицу колеса вместе с понижающей передачей. При большей сложности конструкции такое решение мотор-колеса дает серьезное преимущество в компактности, весе и КПД. [20]

Автомобили с электромотор-колесами имеют ряд существенных преимуществ перед традиционными. Прежде всего, это отсутствие многих сложных и тяжелых передаточных механизмов между двигателем и колесом: сцепления, трансмиссии, приводных валов и дифференциалов. Во-вторых, отличная динамика: компактные и легкие электромоторы способны развивать крутящий момент до 700 Нм даже при самых низких оборотах. В-третьих, управляемое мотор-колесо делает автомо-

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

1 АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ МОТОР-КОЛЕС

1.1 Конструктивные особенности электромотор-колес

Электромотор-колесо (ЭМК) является исполнительным механизмом системы тягового привода транспортного средства (ТС). Оно представляет собой агрегат, в котором конструктивно объединены все элементы исполнительного механизма:

- тяговый двигатель;
- механическая передача, состоящая из редуктора, механизма соединения вала электродвигателя с ведущим звеном редуктора, механизма переключения передач с его приводом (для двухскоростных ЭМК), механизма сцепления с его приводом (для ЭМК привода периодического действия);
- элементы системы охлаждения тягового электродвигателя;
- колесо, состоящее из шины, обода и ступицы;
- опорные подшипники колеса;
- механический тормоз и его привод;
- элементы уплотнения;
- элементы механизма подвески ЭМК к несущей системе ТС;
- элементы управления поворотом ТС (для управляемых ЭМК);
- элементы механизма подкачки шин.

В зависимости от режима работы системы тягового электропривода с ЭМК последние подразделяют на ЭМК следующих типов:

- постоянного действия с ограниченным диапазоном регулирования, у которых диапазон регулирования вращающего момента и частоты вращения колеса ограничены характеристиками односкоростного редуктора и тягового двигателя;
- постоянного действия с расширенным диапазоном регулирования, у которых расширение диапазона регулирования этих показателей достигнуто за счет двухскоростного редуктора и тягового двигателя;
- периодического действия.

При проектировании мотор-колеса необходимо учитывать основные критерии, характеризующие:

- компоновку (уменьшение осевого размера мотор-колеса, назначение функциональных свойств элементам мотор-колеса, использование подшипников колес и уплотнений относительно небольших размеров);
- доступность коллектора электродвигателя постоянного тока;
- удобство компоновки механического тормоза;
- создание в мотор-колесе воздуховода с минимальным аэродинамическим сопротивлением (при воздушном охлаждении ЭМК);
- подведение электропроводки к электродвигателю достаточно простым способом;
- несложное подведение воздуха к шинам с централизованной подкачкой для автомобилей высокой проходимости.

										Лист
										7
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

чего это решение реализуют крайне редко. Тем не менее оно обладает положительными свойствами: позволяет уменьшить размеры деталей механического тормоза по сравнению с размерами деталей колесного тормоза и повышает эксплуатационную надежность по сравнению с надежностью тормоза, связанного с валом двигателя.

Связь механического тормоза с выходным звеном редуктора обеспечивает передачу тормозной силы непосредственно на колесо, что и обуславливает надежность механического тормоза в указанном исполнении. Однако тормозной момент на колесе при этом возрастает в соответствии с передаточным числом редуктора, соответственно возрастают и размеры деталей тормоза и его привода.

При компоновке мотор-колеса следует тщательно оценить возможность оснащения его конструктивными элементами различных функций.

Эта мера, характерная для мотор-колеса как агрегата, выполненного в ограниченном монтажном объеме, является весьма целесообразной, поскольку позволяет улучшить компоновку и конструкцию мотор-колеса, а также уменьшить его массу.

На стадии компоновки мотор-колеса также решают вопрос о размещении электрических проводов для питания обмоток электродвигателя. Эта задача при кажущейся элементарности часто накладывает существенные ограничения на выбор компоновки агрегата и предъявляет специфические требования к месту электрических выводов на корпусе или подшипниковых щитах электродвигателя и конструкции вводов.

Последнее из рассматриваемых требований к компоновке мотор-колеса заключается в определении способа крепления агрегата к раме ТС при помощи элементов системы подвески выбранного типа. Монтаж элементов подвески выполняют непосредственно на детали, служащей опорой подшипников колеса, или на детали, жестко связанной с опорой подшипников. [7]

1.2 Типы электроприводов колес

Выбор силового привода ведущих колес является серьезной технической проблемой, которую приходится решать при создании ТС. Во многих случаях предпочтение отдается электрическому приводу, применение которого относительно просто решает проблемы рационального разделения и передачи мощности от силовой установки к ведущим колесам при любой колесной формуле. Использование электромотор-колес (ЭМК) открывает реальные технические перспективы создания ТС новых конструкций, для которых трансмиссия в виде индивидуального электропривода ведущих колес является возможной или целесообразной.

Основными критериями, определяющими целесообразность применения электропривода с мотор-колесами на транспортных машинах по сравнению с механическим и гидромеханическим приводами, являются:

- массы агрегатов и узлов;
- эксплуатационные свойства (надежность в работе, трудоемкость, периодичность и простота обслуживания и т.п.);

										Лист
										10
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

- КПД системы привода;
- срок службы агрегатов;
- стоимость агрегатов и узлов привода и эксплуатационные расходы за установленный техническим заданием срок службы.

Основные параметры ЭМК определяют техническими и эксплуатационными характеристиками проектируемой транспортной машины. Вместе с тем возможно создание транспортных машин на базе существующих ЭМК с использованием соответствующей двигатель-генераторной установки, обеспечивающей питание электроэнергией определенного числа электродвигателей мотор-колес данной конструкции. Здесь появляется возможность унификации для ряда ТС различного класса и назначения такого сложного и дорогостоящего узла, как мотор-колесо.

Применение электропривода с мотор-колесами ТС обеспечивает следующие преимущества:

- свободный выбор колесной формулы;
- возможность создания ТС практически с любым числом ведущих осей, что недопустимо при других видах привода;
- существенное увеличение полной массы ТС без возрастания допустимой нагрузки на ось;
- свобода компоновки шасси, позволяющая получить большую степень соответствия конструкции шасси характеристикам перевозимого груза;
- повышение надежности привода в результате существенного упрощения для машин с колесной формулой 8×8 и более механической части электропривода по сравнению с механическими и гидромеханическими приводами, уменьшение числа подверженных изнашиванию деталей привода;
- уменьшение массы агрегатов электропривода по сравнению с массой агрегатов гидромеханического привода при относительно большой мощности теплового двигателя (500...700 кВт и более);
- повышение проходимости благодаря плавному нарастанию силы тяги на колесах, отсутствию дифференциального эффекта между осями и колесами и возможности введения в схему электропривода специального противобуксовочного устройства для каждого ЭМК;
- повышение общего КПД многоосных полноприводных машин в результате снижения потерь в шинах по сравнению с вариантом, в котором мощность реализуется при меньшем числе ведущих колес;
- обеспечение заданного диапазона силы тяги при бесступенчатом или двухступенчатом регулировании.

Недостатком электропривода является сравнительно высокая начальная стоимость его агрегатов.

Известны следующие системы электропривода:

- переменного тока с асинхронными двигателями мотор-колес;
- переменного тока с синхронными двигателями мотор-колес, работающими по схеме вентильного двигателя;
- постоянного тока с электродвигателями независимого возбуждения;

					<i>23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		11

– переменного-постоянного тока с генератором переменного тока, силовыми выпрямителями и электродвигателями постоянного тока независимого возбуждения.

Первая система позволяет максимально упростить конструкцию мотор-колеса, поскольку асинхронные двигатели отличаются простотой конструкции, имеют удельные массу и объем (т. е. массу и объем, отнесенные к мощности или номинальному моменту) существенно меньшие, чем масса и объем электродвигателей постоянного тока, и не требуют обслуживания в эксплуатации. Однако статический преобразователь частоты со схемой управления тиристорами, регулирующий частоту вращения и момент асинхронного двигателя, пока является сложным, дорогостоящим и недостаточно надежным в эксплуатации. Силовые блоки получаются громоздкими, а это затрудняет их установку на автомобиле. Коэффициент мощности системы всегда меньше единицы, что повышает ток асинхронных двигателей.

Вторая система позволяет сократить необходимое число тиристоров, а следовательно, массу и размеры силовых блоков, но требует применения синхронных двигателей. Они по конструкции сложнее асинхронных из-за наличия обмотки возбуждения на роторе, получающей питание от внешнего источника электроэнергии или возбuditеля, обмотка статора которого установлена также на роторе двигателя.

В этой системе обычно используют датчик положения ротора или оси магнитного потока, устанавливаемый на валу электродвигателя. Этот датчик подает сигнал в систему управления преобразователя. Создание надежного работающего датчика положения для тяговых электродвигателей автомобиля сложная задача. В настоящее время разрабатываются схемы управления вентильным двигателем без датчика положения. Механические характеристики вентильного двигателя аналогичны характеристикам электродвигателя постоянного тока. Коэффициент мощности системы близок к единице.

Третья система отличается от обычно используемых систем с электродвигателями последовательного возбуждения более гибким регулированием силы тока независимой обмотки. При этом практически исключается тиристорное регулирование в цепи якоря электродвигателя, что позволяет значительно уменьшить силовые и коммутационные блоки. Конструкция мотор-колеса практически не связана с системой возбуждения электродвигателя.

Четвертая система целесообразна в том случае, когда можно использовать быстроходный генератор переменного тока, что позволяет существенно уменьшить его массу (с учетом массы силового выпрямителя). Конструкция мотор-колеса остается такой же, как и в системах постоянного тока.

Род тока системы электропривода выбирают с учетом многих технико-экономических факторов, включая тип и назначение автомобиля, параметры первичного двигателя и шин, а также требований, предъявляемых к системе автоматического регулирования тягового электропривода. Выбор рода тока системы предшествует проектированию мотор-колеса.

Конструкции мотор-колес со встроенными тяговыми электродвигателями постоянного тока по принципу компоновки могут быть разделены на две группы. К

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

Одним из возможных способов уменьшения массы и осевого размера мотор-колеса является использование переключаемого редуктора, обеспечивающего возможность работы мотор-колеса с двумя разными передаточными числами. Соответствующий выбор параметров электродвигателя и редуктора обеспечивает реализацию заданных тягово-скоростных показателей автомобиля и ограничение перегрузок электродвигателя при работе на каждой из двух передач редуктора двухскоростного мотор-колеса.

Двухскоростные мотор-колеса могут быть также созданы на базе асинхронных двигателей с переключением полюсов. Однако такие асинхронные двигатели имеют худшие показатели массы и большие размеры, чем обычные асинхронные двигатели, а изменение числа пар полюсов возможно только в отношении 2:1, что ограничивает выбор рабочих режимов электродвигателя при работе на I и II передачах.

Применение двухскоростных мотор-колес следует рекомендовать в тех случаях, когда ТС имеет широкий диапазон регулирования тягово-скоростных показателей, который не может быть реализован при односкоростных мотор-колесах с электродвигателями нормального исполнения. Альтернативой использованию переключаемого редуктора в этом случае является значительное увеличение размеров и массы электродвигателя постоянного тока или применение асинхронного двигателя с преобразователем, имеющим весьма широкий диапазон регулирования частоты на выходе. Такие решения оказываются нецелесообразными по экономическим соображениям и вследствие возникающих трудностей в компоновке мотор-колес, особенно в случае использования электродвигателей постоянного тока.

Конструкция двухскоростного мотор-колеса, в частности механизма переключения передач, зависит от характера применения этого механизма: во время движения или только на стоянках. Решение вопроса о режиме переключения зависит от назначения и условий эксплуатации конкретного ТС.

Характерной функциональной особенностью мотор-колес периодического действия является периодичность их режима работы. Это означает, что определенную часть времени движения ТС эти мотор-колеса отключены от автономного источника энергии двигатель-генератора, а движение обеспечивают другие колеса с тем или иным видом привода.

По конструктивным признакам мотор-колеса периодического действия можно разделить на два типа:

- представляющие собой исполнительный механизм электропривода периодического действия;
- аналогичные по конструкции мотор-колесам постоянного действия, но отличающиеся режимом работы. [21]

1.3 Обзор основных существующих конструкций электромотор-колес

Способ установки электродвигателя в мотор-колесе и его крепление, а также выбор опоры подшипников колеса зависят от размеров и конструктивного

										Лист
										14
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

стороны мотор-колеса, в то время как коллектор обычно расположен со стороны, противоположной выходу вала электродвигателя, т.е. с внутренней стороны мотор-колеса.

У электродвигателей, имеющих коллектор торцового типа, доступ к коллектору проще. Смотровые люки выполнены на внутреннем подшипниковом щите электродвигателя, доступ к коллектору удобен и не связан с демонтажом каких-либо деталей.

Из рассмотренных конструкций мотор-колес следует, что в качестве неподвижной (относительно рамы машины) опоры внутренних обойм подшипников колес часто используются корпус или другая неподвижная деталь редуктора или корпус электродвигателя. В некоторых случаях внутренние обоймы монтируют на опорном цилиндре.

Принятый способ монтажа электродвигателя и опорных подшипников колеса определяет особенности сборки всего мотор-колеса и тем самым возможный способ организации обслуживания, ремонта и замены мотор-колес с учетом условий эксплуатации транспортной машины, а также размеров и веса мотор-колеса.

Существуют два способа сборки мотор-колеса: поузловой и поддетальный. При поузловом способе сборки должна быть обеспечена возможность независимого монтажа тягового электродвигателя, редуктора и колеса (шины с ободом, иногда только шины), причем монтировать эти элементы можно при установленных опорных подшипниках колеса.

Достоинством поузловой сборки являются относительная доступность каждого узла и возможность ремонта и замены отдельных деталей без съема с машины и разборки всего мотор-колеса. Однако при этом увеличиваются номенклатура деталей мотор-колеса, его осевой размер и вес.

При поддетальном способе сборки исключается независимый монтаж всех основных узлов мотор-колеса при установленных опорных подшипниках колеса. В этом случае затрудняются ремонт и замена отдельных деталей мотор-колеса. Например, при монтаже наружных обойм подшипников колеса непосредственно на ободе демонтаж обода или съем электродвигателя практически возможен только в стационарных условиях, так как связан с демонтажом опорных подшипников колеса. [2]

Если при этом редуктор располагают с наружной стороны мотор-колеса, то становится возможной сравнительно несложная разборка редуктора без съема мотор-колеса с машины. В таких случаях стационарная ремонтная база требуется только при съеме электродвигателя, а в эксплуатации такая необходимость встречается редко. Поэтому для значительного числа мотор-колес новой конструкции сочетаются достаточно простая конструкция мотор-колеса с возможностью выполнения многих видов ремонта в эксплуатационных условиях.

Elaphe M700 – это чрезвычайно компактный двигатель с высоким крутящим моментом на колесах, разработанный для установки внутри стандартного 15- или 16-дюймового обода. С пиковым крутящим моментом свыше 700 Нм, номинальным крутящим моментом 400 Нм, максимальной мощностью 75 кВт и постоянной

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

сах. Электродвигатель эффективнее двигателя внутреннего сгорания в режиме частых стартов и стопов (т.е. при езде в городском цикле). Двигатель внутреннего сгорания, наоборот, более эффективен на постоянных, оптимальных для данного двигателя оборотах. В гибриде оба двигателя работают друг на друга. ДВС крутит генератор и питает энергией электромотор. Тот, в свою очередь, позволяет ДВС работать без резких разгонных нагрузок, в наиболее благоприятных режимах. Практически все современные гибриды имеют систему рекуперации (возврата энергии). Суть ее в том, что при торможении или при движении машины накатом, электродвигатели начинают крутиться от колес и работать как генераторы, заряжая батарею. Отсюда – меньший износ, экологичность и экономичность.

