

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Факультет «Автотранспортный»
Кафедра «Колёсных и гусеничных машин»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
к.т.н., профессор
_____ /Бондарь В.Н./
« ____ » _____ 2020 г.

Оптимизация передаточных чисел автомобиля с бесступенчатой трансмиссией

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 23.03.02.2020.011.00 ПЗ

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

Автор проекта
студент группы П-404
_____ М.В.Качалкова
« ____ » _____ 2020 г.

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

АННОТАЦИЯ

Качалкова М.В. Оптимизация передаточных чисел легкового автомобиля с бесступенчатой трансмиссией: Выпускная квалификационная работа. – Челябинск: ЮУрГУ, 2020. – 65 с., 10 табл., библиография литературы – 21 наименование, 1 л. чертеж ф. А1 и 2 л. ф. А2, 3 л. плакатов ф. А1 и 2 л. ф. А2.

В выпускной квалификационной работе проведен анализ существующих трансмиссий. Выявлены особенности каждой из конструкций, их преимущества и недостатки.

Проведена оптимизация передаточных чисел коробки передач автомобиля во время его движения, позволяющая определить закон изменения передаточного числа бесступенчатой трансмиссии в зависимости от скорости движения. Произведен сравнительный анализ тягово-динамических характеристик на примере автомобиля ВАЗ-2108.

Разработан технологический процесс изготовления детали «шкив клиновый», входящий в состав клиноременной передачи вариатора.

					ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Качалкова М.В.			<i>Оптимизация передаточных чисел легкового автомобиля с бесступенчатой трансмиссией</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		Уланов А.Г.					5	65
<i>Н. Контр.</i>		Дуюн В.И.				ЮУрГУ Кафедра «КГМ»		
<i>Утвердил.</i>		Бондарь В.Н.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

АННОТАЦИЯ.....	2
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ	
1.1 Назначение, состав, виды трансмиссии	9
1.2 Механические ступенчатые трансмиссии.....	11
1.3 Гидромеханическая трансмиссия.....	12
1.4 Роботизированная трансмиссия.....	13
1.5 Бесступенчатые трансмиссии.....	14
1.5.1 Гидрообъемная передача.....	15
1.5.2 Электрические трансмиссии.....	16
1.5.3 Фрикционные механические трансмиссии.....	18
1.5.3.1 Назначение и основные элементы вариатора.....	18
1.5.3.2 Преимущества вариатора.....	19
1.5.3.3 Виды и принцип работы вариатора на автомобиле.....	19
1.5.3.3.1 Клиноременный вариатор.....	19
1.5.3.3.2 Клиноцепной вариатор.....	20
1.5.3.3.3 Торoidalный вариатор.....	21
2 ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИЙ И ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЯ	
2.1 Исходные данные.....	25
2.2 Определение полной массы и развесовки автомобиля по осям.....	26
2.3 Построение внешней скоростной характеристики.....	27
2.4 Тяговая и динамическая характеристики автомобиля.....	28
2.5 Ускорение автомобиля.....	32
2.6 определение пути и времени разгона.....	35
2.7 Мощностной баланс.....	38
2.8 Топливная экономичность автомобиля.....	42
2.9 Оптимизация передаточных чисел.....	46
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
3.1 Служебное назначение детали.....	52

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		3

3.2 Анализ технологичности детали.....	53
3.3 Выбор и обоснование метода получения заготовки.....	53
3.4 Выбор технологических баз и определение погрешностей установки.....	54
3.5 Технологический процесс обработки детали.....	55
3.6 Контроль готовой детали.....	58
3.7 Расчет режимов резания.....	59
4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	63
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	64

ВВЕДЕНИЕ

Автомобиль был и остается самым популярным средством передвижения каждого из поколений. Современное общество, невозможно представить без транспортного средства, будь то грузовой автомобиль, легковой или же мотоцикл.

Согласно данным Международной ассоциации производителей автомобилей (ОИСА), ежегодно в мире производится около 165 тыс. транспортных средств. На этапе проектирования, каждое из них претерпевает множество изменений, исходя из потребностей покупателей и общества.

Так, чтобы исполнить все пожелания потребителей и при этом открыть новые границы автомобилей, разрабатываются новые технологии по их модернизации. Перед конструкторами ставится задача по увеличению производительности и достижению экономичности во время эксплуатации. В соответствии с данными интересами непрерывно ведутся работы в области совершенствования эксплуатационных характеристик автомобилей, отдельных узлов, а также трансмиссии в целом.

Одним из перспективных направлений по модернизации автомобилей является нахождение подходящего ряда передаточных чисел агрегатов трансмиссии, которые позволят обеспечить увеличение динамических показателей, а при отсутствии этой необходимости, уменьшение расхода топлива.

Основной целью данной выпускной квалификационной работы является улучшение показателей топливной экономичности легкового автомобиля с бесступенчатой трансмиссией за счет оптимизации передаточных чисел вариатора.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>5</i>

1 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ

1.1 Назначение, состав, виды трансмиссии

«Трансмиссия автомобиля предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к ведущим колесам, изменения их числа оборотов и подводимого к ним крутящего момента по величине и направлению, а также для отсоединения двигателя от ведущих колес» [1].