					<i>23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

—▶ Механическая энергия - - - ▶ Электрическая энергия

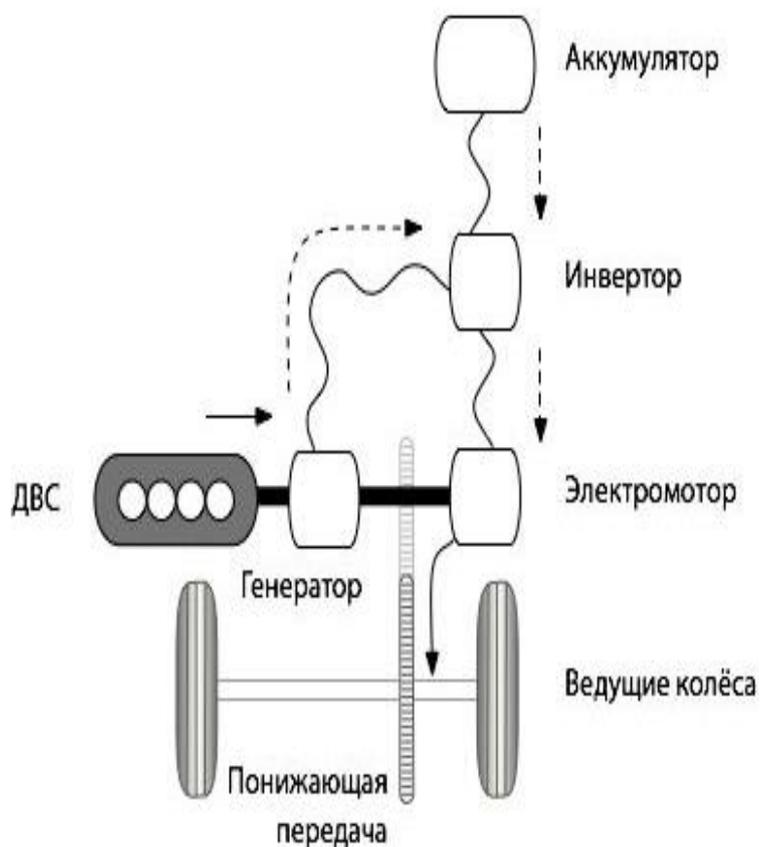


Рисунок 2.2 – Последовательная гибридная схема

Самая распространённая сейчас схема – параллельная (рисунок 2.3). Она запатентована ещё в 1905 году немцем Генри Питером. Ей отвечают почти все умеренные гибриды. Они оснащаются мощным электромотором (10...15 кВт), который помогает двигателю внутреннего сгорания при разгоне, а при торможении запасает рекуперативную энергию. В качестве трансмиссии, как правило, используются вариатор или планетарная передача.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

22

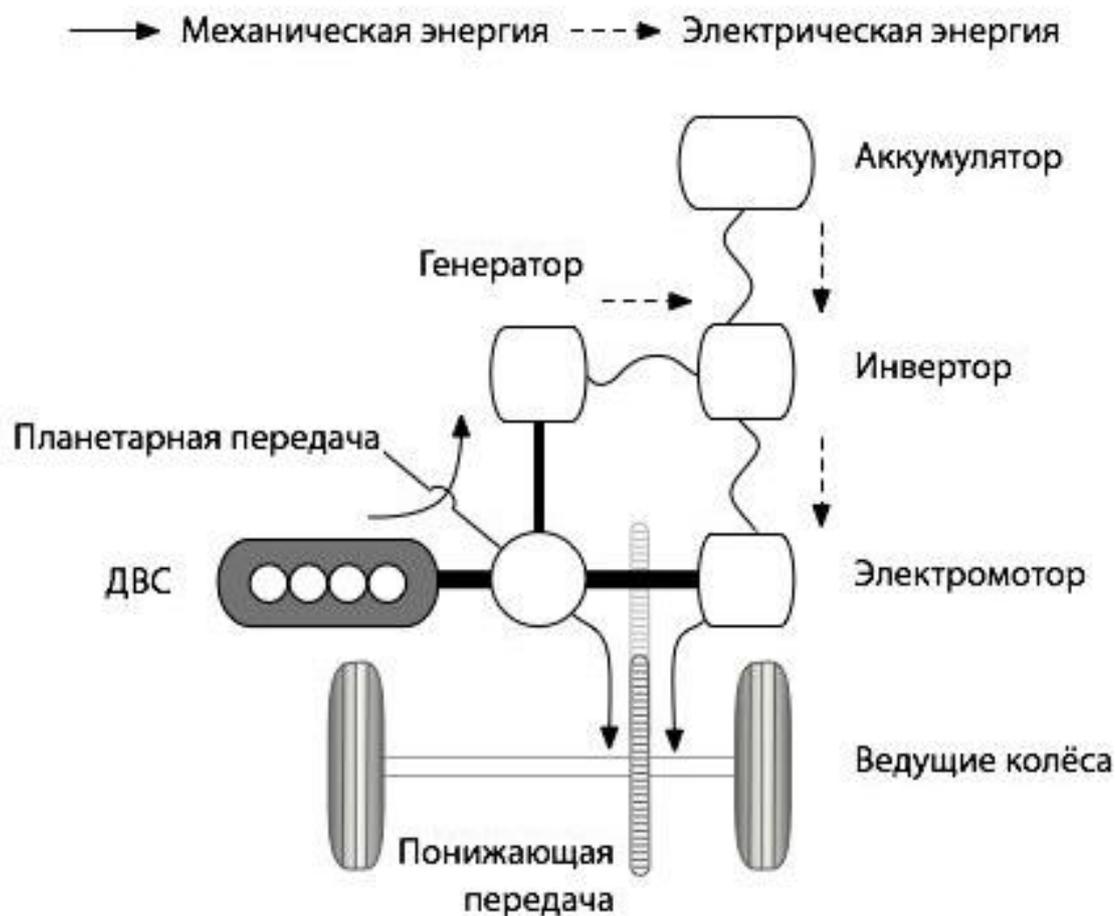


Рисунок 2.4 – Последовательно–параллельная гибридная схема

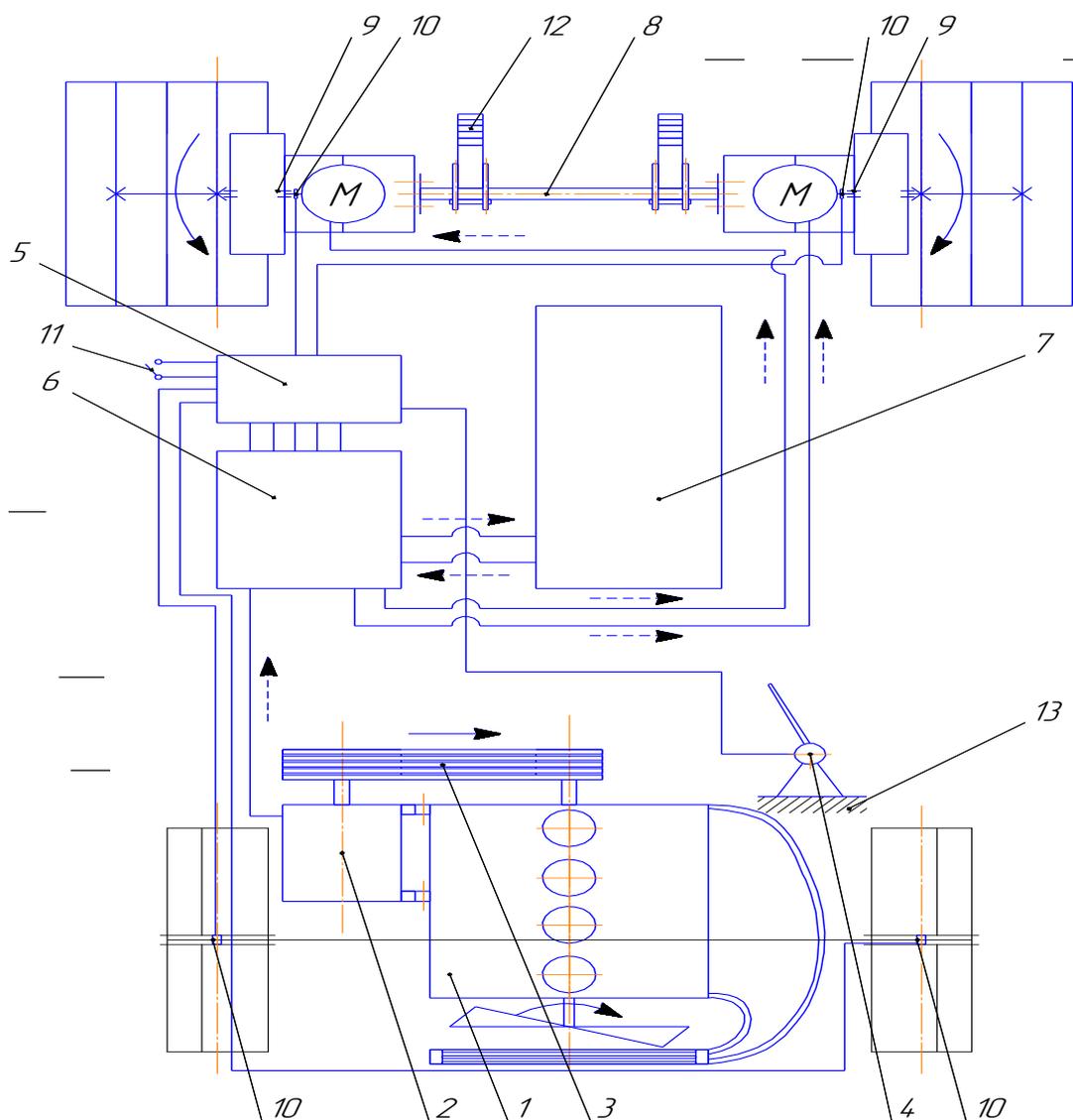
Большинство двигателей, установленных на гибридах, – бензиновые. Многие работают по циклу Аткинсона с более коротким тактом сжатия и более эффективным рабочим процессом. Это обеспечивает лучшие экологические и экономические показатели.

Как уже говорилось ранее, на грузовых автомобилях чаще всего используют последовательную гибридную схему.

Далее разработаем собственную структурную схему трансмиссии с мотор-колёсами вместо заднего моста и карданной передачи с коробкой. [19]

2.3 Разработка схемы трансмиссии автомобиля ГАЗ-2705

Как уже говорилось ранее, схема последовательная, гибридная (рисунок 2.5).



Условные обозначения:

---> - электрическая энергия;
 ---> - механическая энергия.

Рисунок 2.5 – Структурная схема разрабатываемой трансмиссии: 1 – ДВС; 2 – генератор; 3 – клиноременная передача; 4 – педаль имитации газа; 5 – блок управления; 6 – инвертор; 7 – блок аккумуляторных батарей; 8 – балка заднего моста; 9 – мотор-колесо; 10 – датчики частоты вращения колёс; 11 – кнопка включения режима имитации блокировки межосевого дифференциала; 12 – подвеска заднего моста; 13 – кузов автомобиля

Схема достаточно проста и практична. В имеющейся штатной схеме полностью исключаем задний мост (устанавливаем вместо заднего моста балку 8 с мотор-колесами и колёсами 9), карданную передачу, КПД и сцепление. На ДВС 1 устанавливаем мощный генератор 2, который в свою очередь будет заряжать

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

25

аккумуляторные батареи 7 через инвертор 6, либо так же через инвертор давать электрический ток на электродвигатели 9. Электродвигатели 9 с переменной частотой вращения могут вращать колёса. Всем процессом управляет электронный блок управления 5 через инвертор 6. При нажатии на педаль 4, имитирующую педаль газа блок управления 5 посылает необходимые сигналы на инвертор 6 и нужная сила тока поступает на мотор-колеса 9.

Как уже говорилось ранее сцепление, КПД, карданную передачу и всю конструкцию заднего моста полностью исключаем. На имеющуюся заднюю подвеску устанавливаем вместо заднего моста балку 8 с расположенными по концам мотор-колесами с колёсами 9.

Датчики частот вращения колёс необходимы для того чтобы правильно имитировалась работа заднего дифференциала.

Для принудительной блокировки задних колёс (имитация блокировки межосевого дифференциала) нами предложена кнопка 11. При нажатии этой кнопки мотор-колеса начинают работать синхронно.

Выводы по разделу два

В данном разделе речь велась о выборе базового автомобиля. Рассмотрено устройство гибридных автомобилей. Разработана схема трансмиссии для автомобиля ГАЗ-2705.

									Лист
									26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

3 РАСЧЕТ БАЗОВОГО АВТОМОБИЛЯ

3.1 Определение полной массы автомобиля

Полную массу автомобиля рассчитывают по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_{\text{ч}} + m_{\text{б}})n, \quad (3.1)$$

где m_a – полная масса автомобиля, кг;

m_0 – масса снаряженного автомобиля, кг,

$$m_0 = 2020 \text{ кг};$$

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

$$m_{\text{ч}} = 75 \text{ кг};$$

n – число мест для сиденья,

$$n = 7;$$

$m_{\text{б}}$ – масса багажа на одного человека, кг,

$$m_{\text{б}} = 10 \text{ кг}.$$

$$m_a = 2020 + (75 + 10) \cdot 7 = 2615 \text{ кг}.$$

3.2 Выбор шин

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

$$m_{\text{п}} = 0,6m_a, \quad (3.2)$$

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

m_a – полная масса автомобиля, кг.

$$m_{\text{п}} = 0,6 \cdot 2615 = 1569 \text{ кг},$$

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

$$m_{\text{з}} = m_a - m_{\text{п}}, \quad (3.3)$$

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

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

m_a – полная масса автомобиля, кг.

					23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$m_3 = 2615 - 1569 = 1046 \text{ кг.}$$

Выбор шин осуществляем в соответствии с рекомендациями завода – изготовителя.

Выбираем следующий размер шин: 185/75 R16,

где 175 – ширина профиля шины, мм;

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

R – радиальная шина;

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

Рассчитываем радиус качения колеса с выбранной шиной:

$$r_k = (0,9...0,95) r_c, \quad (3.4)$$

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

r_c – статический радиус колеса, определяемый по формуле

$$r_c = 0,5d + \lambda_{ш}H, \quad (3.5)$$

$$r_c = 0,5 \cdot 0,4064 + 0,89 \cdot 0,185 \cdot 0,75 = 0,3267 \text{ м,}$$

где d – диаметр обода колеса, м;

$\lambda_{ш}$ – коэффициент, учитывающий вертикальную деформацию шин,

$$\lambda_{ш} = 0,88...0,9;$$

H – высота профиля шины, м;

$$r_k = 0,925 \cdot 0,3267 = 0,3022 \text{ м.}$$

3.3 Выбор двигателя и построение его внешней скоростной характеристики

В настоящее время на автомобилях наиболее широкое распространение получили двигатели внутреннего сгорания. На легковых автомобилях применяются бензиновые двигатели.

Определим максимальную мощность двигателя N_{\max} . Для этого сначала найдем мощность двигателя при выбранной максимальной скорости автомобиля при движении на горизонтальной асфальтобетонной дороге. Мощность двигателя при V_{\max} рассчитаем по формуле:

$$N_{V_{\max}} = \frac{\psi_{V_{\max}} G_a \frac{V_{\max}}{3,6} + kF \left(\frac{V_{\max}}{3,6} \right)^3}{1000 \eta_{\text{тр}V_{\max}}}, \quad (3.6)$$

									Лист
									28
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

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, $\text{Н} \cdot \text{с}^2 / \text{м}^2$,

$$kF = 0,3 \dots 0,9;$$

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

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

$$\eta_{\text{тр}V_{\max}} = 0,86 \dots 0,94.$$

$$\Psi_{V_{\max}} = f = f_0(1 + k_1 V_{\max}^2), \quad (3.7)$$

f_0 – коэффициент сопротивления качения для асфальто–бетона, относящийся к малым скоростям,

$$f_0 = 0,012 \dots 0,015;$$

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

$$\Psi_{V_{\max}} = f = 0,014(1 + 4,5 \cdot 10^{-5} \cdot 130^2) = 0,025.$$

$$G_a = m_a g, \quad (3.8)$$

$$G_a = 2615 \cdot 9,81 = 25653,15 \text{ Н.}$$

Мощность двигателя при максимальной скорости:

$$N_{V_{\max}} = \frac{0,025 \cdot 25653,15 \cdot \frac{130}{3,6} + 0,6 \cdot \left(\frac{130}{3,6}\right)^3}{1000 \cdot 0,86} = 59,8 \text{ кВт}$$

Для бензиновых двигателей без ограничителя числа оборотов степень использования равна:

$$\lambda = \frac{n_V}{n_N} = 1,1 \dots 1,2.$$

Максимальная мощность двигателя определим по формуле:

$$N_{\max} = \frac{N_{V_{\max}}}{a\lambda + b\lambda^2 - c\lambda^3}, \quad (3.9)$$

						Лист
					23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР	29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		

где N_{\max} – максимальная мощность двигателя, кВт;

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

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

$$N_{\max} = \frac{59,8}{1,1 + 1,1^2 - 1,1^3} = 61 \text{ кВт}$$

Определим стендовую мощность:

$$N_{\text{ст.мак}} = k_2 N_{\max}, \quad (3.10)$$

где $k_2 = 1,1 \dots 1,2$.

$$N_{\text{ст.мак}} = 1,2 \cdot 61 = 73,2 \text{ кВт.}$$

Величину $N_{\text{ст.мак}}$ двигателя проектируемого автомобиля используют лишь для сравнения ее с данными существующих двигателей и установления возмож – но сти применения выпускаемых промышленностью двигателей.

Внешняя скоростная характеристика может быть получена из решения следующей эмпирической формулы:

$$N_m = N_{\max} \left[a \frac{n_m}{n_N} + b \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right], \quad (3.11)$$

где N_m – текущее значение мощности, кВт;

N_{\max} – максимальная мощность двигателя, 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 – коэффициенты, характеризующие тип и конструкцию двигателя внутреннего сгорания (для бензинового ДВС $a = b = c = 1$).

$n_{\min} = 800$ об/мин; $n_N = 4600$ об/мин.

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:

$$M_m = \frac{1000 N_m}{\omega_m} = 1000 N_m \left(\frac{30}{\pi n_m} \right), \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.12)$$

$$M_m = \frac{30000 N_m}{\pi n_m} = 9550 \frac{N_m}{n_m}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (3.13)$$

									Лист
									30
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

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

M_m – текущее значение крутящего момента, Н·м.

Результаты расчета занесем в таблицу 3.1.

Таблица 3.1 – Внешняя скоростная характеристика автомобиля

Частота вращения коленчатого вала n_m , об/мин	Мощность N_m , кВт	Крутящий момент M_m , Н·м
800	14,15	168,94
1200	22,14	176,22
1600	30,26	180,59
2000	38,13	182,05
2400	45,38	180,59
2800	51,67	176,22
3200	56,61	168,94
3600	59,84	158,74
4000	61,00	145,64
4400	59,72	129,62

График зависимости $N_m = f(n_m)$ и $M_m = f(n_m)$ представлен на рисунке 3.1.

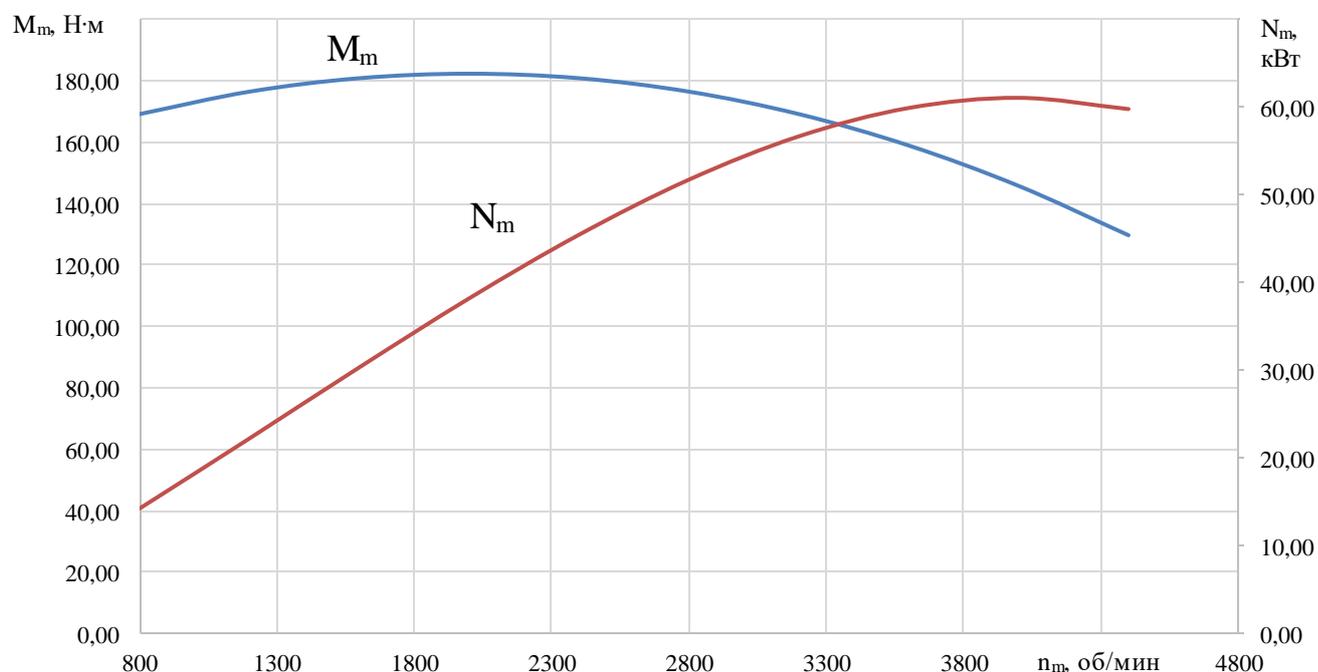


Рисунок 3.1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

31

3.4 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля

Тяговая и динамическая характеристика представляют собой графики зависимостей $P_e = f(V)$ 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

$$P_k = \frac{M_m i_{mp} \eta_{mp}}{r_d}, \quad (3.14)$$

где P_k – сила тяги на колесе, Н;

i_{mp} – передаточное число трансмиссии при наличии коробки передач, дополнительной коробки и главной передачи,

$$i_{tr} = i_k i_d i_0, \quad (3.15)$$

η_{mp} – 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

$$V = 0,376 \frac{r_k n_m}{i_{mp}}, \quad (3.16)$$

где V – скорость движения, км/ч;

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

в) сила сопротивления дороги

$$P_\psi = \Psi G_a, \quad (3.17)$$

где P_ψ – сила сопротивления дороги, Н;

G_a – полный вес автомобиля, Н;

Ψ – коэффициент сопротивления дороги.

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

где f_0 – табличное значение коэффициента сопротивления дороги;

$$f_0 = 0,007 \dots 0,015;$$

V – текущая скорость движения, км/ч;

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

									Лист
									32
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

г) сила сопротивления воздуха

$$P_{\omega} = \frac{kFV^2}{13} (1 + k_3\Pi), \quad (3.18)$$

где P_{ω} – 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, Н·с²/м²;

$$kF = 0,3 \dots 0,9;$$

Динамический фактор

$$D = \frac{P_{\kappa} - P_{\omega}}{G_a}, \quad (3.19)$$

где D – динамический фактор;

P_{κ} – сила тяги на колесе, Н;

P_{ω} – 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:

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right). \quad (3.20)$$

Вычисленные значения внесем в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 - Тяговая и динамическая характеристика автомобиля

п, об/мин	V, м/с	V, км/ч	P _к , Н	P _ω , Н	D	ψ	α, °	P _ψ , Н
Движение на I передаче								
800	1,39	5,00	8733,29	1,16	0,34	0,01402	19,11	359,55
1200	2,09	7,51	9109,72	2,60	0,36	0,01404	20,00	360,05
1600	2,78	10,01	9335,58	4,62	0,36	0,01406	20,53	360,76
2000	3,48	12,51	9410,87	7,22	0,37	0,01410	20,70	361,67
2400	4,17	15,01	9335,58	10,40	0,36	0,01414	20,51	362,79
2800	4,87	17,51	9109,72	14,16	0,35	0,01419	19,96	364,10
3200	5,56	20,02	8733,29	18,49	0,34	0,01425	19,05	365,62
3600	6,26	22,52	8206,28	23,40	0,32	0,01432	17,79	367,34
4000	6,95	25,02	7528,70	28,89	0,29	0,01439	16,18	369,26
4400	7,65	27,52	6700,54	34,96	0,26	0,01448	14,24	371,39
Движение на II передаче								
800	2,46	8,84	4943,78	3,61	0,19	0,01405	10,30	360,41
1200	3,68	13,26	5156,88	8,11	0,20	0,01411	10,77	361,99
1600	4,91	17,68	5284,73	14,43	0,21	0,01420	11,05	364,20
2000	6,14	22,10	5327,35	22,54	0,21	0,01431	11,12	367,04
2400	7,37	26,52	5284,73	32,46	0,20	0,01444	10,99	370,51
2800	8,59	30,94	5156,88	44,18	0,20	0,01460	10,66	374,61
3200	9,82	35,36	4943,78	57,71	0,19	0,01479	10,14	379,35
3600	11,05	39,78	4645,45	73,03	0,18	0,01500	9,41	384,72
4000	12,28	44,20	4261,88	90,17	0,16	0,01523	8,49	390,72
4400	13,51	48,62	3793,07	109,10	0,14	0,01549	7,37	397,35
Движение на III передаче								
800	3,90	14,03	3114,36	9,09	0,12	0,01412	6,15	362,33
1200	5,85	21,05	3248,60	20,45	0,13	0,01428	6,41	366,30
1600	7,80	28,07	3329,15	36,35	0,13	0,01450	6,55	371,87
2000	9,74	35,08	3356,00	56,80	0,13	0,01478	6,55	379,03
2400	11,69	42,10	3329,15	81,79	0,13	0,01512	6,41	387,79
2800	13,64	49,11	3248,60	111,33	0,12	0,01552	6,14	398,13
3200	15,59	56,13	3114,36	145,41	0,12	0,01598	5,73	410,06
3600	17,54	63,15	2926,43	184,04	0,11	0,01651	5,19	423,59
4000	19,49	70,16	2684,80	227,21	0,10	0,01710	4,52	438,70
4400	21,44	77,18	2389,47	274,92	0,08	0,01775	3,71	455,41
Движение на IV передаче								
800	5,57	20,07	2033,65	18,58	0,08	0,01425	3,69	365,65
1200	8,36	30,10	2121,30	41,82	0,08	0,01457	3,82	373,79
1600	11,15	40,13	2173,90	74,34	0,08	0,01501	3,84	385,18

					23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата					34

Окончание таблицы 3.2

2000	13,94	50,17	2191,43	116,15	0,08	0,01559	3,75	399,82
2400	16,72	60,20	2173,90	167,26	0,08	0,01628	3,55	417,71
2800	19,51	70,23	2121,30	227,66	0,07	0,01711	3,25	438,86
3200	22,30	80,27	2033,65	297,36	0,07	0,01806	2,85	463,27
3600	25,08	90,30	1910,93	376,34	0,06	0,01914	2,33	490,93
4000	27,87	100,33	1753,14	464,62	0,05	0,02034	1,71	521,84
4400	30,66	110,37	1560,30	562,19	0,04	0,02167	0,99	556,00
Движение на V передаче								
800	6,57	23,64	1677,76	25,78	0,06	0,01435	2,87	368,17
1200	9,85	35,45	1750,08	58,01	0,07	0,01479	2,94	379,46
1600	13,13	47,27	1793,47	103,13	0,07	0,01541	2,90	395,26
2000	16,41	59,09	1807,93	161,15	0,06	0,01620	2,75	415,57
2400	19,70	70,91	1793,47	232,05	0,06	0,01717	2,51	440,40
2800	22,98	82,72	1750,08	315,85	0,06	0,01831	2,16	469,74
3200	26,26	94,54	1677,76	412,53	0,05	0,01963	1,70	503,60
3600	29,54	106,36	1576,51	522,11	0,04	0,02113	1,15	541,97
4000	32,83	118,18	1446,34	644,59	0,03	0,02280	0,48	584,86
4400	36,11	130,00	1287,25	779,95	0,02	0,02465	0,28	632,26

Строим графики зависимостей $P_k = f(V)$; $P_w = f(V)$ (см. рис. 3.2); $\psi = f(V)$ и $D = f(V)$ (см. рис. 3.3).

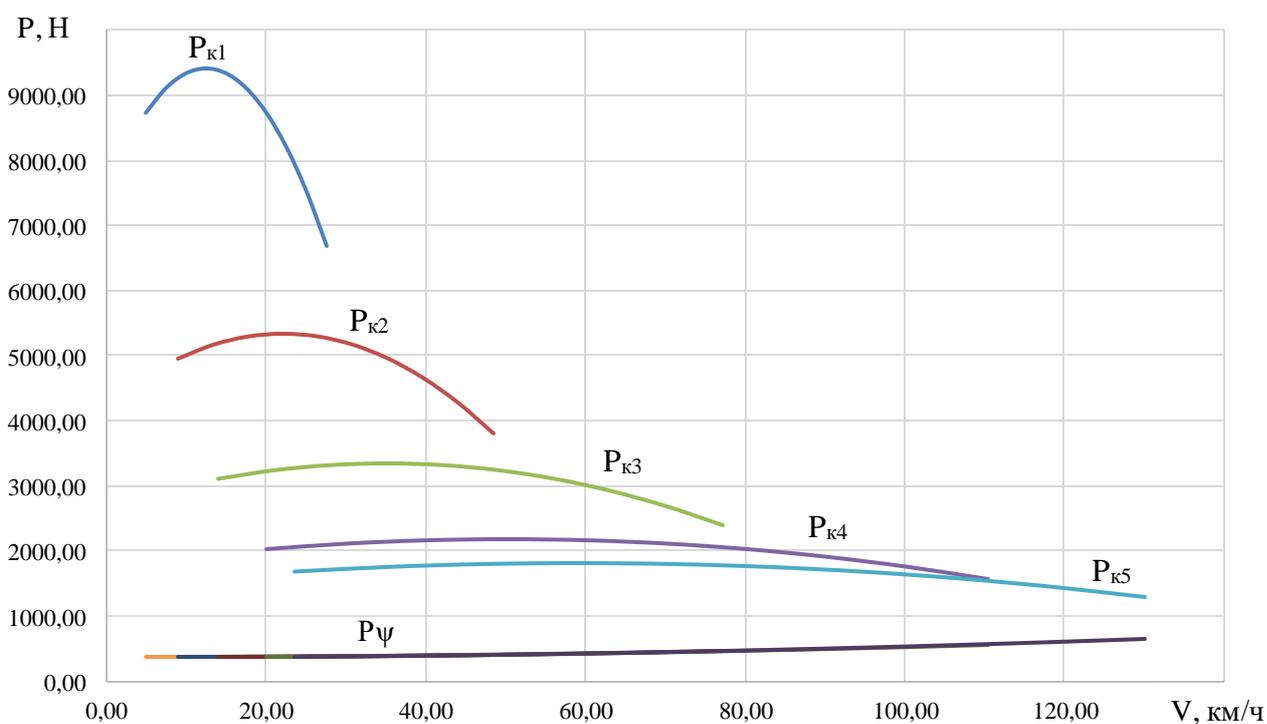


Рисунок 3.2 – Тяговый баланс автомобиля

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

35

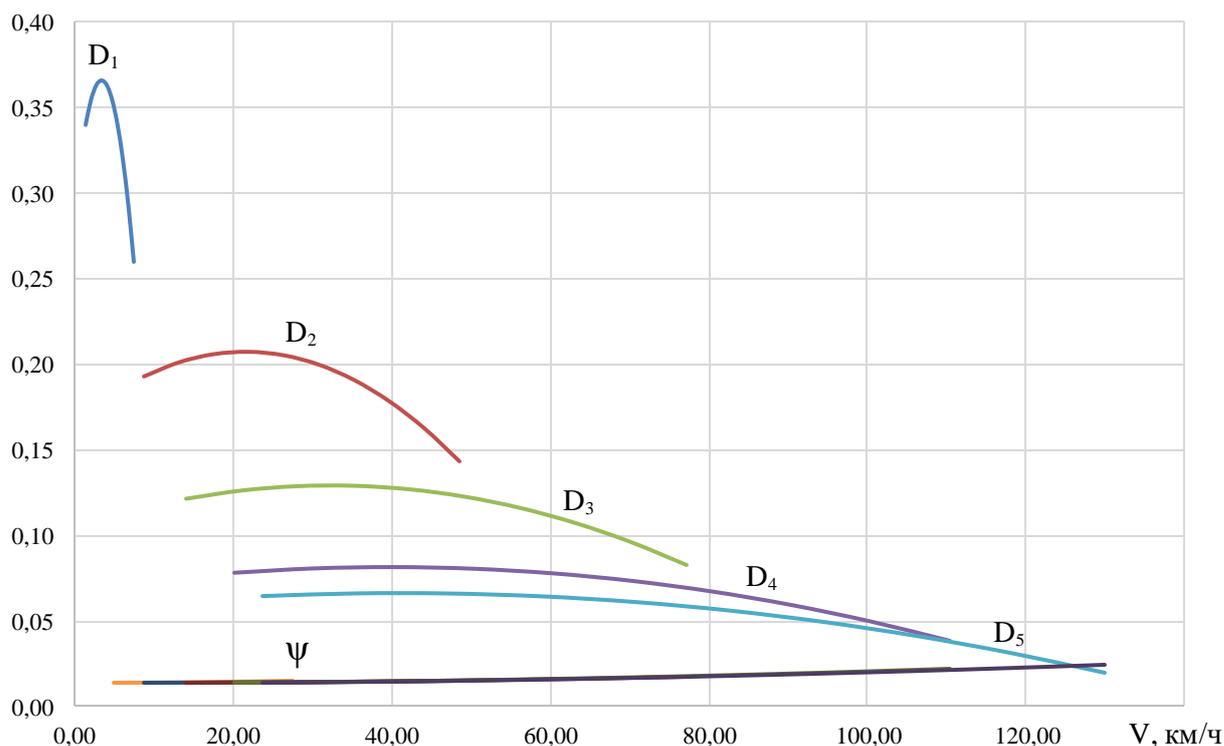


Рисунок 3.3 – Динамический баланс автомобиля

3.5 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:

$$j = (D - \Psi) \frac{g}{\delta}, \quad (3.21)$$

где j – ускорение автомобиля, м/с²;

D – динамический фактор;

Ψ – коэффициент сопротивления дороги;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

δ – коэффициент учета вращающихся масс автомобиля.

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

36

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):

$$\delta = 1 + \frac{J_m i_k^2 i_{ДВ}^2 i_0^2 \eta_{mp} g}{r_D r_k G_a} + \frac{\sum J_K g}{r_D r_k G_a}, \quad (3.22)$$

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;

$i_{об}$ – 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;

η_{mp} – КПД трансмиссии.

$$\delta_1 = 1 + \frac{0,3 \cdot 4,01^2 \cdot 1,0^2 \cdot 4,53^2 \cdot 0,86 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} + \frac{4,0 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} = 1,372$$

$$\delta_2 = 1 + \frac{0,3 \cdot 2,27^2 \cdot 1,0^2 \cdot 4,53^2 \cdot 0,86 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} + \frac{4,0 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} = 1,131$$

$$\delta_3 = 1 + \frac{0,3 \cdot 1,43^2 \cdot 1,0^2 \cdot 4,53^2 \cdot 0,86 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} + \frac{4,0 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} = 1,062$$

$$\delta_4 = 1 + \frac{0,3 \cdot 1,0^2 \cdot 1,0^2 \cdot 4,53^2 \cdot 0,86 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} + \frac{4,0 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} = 1,038$$

$$\delta_5 = 1 + \frac{0,3 \cdot 0,849^2 \cdot 1,0^2 \cdot 4,53^2 \cdot 0,86 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} + \frac{4,0 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} = 1,032$$

Полученные значения ускорений внесем в таблицу 3.3.

										Лист
										37
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

Таблица 3.3 - Ускорение и обратное ускорения автомобиля

$J_1,$ м/с ²	$1/J_1,$ с ² /м	$J_2,$ м/с ²	$1/J_2,$ с ² /м	$J_3,$ м/с ²	$1/J_3,$ с ² /м	$J_4,$ м/с ²	$1/J_4,$ с ² /м	$J_5,$ м/с ²	$1/J_5,$ с ² /м
2,334	0,429	1,548	0,646	0,988	1,012	0,608	1,646	0,476	2,102
2,438	0,410	1,618	0,618	1,031	0,970	0,628	1,591	0,486	2,056
2,500	0,400	1,659	0,603	1,052	0,951	0,632	1,583	0,480	2,084
2,520	0,397	1,670	0,599	1,052	0,951	0,617	1,620	0,456	2,192
2,498	0,400	1,651	0,606	1,030	0,971	0,585	1,708	0,415	2,407
2,434	0,411	1,602	0,624	0,986	1,014	0,536	1,866	0,357	2,798
2,327	0,430	1,524	0,656	0,921	1,085	0,469	2,132	0,282	3,543
2,178	0,459	1,416	0,706	0,835	1,198	0,384	2,601	0,190	5,266
1,987	0,503	1,278	0,782	0,727	1,376	0,282	3,540	0,080	12,442
1,754	0,570	1,111	0,900	0,597	1,674	0,163	6,140	0,046	21,597

Строим кривые зависимости ускорений и обратных ускорений автомобиля от скорости движения (см. рис. 3.4 и рис. 3.5).

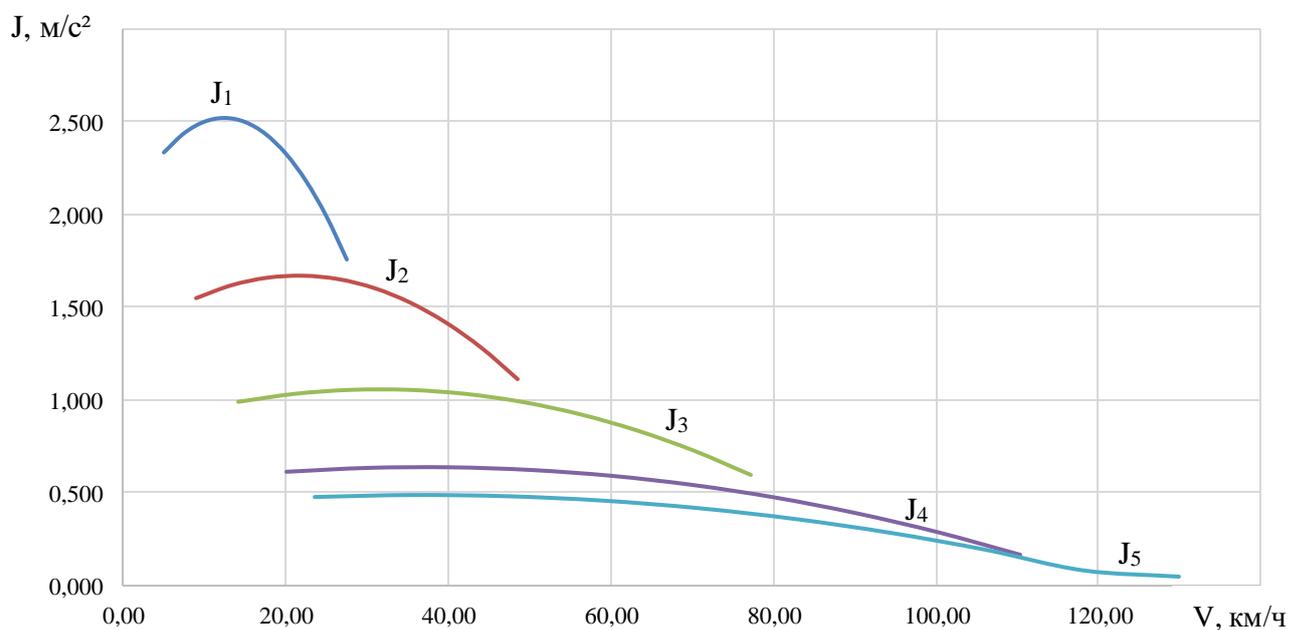


Рисунок 3.4 – График ускорений

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

38

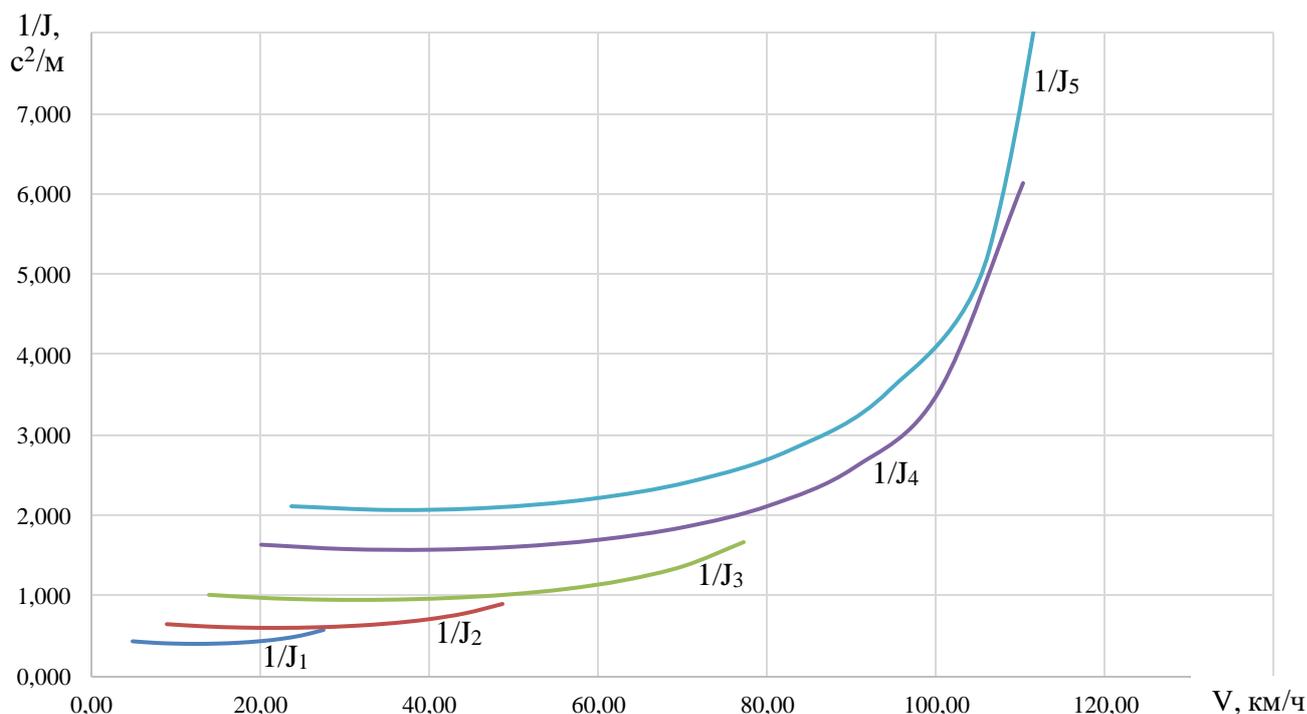


Рисунок 3.5 – График обратных ускорений

3.6 Определение времени и пути разгона

Ускорение, полностью характеризуя 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 равновеликого участка с высотой $\frac{1}{j_{cp}} = \frac{1/j_1 + 1/j_2}{2}$, 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:

$$t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6j'_{cp}}, \quad (3.23)$$

где t_1 – время, с;

V_1 – скорость в начале интервала, м/с;

V_2 – скорость в конце интервала, м/с;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

39

j – ускорение, м/с².

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

Путь разгона определяют из соотношения

$$V = \frac{dS}{dt}. \quad (3.24)$$

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

$$V'_{cp} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (3.25)$$

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

$$S_1 = (t_2 - t_1) \frac{V'_{cp}}{3,6}, \quad (3.26)$$

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 3.4.

Таблица 3.4 – Время и путь разгона автомобиля

V , км/ч	t , с	S , м
0	0	0
10	1,11	1,54
20	2,26	6,34
30	3,51	14,99
40	4,86	28,14
50	6,34	46,66
60	7,98	71,68
70	9,81	104,72
80	11,88	147,94
90	14,28	204,45
100	17,11	279,11
110	20,56	379,96

Окончание таблицы 3.4

120	25,01	522,01
130	31,24	738,22

По найденным значениям построим график $S = f(V)$ и $t = f(V)$ (см. рис. 3.6 и 3.7).

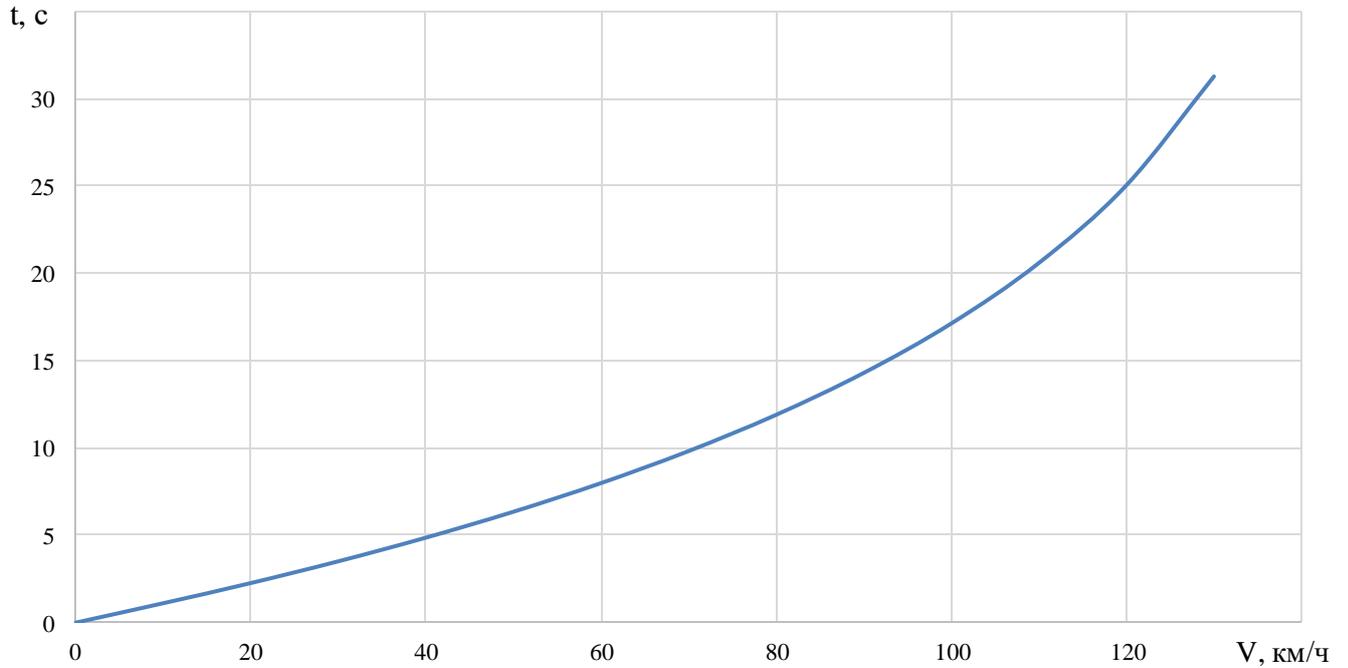


Рисунок 3.6 – Время разгона автомобиля

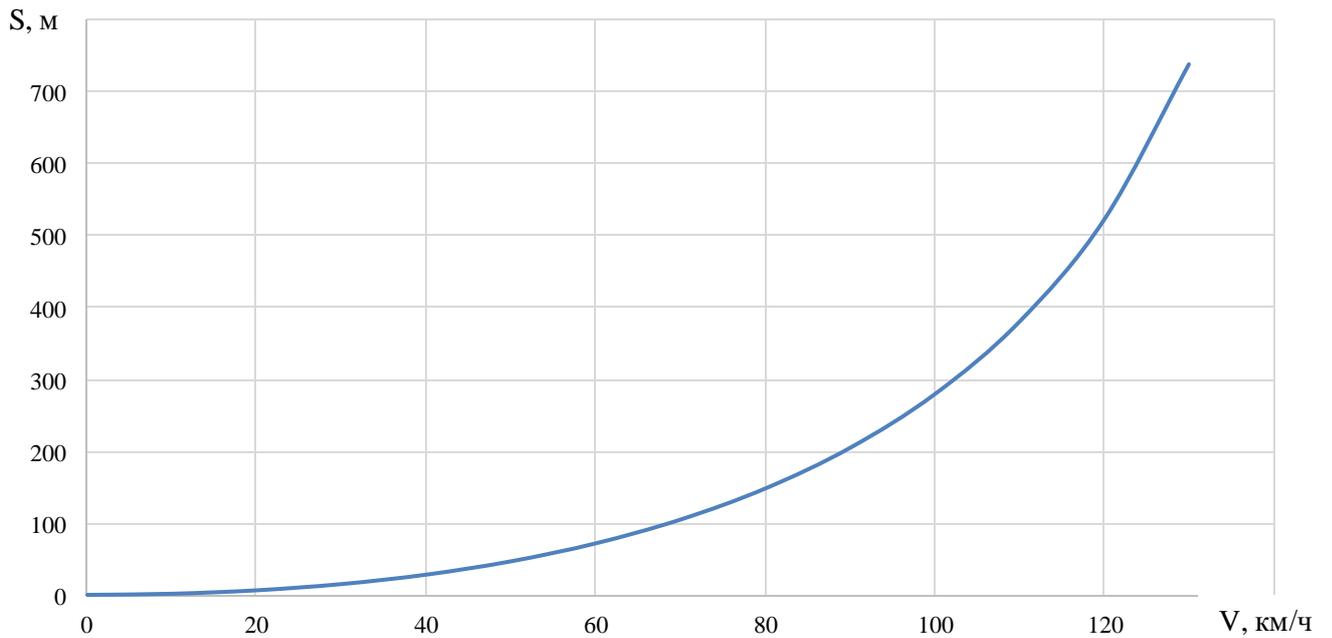


Рисунок 3.7 – Путь разгона автомобиля

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

41

3.7 Мощностной баланс

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

$$N_k = N_m \eta_{тр} = N_{\psi} + N_{\omega} + N_j, \quad (3.27)$$

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.

Разность мощности, подводимая к ведущим колесам есть:

$$N_j = N_k - (N_{\psi} + N_{\omega}), \text{ кВт}. \quad (3.28)$$

Определим значения мощности, найденные значения запишем в таблицу 3.5 и в таблицу 3.6.

Таблица 3.5 – Мощность двигателя при текущих оборотах

I передача			II передача			III передача		
п, об/мин	N_m , кВт	V, км/ч	п, об/мин	N_m , кВт	V, км/ч	п, об/мин	N_m , кВт	V, км/ч
800	14,15	5,00	800	14,15	8,84	800	14,15	14,03
1200	22,14	7,51	1200	22,14	13,26	1200	22,14	21,05
1600	30,26	10,01	1600	30,26	17,68	1600	30,26	28,07
2000	38,13	12,51	2000	38,13	22,10	2000	38,13	35,08
2400	45,38	15,01	2400	45,38	26,52	2400	45,38	42,10
2800	51,67	17,51	2800	51,67	30,94	2800	51,67	49,11
3200	56,61	20,02	3200	56,61	35,36	3200	56,61	56,13
3600	59,84	22,52	3600	59,84	39,78	3600	59,84	63,15
4000	61,00	25,02	4000	61,00	44,20	4000	61,00	70,16
4400	59,72	27,52	4400	59,72	48,62	4400	59,72	77,18
IV передача			V передача					
п, об/мин	N_m , кВт	V, км/ч	п, об/мин	N_m , кВт	V, км/ч			
800	14,15	20,07	800	14,15	23,64			
1200	22,14	30,10	1200	22,14	35,45			
1600	30,26	40,13	1600	30,26	47,27			
2000	38,13	50,17	2000	38,13	59,09			

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

42

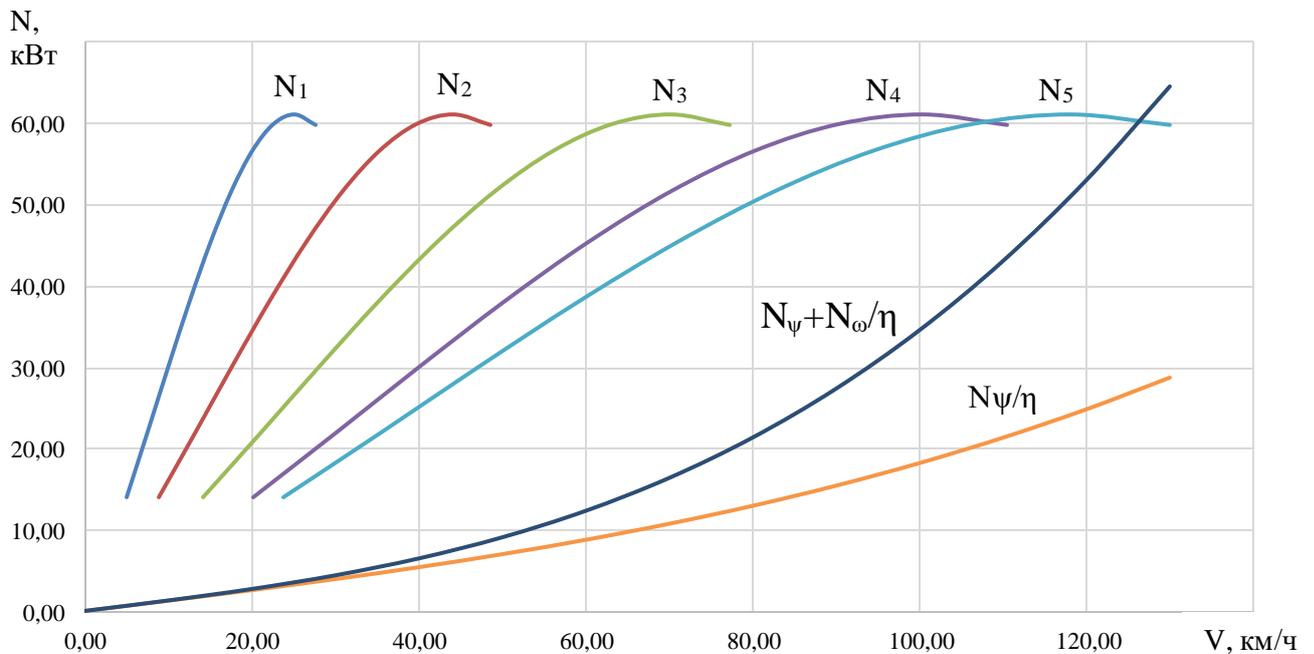


Рисунок 3.8 – Мощностной баланс

3.8 Топливная экономичность автомобиля

Топливная экономичность характеризует способность автомобиля выполнять перевозки с минимальным расходом топлива.

Топливная экономичность зависит от:

- совершенства конструкции двигателя и всего автомобиля;
- квалификации водителя;
- организации транспортного потока;
- дорожно-климатических условий.

Топливную экономичность необходимо рассчитывать при установившемся и неустановившемся движении. При установившемся движении расчет ведется на высшей передаче, здесь же необходимо рассчитать расход топлива при некотором значении ускорения. При неустановившемся движении, с максимальной интенсивностью разгона строится на каждой передаче.

При установившемся движении скорость постоянна и ускорение равно нулю:

$$N_k = N_\psi + N_\omega, \quad P_k = P_\psi + P_\omega. \quad (3.29)$$

При неустановившемся движении скорость не постоянна и ускорение не равно нулю:

$$N_k = N_\psi + N_\omega + N_j = VP_k = V(P_\psi + P_\omega + P_j). \quad (3.30)$$

Для построения графика зависимости расхода топлива от скорости движения воспользуемся следующей формулой:

$$Q = \frac{g_e (N_\psi + N_\omega + N_j)}{10\eta_{mp} V}, \quad (3.31)$$

где Q – расход топлива при текущей скорости движения, кг/100км;

g_e – удельный эффективный расход топлива, г/кВтч;

V – текущая скорость движения, км/ч;

η_{mp} – 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.

Удельный эффективный расход топлива определяется по следующей формуле:

$$g_e = g_N K_u K_\omega, \quad (3.32)$$

где g_N – удельный расход топлива при максимальной мощности, г/кВтч;

K_u – коэффициент использования мощности двигателя;

K_ω – коэффициент использования частоты вращения коленчатого вала.

$$K_u = 3,27 - 8,22 \cdot U + 9,13 \cdot U^2 - 3,18 \cdot U^3,$$

$$K_\omega = 1,25 - 0,99 \cdot E + 0,98 \cdot E^2 - 0,24 \cdot E^3,$$

где U – степень использования мощности

$$U = (N_\psi + N_\omega + N_j) / (N_m \eta_{mp}),$$

E – степень использования оборотов двигателя

$$E = \omega_m / \omega_N.$$

Найденные значения расхода топлива при установившемся движении представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Расход топлива при установившемся движении

V, м/с	V, км/ч	U	K_u	E	K_ω	g_e , г/кВтч	Q, кг/100км
6,57	23,64	0,213	1,905	0,182	1,101	613,64	7,81
9,85	35,45	0,226	1,841	0,273	1,048	564,49	7,98
13,13	47,27	0,252	1,730	0,364	1,008	510,14	8,21
16,41	59,09	0,289	1,581	0,455	0,980	453,41	8,45

Окончание таблицы 3.7

19,70	70,91	0,339	1,408	0,545	0,963	396,49	8,61
22,98	82,72	0,406	1,224	0,636	0,955	342,08	8,68
26,26	94,54	0,494	1,054	0,727	0,956	294,75	8,72
29,54	106,36	0,611	0,931	0,818	0,965	262,68	9,03
32,83	118,18	0,769	0,902	0,909	0,980	258,51	10,27
36,11	130	0,993	0,996	1,000	1,000	291,56	13,30

Зададим ускорение $j = 0,153 \text{ м/с}^2$. Найденные значения расхода топлива при движении автомобиля на высшей передаче при определенном ускорении представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Расход топлива при заданном ускорении

V , м/с	V , км/ч	U	K_U	E	K_ω	g_e , г/кВтч	Q , кг/100км
6,57	23,64	0,284	1,599	0,182	1,101	455,19	7,74
9,85	35,45	0,273	1,642	0,273	1,048	444,89	7,58
13,13	47,27	0,285	1,595	0,364	1,008	415,52	7,59
16,41	59,09	0,314	1,490	0,455	0,980	377,51	7,65
19,70	70,91	0,359	1,349	0,545	0,963	335,74	7,71
22,98	82,72	0,421	1,190	0,636	0,955	293,88	7,73
26,26	94,54	0,505	1,038	0,727	0,956	256,54	7,75
29,54	106,36	0,618	0,927	0,818	0,965	231,06	8,03
32,83	118,18	0,772	0,902	0,909	0,980	228,52	9,11
36,11	130	0,995	0,997	1,000	1,000	257,80	11,78

По данным таблицы 3.7 и таблицы 3.8 строим экономическую характеристику автомобиля (см. рис. 3.9).

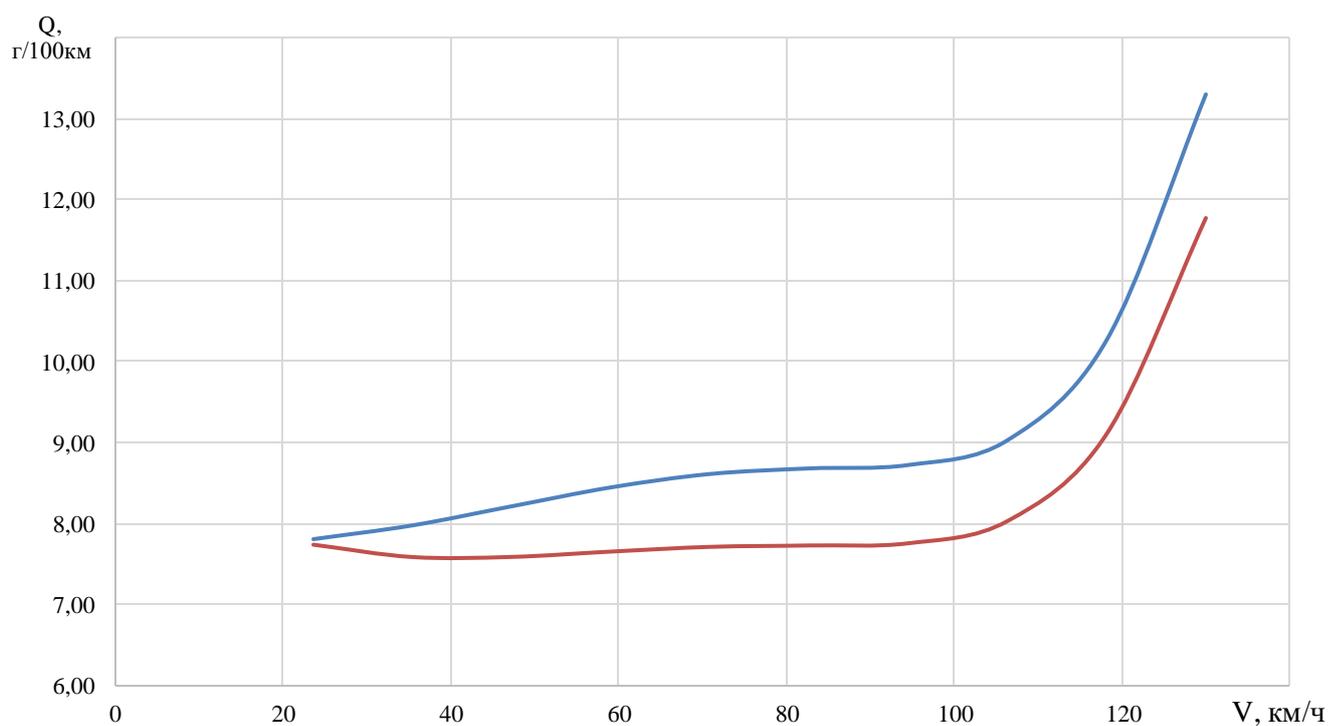


Рисунок 3.9 – Топливная экономичность на высшей передаче при заданном ускорении

Определим расход топлива при движении на каждой передаче. Найденные значения запишем в таблицу 3.9 и построим график (см. рис. 3.10).

Таблица 3.9 – Расход топлива на каждой передаче

V, м/с	V, км/ч	N_{ψ} , кВт	N_{ω} , кВт	N_j , кВт	g_e , г/кВтч	Q, кг/100км
Движение на I передаче						
1,39	5,00	0,4998	0,0016	11,6382	284,61	80,28
2,09	7,51	0,7507	0,0054	18,2382	270,92	79,72
2,78	10,01	1,0029	0,0129	24,9379	260,59	78,58
3,48	12,51	1,2569	0,0251	31,4218	253,32	77,00
4,17	15,01	1,5129	0,0434	37,3743	248,85	75,04
4,87	17,51	1,7714	0,0689	42,4798	246,88	72,64
5,56	20,02	2,0329	0,1028	46,4227	247,14	69,71
6,26	22,52	2,2978	0,1464	48,8876	249,35	66,09
6,95	25,02	2,5664	0,2008	49,5587	253,24	61,58
7,65	27,52	2,8393	0,2673	48,1205	258,51	55,95
Движение на II передаче						
2,46	8,84	0,8850	0,0089	11,2458	284,61	45,45

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

47

Продолжение таблицы 3.9

3,68	13,26	1,3333	0,0299	17,6311	270,92	45,13
4,91	17,68	1,7886	0,0709	24,0942	260,59	44,48
6,14	22,10	2,2532	0,1384	30,3121	253,32	43,59
7,37	26,52	2,7294	0,2391	35,9620	248,85	42,48
8,59	30,94	3,2196	0,3797	40,7208	246,88	41,12
9,82	35,36	3,7260	0,5668	44,2656	247,14	39,46
11,05	39,78	4,2511	0,8070	46,2736	249,35	37,41
12,28	44,20	4,7971	1,1070	46,4218	253,24	34,86
13,51	48,62	5,3664	1,4735	44,3873	258,51	31,67
Движение на III передаче						
3,90	14,03	1,4123	0,0354	10,6919	284,61	28,63
5,85	21,05	2,1418	0,1196	16,7330	270,92	28,43
7,80	28,07	2,8991	0,2834	22,7712	260,59	28,02
9,74	35,08	3,6936	0,5535	28,4565	253,32	27,46
11,69	42,10	4,5347	0,9565	33,4393	248,85	26,76
13,64	49,11	5,4316	1,5189	37,3696	246,88	25,90
15,59	56,13	6,3936	2,2673	39,8976	247,14	24,86
17,54	63,15	7,4301	3,2282	40,6735	249,35	23,57
19,49	70,16	8,5502	4,4282	39,3475	253,24	21,96
21,44	77,18	9,7634	5,8940	35,5697	258,51	19,95
Движение на IV передаче						
5,57	20,07	2,0382	0,1036	9,1939	284,61	18,69
8,36	30,10	3,1253	0,3496	14,2615	270,92	18,56
11,15	40,13	4,2940	0,8287	19,1122	260,59	18,30
13,94	50,17	5,5715	1,6186	23,3478	253,32	17,93
16,72	60,20	6,9851	2,7970	26,5702	248,85	17,47
19,51	70,23	8,5619	4,4415	28,3816	246,88	16,92
22,30	80,27	10,3291	6,6299	28,3836	247,14	16,23
25,08	90,30	12,3140	9,4399	26,1784	249,35	15,39
27,87	100,33	14,5438	12,9490	21,3678	253,24	14,34
30,66	110,37	17,0456	17,2352	13,5538	258,51	13,03
Движение на V передаче						
6,57	23,64	2,4172	0,1693	8,4287	284,61	15,42
9,85	35,45	3,7370	0,5713	12,9267	270,92	15,31
13,13	47,27	5,1901	1,3542	17,0055	260,59	15,10

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

48

Окончание таблицы 3.9

16,41	59,09	6,8210	2,6450	20,2086	253,32	14,79
19,70	70,91	8,6743	4,5705	22,0799	248,85	14,42
22,98	82,72	10,7942	7,2579	22,1630	246,88	13,96
26,26	94,54	13,2254	10,8339	20,0016	247,14	13,39
29,54	106,36	16,0122	15,4256	15,1395	249,35	12,70
32,83	118,18	19,1992	21,1599	7,1203	253,24	11,83
36,11	130,00	22,8307	28,1639	4,5122	258,51	10,75

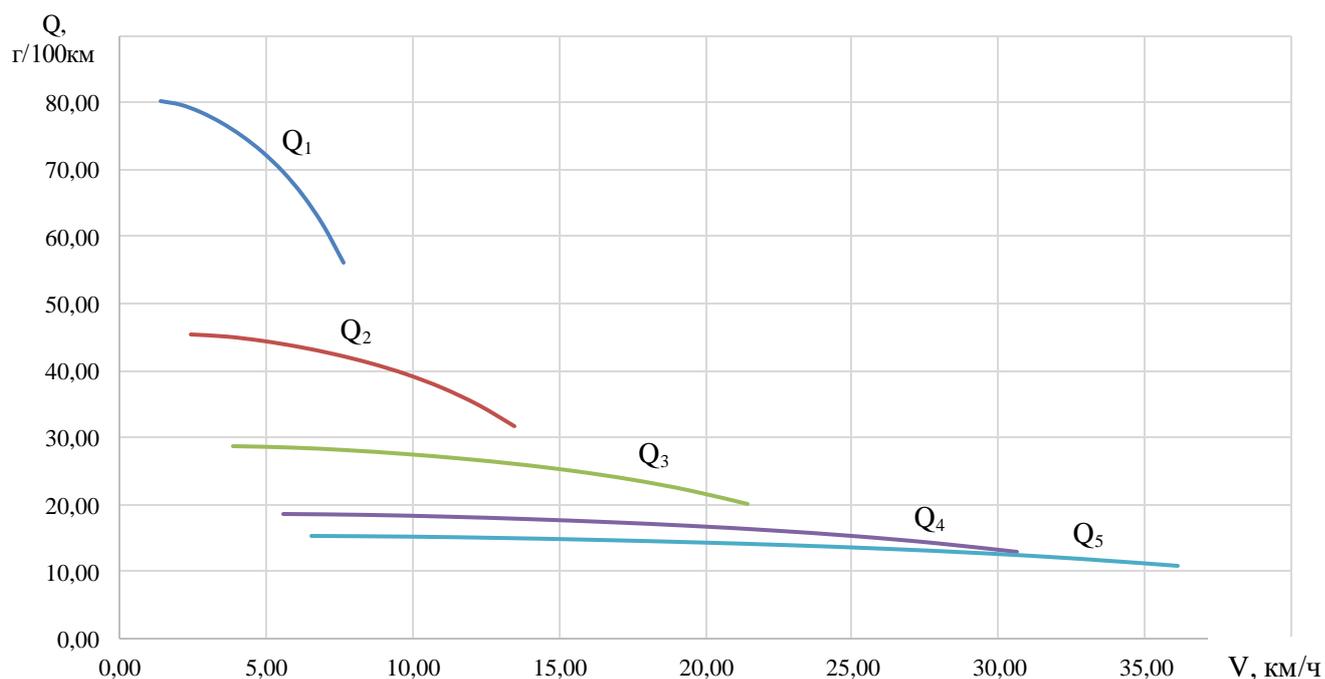


Рисунок 3.10 – Расход топлива

Выводы по разделу три

В разделе три был произведен тяговый расчет базового автомобиля ГАЗ -2705. Рассмотрены силы, влияющие на движение автомобиля. Проанализированы динамические характеристики автомобиля. Рассчитана характеристика топливной экономичности. Построены графики.

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

49

4 РАСЧЕТ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

4.1 Расчет мощности электродвигателя

Произведем проверочный расчет электродвигателя. Определим максимальную мощность. Для этого сначала найдем мощность при выбранной максимальной скорости автомобиля при движении на горизонтальной асфальтобетонной дороге. Мощность, при выбранной максимальной скорости движения, рассчитаем по формуле:

$$N_{V_{\max}} = \frac{\psi_{V_{\max}} \cdot G_a \cdot \frac{V_{\max}}{3,6} + kF \left(\frac{V_{\max}}{3,6} \right)^3}{1000 \eta_{\text{тр}V_{\max}}}, \quad (4.1)$$

где $\psi_{V_{\max}}$ – коэффициент сопротивления дороги при движении автомобиля с максимальной скоростью на подъем,

$$\psi_{V_{\max}} = f \cos \alpha + \sin \alpha; \quad (4.2)$$

где f – коэффициент сопротивления качению с учётом скорости движения,

$$f = f_0 (1 + k_1 v_{\max}^2); \quad (4.3)$$

где f_0 – коэффициент сопротивления качению, относящийся к малым скоростям и приводимый в справочных таблицах для каждого типа дорожного покрытия,

$$f_0 = 0,012 \dots 0,015;$$

k_1 – эмпирический коэффициент,

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

v_{\max} – максимальную скорость движения электромобиля;

G_a – полный вес автомобиля,

$$G_a = m_a g, \text{ Н}; \quad (4.4)$$

kF – фактор обтекаемости,

$$kF = 0,6;$$

$\eta_{\text{тр}V_{\max}}$ – КПД трансмиссии при максимальной скорости движения,

$$\eta_{\text{тр}V_{\max}} = 0,92.$$

$$f = 0,014 \cdot (1 + 0,000045 \cdot 130^2) = 0,0246$$

									Лист
									50
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

$$\psi_{v_{\max}} = 0,0246 \cdot 0,9925 + 0,1219 = 0,146$$

$$N_{v_{\max}} = \frac{0,146 \cdot 25653,15 \cdot \frac{130}{3,6} + 0,6 \cdot \left(\frac{130}{3,6}\right)^3}{1000 \cdot 0,92} = 177,7 \text{ кВт}$$

4.2 Построение внешней скоростной характеристики

Используя уравнение

$$M_m = 9550 \frac{N_m}{n_m}, \text{ Нм}, \quad (4.5)$$

где M_m – текущее значение крутящего момента, Нм;

N_m – текущее значение мощности, кВт;

n_m – текущее значение оборотов, об/мин.

Определим значения внешней скоростной характеристики, заполним таблицу 4.1 и на основании полученных данных построим соответствующие графики зависимостей мощности и крутящего момента от частоты вращения (рисунок 4.1).

Таблица 4.1 – Внешняя скоростная характеристика

n , мин ⁻¹	N_m , кВт	M_m , Н·м
0	0	1400
150	21,99	1400
300	43,98	1400
450	65,97	1400
600	87,96	1400
750	109,95	1400
900	131,94	1400
1050	150	1136,9
1200	150	994,79
1350	150	884,26
1500	150	795,83

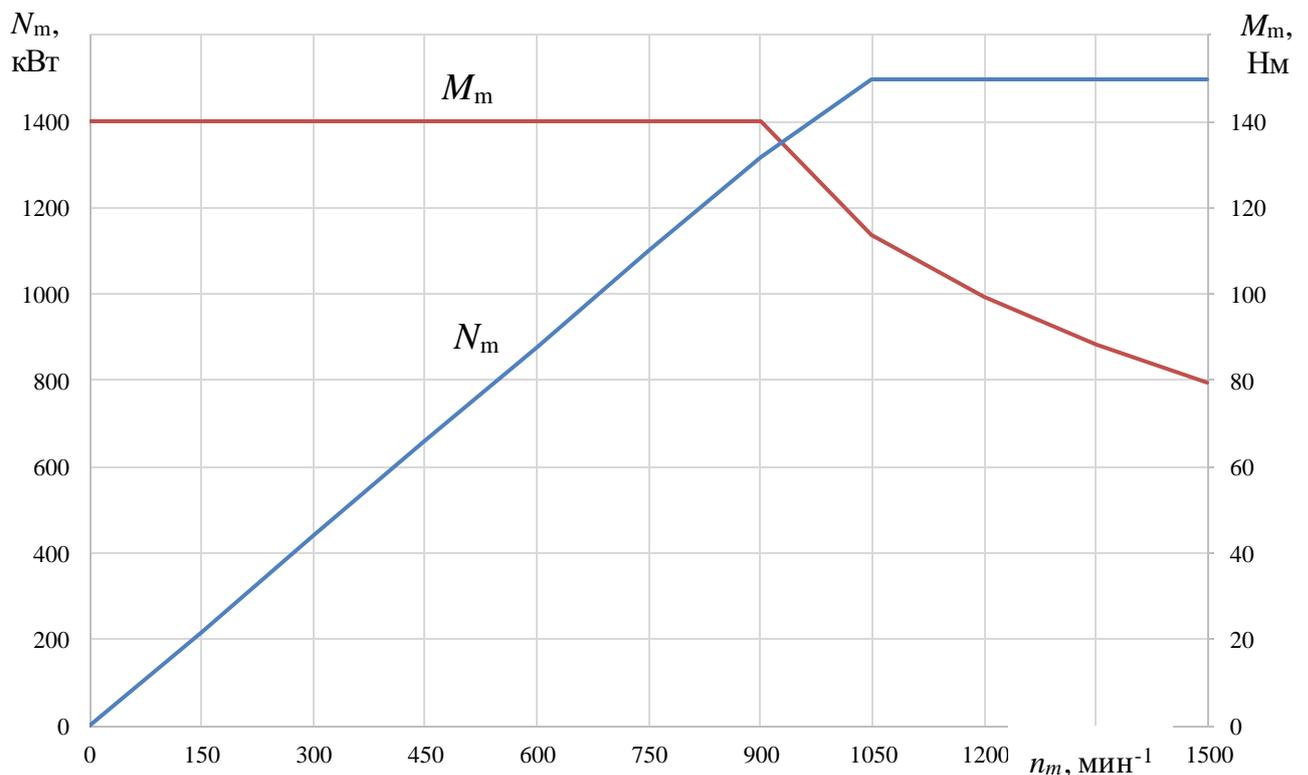


Рисунок 4.1 – Внешняя скоростная характеристика

4.3 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля

Тяговая и динамическая характеристики представляют собой графики зависимостей $P_k=f(v)$ и $D=f(v)$, а также $P_w=f(v)$; $P_\psi=f(v)$; $\psi=f(v)$ на горизонтальном участке дороги, которые находятся из уравнений:

а) сила тяги на колесе

$$P_k = \frac{M_m i_{mp} \eta_{mp}}{r_d}, \quad (4.6)$$

где P_k – тяговое усилие, реализуемое на ведущих колёсах, Н;

i_{mp} – передаточное число трансмиссии;

η_{mp} – механический КПД трансмиссии;

M_m – текущее значение крутящего момента двигателя, Нм;

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

б) скорость движения

$$V = 0,376 \frac{r_k n_m}{i_{mp}}, \quad (4.7)$$

где V – скорость движения автомобиля, км/ч;

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

в) сила сопротивления дороги

Окончание таблицы 4.2

750	65,00	18,06	4262,08	195,02	0,1585	0,0167	427,44
900	78,00	21,67	4262,08	280,84	0,1552	0,0178	457,48
1050	91,01	25,28	3461,13	382,25	0,1200	0,0192	492,99
1200	104,01	28,89	3028,49	499,26	0,0986	0,0208	533,97
1350	117,01	32,50	2691,99	631,88	0,0803	0,0226	580,41
1500	130,01	36,11	2422,79	780,10	0,0640	0,0246	632,31

На основании данных таблицы 4.2 строим графики зависимостей $P_k=f(v)$, $P_{\psi}+P_B=f(v)$ (рисунок 4.2) и $D=f(v)$, $\psi=f(v)$ (рисунок 4.3).

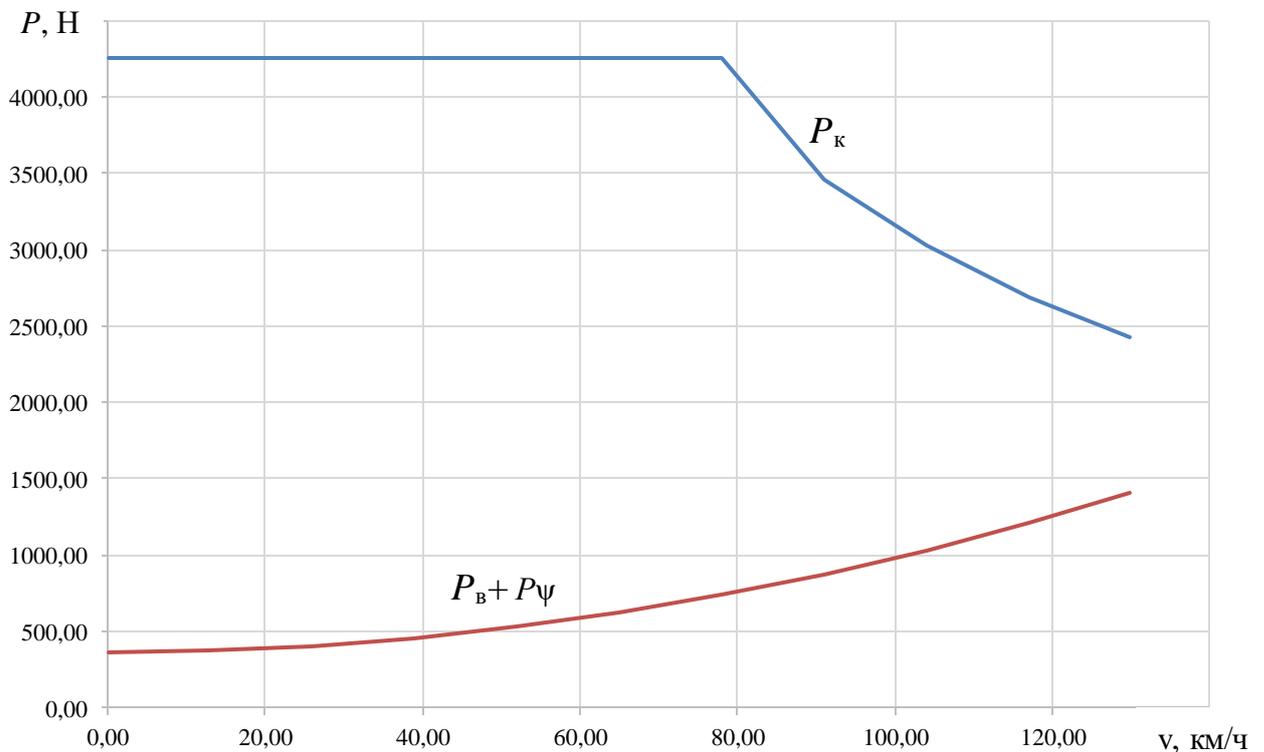


Рисунок 4.2 – Тяговый баланс

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

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

54

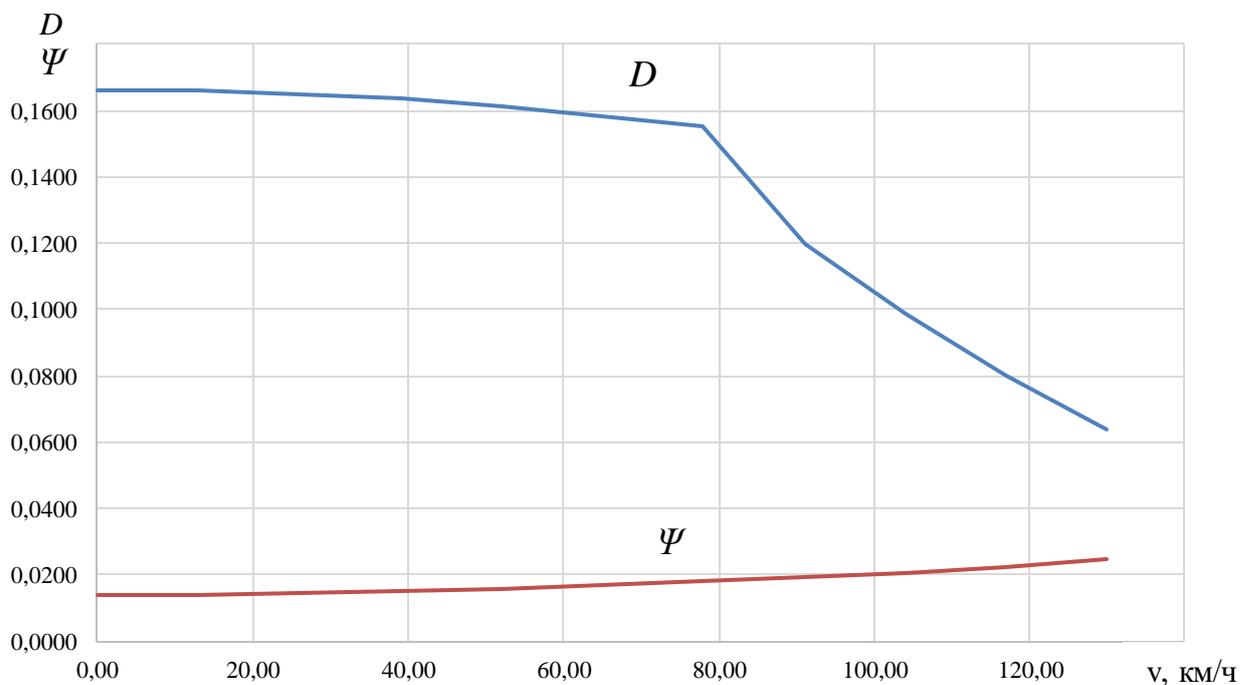


Рисунок 4.3 – Динамический баланс

Угол подъёма, который автомобиль в состоянии преодолеть при различных значениях равномерной скорости движения и заданном коэффициенте сопротивления качению определяется из уравнения

$$\alpha = \arcsin \left(\frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right). \quad (4.12)$$

Результаты расчёта представлены в таблице 4,3.

Таблица 4.3 – Угол преодолеваемого подъёма в зависимости от скорости

v, км/ч	градусы
0,00	8,726
13,00	8,703
26,00	8,632
39,00	8,515
52,00	8,350
65,00	8,139
78,00	7,880
91,01	5,781
104,01	4,460
117,01	3,307
130,01	2,258

На основании полученных данных строим график зависимости $\alpha=f(v)$ (рисунок 4.4).

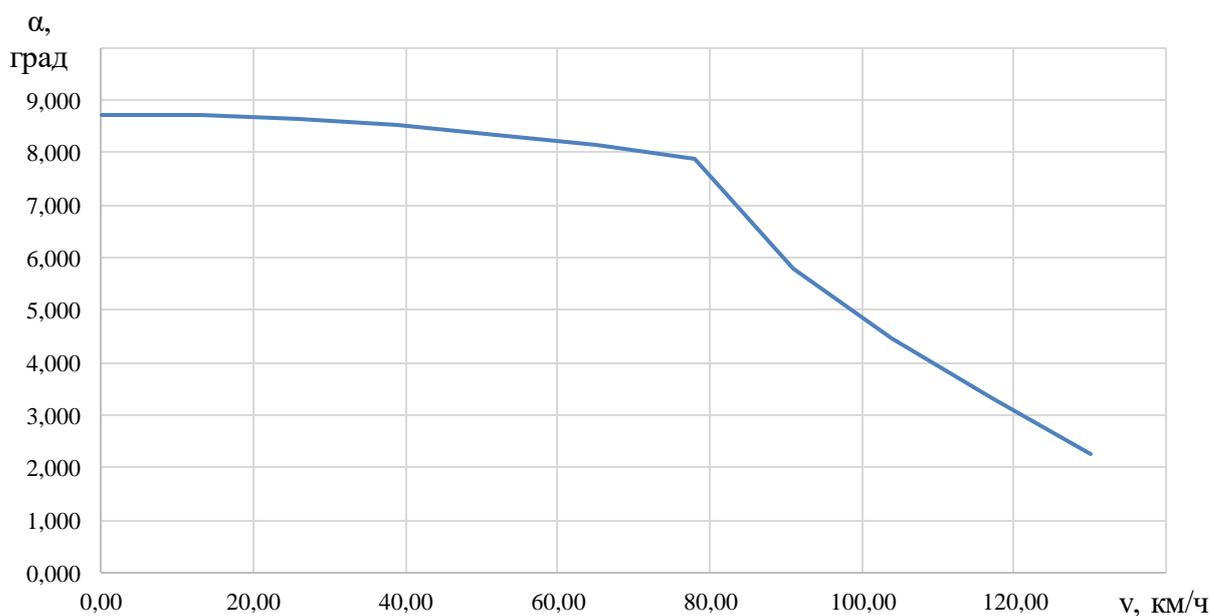


Рисунок 4.4 – Угол подъема, преодолеваемый автомобилем

4.4 Ускорение автомобиля

Показателями динамических свойств автомобиля при неравномерном движении служит величина 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 его движения, а, следовательно, и производительность автомобиля.

Ускорение автомобиля найдем по формуле

$$j = (D - \Psi) \frac{g}{\delta}, \quad (4.13)$$

где j – ускорение автомобиля, м/с²;

D – динамический фактор;

Ψ – коэффициент сопротивления дороги;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

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)

$$\delta = 1 + \frac{J_m i_0^2 \eta_{тр} g}{r_d r_k G_a} + \frac{\sum J_k g}{r_d r_k G_a}, \quad (4.14)$$

где J_m – приведённый момент инерции маховика (под этой величиной условно понимают момент инерции всех вращающихся частей двигателя и трансмиссии), Нмс²,

$$J_m = 0,1 \dots 0,5 \text{ Нмс}^2;$$

i_0 – передаточное число главной передачи;

$\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

r_d – динамический радиус колеса, м;

r_k – радиус качения колеса, м;

G_a – полный вес автомобиля, Н;

$\sum J_k$ – суммарный момент инерции колёс, Нмс²,

$$\sum J_k = 2,5 \dots 5,0 \text{ Нмс}^2.$$

$$\delta = 1 + \frac{0,3 \cdot 1,0^2 \cdot 0,92 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} + \frac{4,0 \cdot 9,81}{0,3022 \cdot 0,3022 \cdot 25653,15} = 1,0178$$

Полученные в ходе расчёта значения ускорений занесём в таблицу 4.4, здесь же определим и обратные ускорения.

Таблица 4.4 – Ускорение и обратное ускорения автомобиля

v, км/ч	J, м/с ²	1/J, с ² /м
0,00	1,466	0,682
13,00	1,462	0,684
26,00	1,451	0,689
39,00	1,431	0,699
52,00	1,403	0,713
65,00	1,367	0,731
78,00	1,324	0,755
91,01	0,972	1,029
104,01	0,750	1,334
117,01	0,556	1,799
130,01	0,380	2,634

На основании полученных данных строим графики зависимостей ускорений и обратных ускорений автомобиля от скорости его движения (рисунок 4.5 и рисунок 4.6).

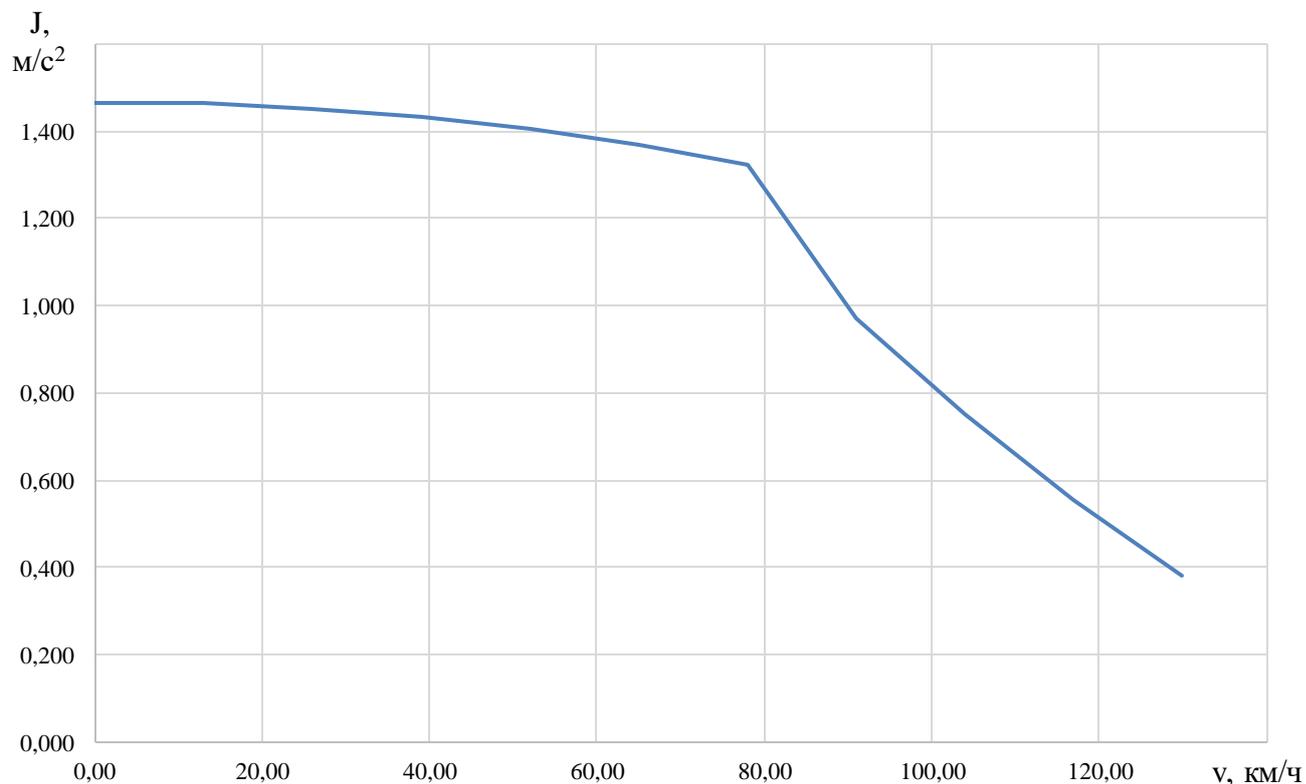


Рисунок 4.5 – График ускорений

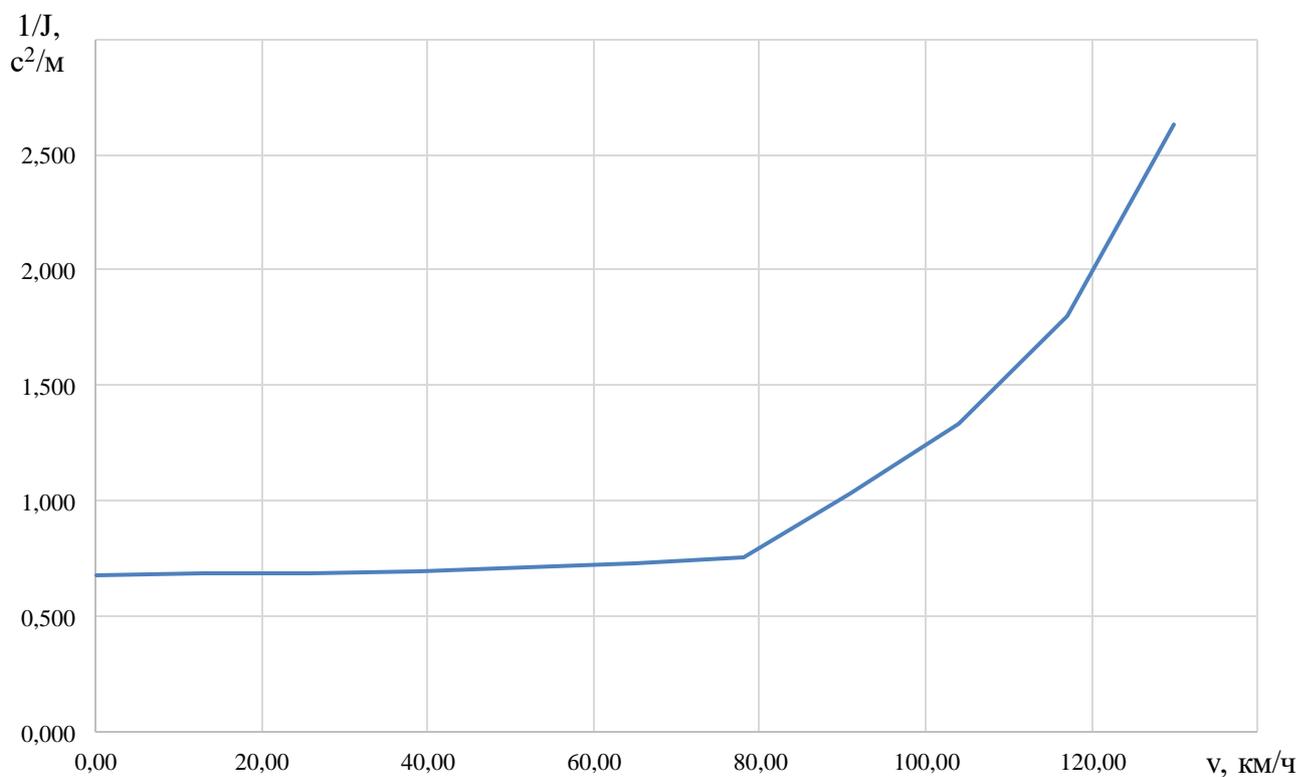


Рисунок 4.6 – График обратных ускорений

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

58

4.5 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 автомобиля, то время разгона обычно определяют графоаналитическим способом.

Для построения зависимости времени разгона автомобиля от его 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 равновеликого участка с высотой $1/j'_{cp}=(1/j_1+1/j_2)/2$, 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

$$t_1 = \frac{v_2 - v_1}{3,6 j'_{cp}}, \quad (4.15)$$

где t_1 – время, с;

v_1 – скорость автомобиля в начале интервала, м/с;

v_2 – скорость автомобиля в конце интервала, м/с;

j – ускорение автомобиля, м/с².

Аналогично определяются t_2, t_3, \dots, t_n по остальным участкам. Затем для скорости v_2 откладывают значение t_1 , для v_3 – значение (t_1+t_2) , для v_4 – значение $(t_1+t_2+t_3)$ – и т.д. Найденные точки соединяют плавной кривой и получают график $t=f(v)$ (рис. 12).

Путь разгона определяется из соотношения

$$v = \frac{dS}{dt}, \quad (4.16)$$

Этот интеграл решаем также графоаналитическим способом, используя график $t=f(v)$. Площадь (рисунок 12), ограниченная кривой $t=f(v)$, осью ординат и абсциссами v_{min} и $(0,9...0,95)v_{max}$, в масштабе представляет собой путь разгона от скорости v_{min} до $(0,9...0,95)v_{max}$.

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

$$v'_{cp} = \frac{v_1 + v_2}{2}, \quad (4.17)$$

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

$$S_1 = (t_2 - t_1) \frac{v'_c}{3,6}, \quad (4.18)$$

Путь разгона в интервале скоростей от v_2 до v_3

$$S_2 = (t_3 - t_2) \frac{v''_c}{3,6}. \quad (4.19)$$

и т.д.

После этого для скорости v_2 откладывают путь S_1 , для v_3 – путь (S_1+S_2) и т.д. Соединяют найденные точки и получают кривую $S=f(v)$.

Общий путь разгона от v_{\min} до $(0,9...0,95)v_{\max}$

$$S = \sum_{i=1}^n S_i. \quad (4.20)$$

Полученные значения приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Время и путь разгона автомобиля

v , км/ч	t , с	S , с
0,00	0,00	0,00
13,00	2,47	4,45
26,00	4,95	17,88
39,00	4,99	18,25
52,00	5,06	19,13
65,00	5,16	20,75
78,00	5,29	23,43
91,01	5,83	36,10
104,01	7,34	77,06
117,01	9,73	150,27
130,01	13,25	271,10

На основании полученных результатов расчёта строим графики $S=f(v)$ и $t=f(v)$ (Рисунок 4.7).

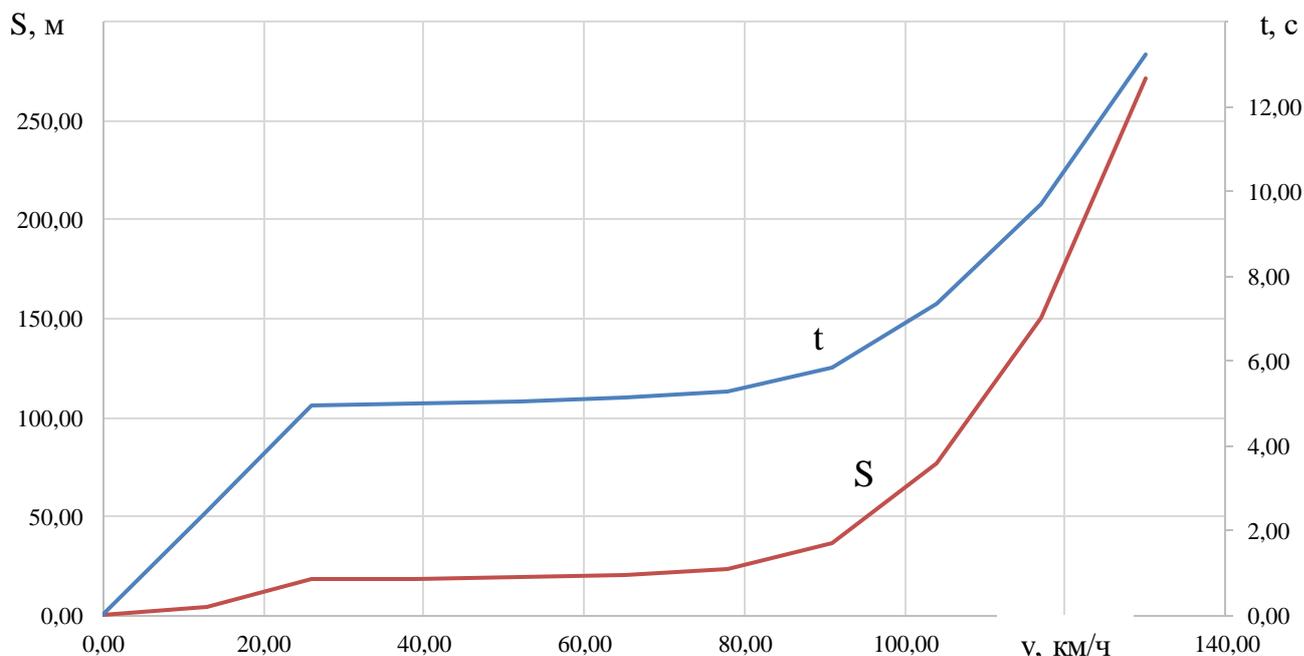


Рисунок 4.7 – Время и путь разгона автомобиля

4.6 Мощностной баланс автомобиля

Для оценки тягово-скоростных свойств автомобиля используется уравнение мощностного баланса, которое иллюстрирует распределение мощности по видам сопротивлений:

$$N_k = N_m \eta_{тр} = N_\psi + N_B + N_j, \quad (4.21)$$

где N_k – мощность на ведущих колёсах, кВт;

N_m – эффективная мощность электродвигателя, кВт;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

N_ψ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления дороги, кВт;

N_B – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, кВт;

N_j – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления разгону, кВт.

Мощность, необходимая на преодоление сопротивления дороги, рассчитывается по формуле

$$N_\psi = \psi G_a v, \quad (4.22)$$

где ψ – коэффициент сопротивления на горизонтальном участке дороги;

G_a – полный вес автомобиля, Н;

v – скорость движения автомобиля, км/ч.

Коэффициент сопротивления дороги при $\alpha=0$

$$\psi = f = f_0(1+k_1v^2), \quad (4.23)$$

где f_0 – табличное значение коэффициента сопротивления качению.

Для сухого асфальтобетона и бетона первой и второй категорий дорог $f_0=0,012\dots0,015$; $k_1=(4\dots5)10^{-5}$. В расчётах принимаются f_0 и k_1 те же, что и при выборе мощности электродвигателя $N_{v_{max}}$.

Мощность, необходимая на преодоление сопротивления воздуха, рассчитывается по формуле

$$N_B = \frac{kFv^3}{13}, \quad (4.24)$$

где kF – фактор обтекаемости, $\text{Нс}^2/\text{м}^2$;

v – скорость движения автомобиля, км/ч.

По представленным формулам определим мощность на ведущих колёсах N_k , мощность, необходимую на преодоление сопротивления дороги N_ψ и воздуха N_B , мощность суммарного сопротивления движению $N_\psi+N_B$ и имеющийся резерв мощности N_j , который можно при необходимости использовать на разгон автомобиля и преодоление подъёма. Полученные результаты представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Мощностной баланс автомобиля

v , км/ч	N_m , кВт	N_k , кВт	N_ψ , кВт	N_B , кВт	$N_\psi+N_B$, кВт
0,00	0	0	0	0	0
13,00	21,99	20,23	1,31	0,03	1,34
26,00	43,98	40,46	2,67	0,23	2,90
39,00	65,97	60,69	4,16	0,76	4,92
52,00	87,96	80,92	5,82	1,81	7,63
65,00	109,95	101,15	7,72	3,53	11,25
78,00	131,94	121,38	9,91	6,10	16,02
91,01	150	138	12,46	9,69	22,16
104,01	150	138	15,43	14,47	29,90
117,01	150	138	18,86	20,60	39,47
130,01	150	138	22,83	28,26	51,09

На основании расчётных данных строим графики мощностного баланса (Рисунок 4.8).

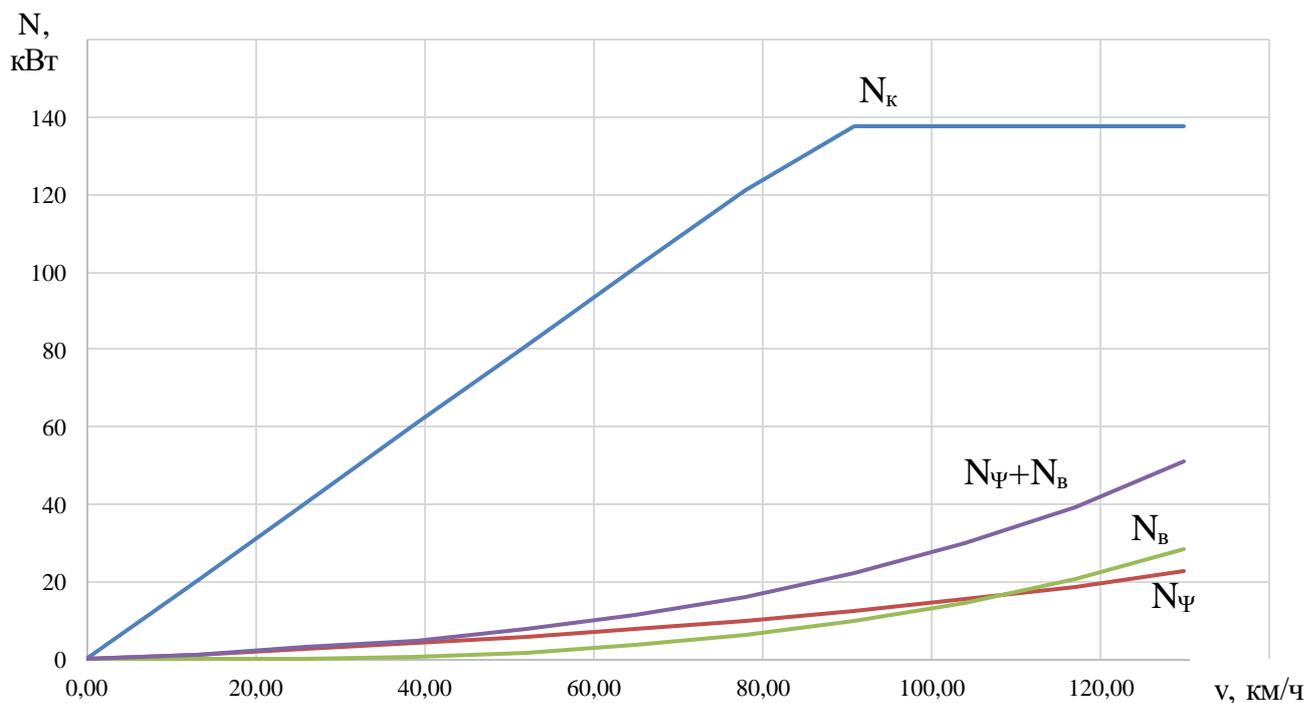


Рисунок 4.8 – Мощностной баланс автомобиля

Выводы по разделу четыре

В данном разделе приведен расчет электродвигателя.

Экономная эксплуатация – главное преимущество гибридов. Мало того, способность накапливать энергию, в том числе и не терять понапрасну кинетическую энергию движения во время торможения, а заряжать аккумуляторные батареи, помимо основных явных преимуществ, привнесло автолюбителям некоторые побочные «мелкие радости», например, меньший износ тормозных колодок.

Теперь нет необходимости устанавливать двигатель из расчёта пиковых нагрузок эксплуатации. В момент, когда необходимо резкое усиление тяговой нагрузки, в работу включаются одновременно как электродвигатель, так и обычный двигатель, а в некоторых моделях и дополнительный электродвигатель. Это позволяет сэкономить на установке менее мощного двигателя внутреннего сгорания, работающего основное время в наиболее благоприятном для себя режиме. Такое равномерное перераспределение и накопление мощности, с последующим быстрым использованием, позволяет использовать гибридные установки в автомобилях спортивного класса и внедорожниках. Несмотря на то, что электродвигатели обладают достаточно сильным крутящим моментом в пересчёте на массу и габариты двигателя, по сравнению с другими двигателями, разработчики всё же в ряде моделей устанавливают не слишком мощные электродвигатели, уменьшая их габариты.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР

Лист

63

- осуществление более тщательного контроля по проведению ТО и ремонта;
- разработка технологических карт на процессы;
- разработка нового необходимого оборудования и инвентаря для проведения ТО и ремонта;
- разработка новых средств защиты;
- установление ограждений, предупреждающих табличек;
- контроль состояния рабочего инструмента и его обновление;
- закреплять приказом ответственных лиц за оборудованием производства, при временной передаче оформлять письменным разрешением;
- не допускать перевода рабочих на другое рабочее место без соответствующего допуска;
- запрещать использование техники и оборудования в личных целях без разрешения администрации;
- производить оборудование специализированных площадок для временной постановки машин на хранение, исключая выезд техники без разрешения администрации;
- назначать старшего на работах, в которых занято два и более человека;
- обеспечивать контроль санитарного состояния производственных помещений;
- обеспечивать контроль исправности оборудования системы освещения и вентиляции;
- не допускать к эксплуатации, переоборудованные или вновь изготовленные (в порядке рационализации) без предварительной приемки их комиссией, машины и приспособления;
- не допускать к работе лиц больных или в нетрезвом состоянии, а также лиц не знакомых с правилами техники безопасности и правилами выполнения работ;
- контролировать соблюдение предельных норм переноски тяжестей;
- обеспечить средствами индивидуальной защиты рабочих;
- не допускать нахождения на производственных участках лиц не связанных с технологией производства.

5.3 Инструкция по охране труда для работников АТП

1. Общие требования охраны труда:

- 1.1) настоящая инструкция разработана работника автотранспортного предприятия;
- 1.2) работник предприятия допускается к самостоятельной работе после прохождения:
 - 1.2.1) вводного инструктажа по охране труда;
 - 1.2.2) первичного инструктажа на рабочем месте, проведенного руководителем структурного подразделения, службы или участка, производителем работ или мастером;
 - 1.2.3) обучения безопасным методам работы в течение 1 – 2 дней (или смен);

					23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		65

6 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

6.1 Расчет стоимости базового автомобиля

Базовая стоимость автомобиля [5]:

$$C_6 = 895000 \text{ руб.}$$

Стоимость сервисного обслуживания.

Пробег автомобиля за год при 8 часовом рабочем дне водителя, учетом всех праздничных и выходных дней и при полной загрузке составит:

$$P_a = 454 \cdot 247 = 112138 \text{ км.}$$

Стоимость ТО у официального дилера ОАО «ГАЗ» в Челябинске приведена в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Стоимость ТО

Наименование ТО	Стоимость
ТО – 2000	7500 руб.
ТО – 15000	7500 руб.
ТО – 30000	7500 руб.
ТО – 45000	7500 руб.
ТО – 60000	7500 руб.
ТО – 75000	7500 руб.
ТО – 90000	7500 руб.
ТО – 105000	7500 руб.

Итого за год:

$$C_{\text{ТО}} = 7500 \cdot 8 = 60000 \text{ руб.}$$

Общая стоимость базового автомобиля с учетом всех затрат за год:

$$C_o = C_6 + C_{\text{ТО}}, \text{ руб.};$$

$$C_o = 895000 + 60000 = 955000 \text{ руб.}$$

6.2 Расчет стоимости проектируемого автомобиля [6]

Рассчитаем трудозатраты на установку мотор колес. Данные занесем в таблицу 6.2.

										Лист
										69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

Таблица 6.2 - Трудозатраты

№ операции	Наименование и содержание работ (операций)	Трудоёмкость, чел./ч.
1	Установка автомобиля на пост	0,1
2	Открутить гайки крепления колёс (на каждое колесо по шесть гаек, колёс всего два)	0,15
3	Снять колесо (колёс всего два)	0,03
4	Снять КПП	1,8
5	Снять сцепление	1,35
6	Снять задний мост	4,15
7	Заменить комплект проводов	2,18
8	Установка балки заднего моста	2,85
9	Установка сцепления	3,3
10	Установка КПП	2,15
11	Установить мотор-колёса (колёс всего два)	0,1
12	Прикрутить болты крепления мотор-редукторов (на каждое мотор-колесо по восемь болтов, колёс всего два)	0,2
13	Установить колеса	0,03
14	Прикрутить гайки крепления колёс (на каждое колесо по шесть гаек, колёс всего два)	0,15
	Итого:	20,22

Рассчитаем стоимость работ по установке мотор-колес.

Средняя зарплата автомеханика составляет [4]:

$$Z_a = 42000 \text{ руб.};$$

тогда стоимость одного нормочаса будет равна:

$$H_q = 42000 / (8 \cdot 21) = 250 \text{ руб./ч.}$$

Стоимость установки мотор-колес составит:

$$C_{\text{УМК}} = 250 \cdot 20,22 = 5055 \text{ руб.}$$

					23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		70

Сервисное обслуживание двигателей с $n_e = 1500$ об/мин проводить каждые 8000 – 10000 тысяч часов работы. Ориентировочно 2 раза в год. Стоимость ТО электродвигателей составит:

$$C_{\text{ТОЭ}} = 8439 \text{ руб.},$$

$$\sum C_{\text{ТОЭ}} = 8439 \cdot 2 \cdot 2 = 33756 \text{ руб.}$$

Общая стоимость проектируемого автомобиля с учетом всех затрат за год:

$$C_o = C_6 + C_{\text{ТО}} + C_{\text{УМК}} + \sum C_{\text{ТОЭ}}, \text{ руб.};$$

$$C_o = 895000 + 60000 + 5055 + 33756 = 993811 \text{ руб.}$$

Получаем, что при установке ЭМК на автомобиль ГАЗ-2705 его стоимость, а также стоимость обслуживания возрастает. Возникает необходимость в оплате работ по установке ЭМК и их обслуживанию.

Выводы по разделу шесть

В данной главе была рассчитана стоимость базового автомобиля с учетом затрат за год, а также стоимость проектируемого автомобиля с учетом затрат на установку ЭМК и обслуживание.

										Лист
										71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР					

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе рассмотрена конструкция автомобиля категории М₂ с установкой на него мотор-колес. Подобран отвечающий всем требованиям электродвигатель Elaphe M700. Рассчитан тяговый и мощностной баланс автомобиля ГАЗ-2705. Описаны правила техники безопасности при работе с электрооборудованием и электроинструментом. Проведены экономические расчеты, по итогам которых произведена стоимостная оценка автомобиля ГАЗ-2705 с учетом годовых затрат на обслуживание и оценка проектируемого автомобиля с аналогичными затратами. В результате расчетов получили, что при установке ЭМК на автомобиль ГАЗ-2705 тягово-скоростные свойства заметно улучшаются, что положительно сказывается на его разгоне и динамике.

									Лист
									72
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.020.00.00 ПЗ ВКР				