Конструкции трансмиссии отличаются в зависимости от типа автомобиля, его назначения и взаимного расположения двигателя и ведущих колес. Выделяют три основных компоновки трансмиссии: заднеприводная (или классическая), переднеприводная и полноприводная.

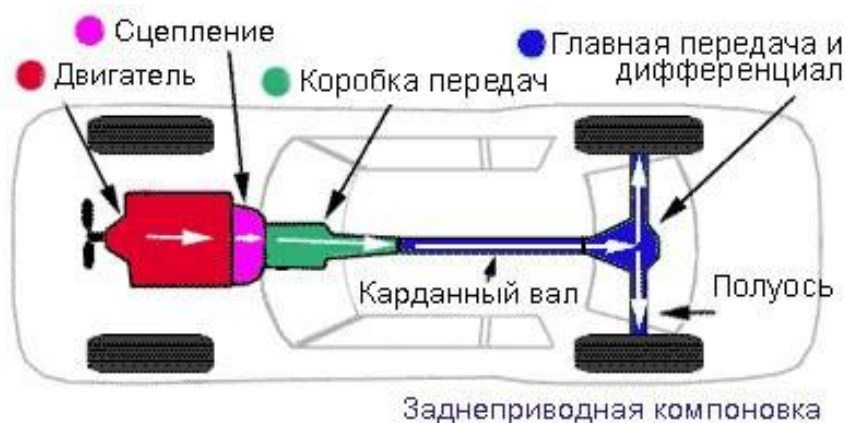


Рисунок 1 – Устройство системы заднего привода

Трансмиссия заднеприводного автомобиля включает в себя:

- сцепление;
- коробку передач;
- карданную передачу;
- главную передачу;
- дифференциал;
- полуоси.

Сцепление служит для отсоединения на непродолжительное время трансмиссии от двигателя и обеспечения плавного включения трансмиссии при трогании автомобиля с места или при переключении передач.

«Коробка передач служит для получения различных тяговых усилий на ведущих колесах путем изменения крутящего момента, передаваемого от двигателя к карданному валу, а также для изменения направления вращения ведущих колес при движении задним ходом и для отключения трансмиссии от двигателя на длительное время» [2].

Требования, предъявляемые к коробкам передач: обеспечение оптимальных тягово-скоростных и топливно-экономических свойств автомобилей при заданных характеристиках двигателя; легкость и удобство управления; бесшумность при работе и переключении передач; высокий КПД; плавность и полнота включе-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

6

ния и выключения передач; надежность конструкции; минимальные масса, габаритные размеры и стоимость.

Современные автомобили могут быть оснащены одним из четырех видов КПП: механическая, автоматическая, роботизированная или вариатор.

Карданная передача служит для передачи крутящего момента от выходного вала коробки передач к заднему мосту при изменяющемся (при движении автомобиля) угле между осями вала коробки переключения передач и ведущего вала главной передачи.

Главная передача позволяет передавать крутящий момент под углом 90 градусов от карданного вала к полуосям, а также уменьшает число оборотов ведущих колес по отношению к числу оборотов карданного вала. Такое уменьшение частоты вращения механизмов трансмиссии после главной передачи позволяет увеличить крутящий момент и, соответственно, увеличить силу тяги на колесах.

Дифференциал обеспечивает возможность вращения правого и левого ведущих колес с разными скоростями на поворотах и неровной дороге. Передача крутящего момента от дифференциала к колесам происходит с помощью двух полуосей, связанных с дифференциалом через полуосевые шестерни.



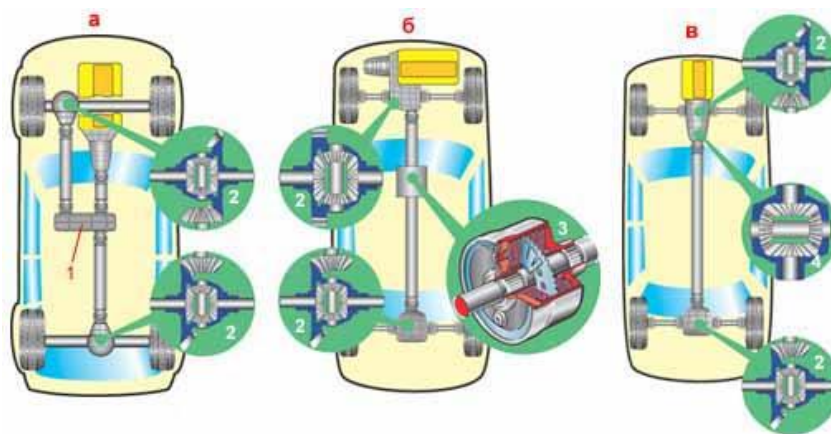
Рисунок 2 – Устройство системы переднего привода

В переднеприводном автомобиле все агрегаты трансмиссии расположены под капотом и объединены в один большой узел агрегатов. Коробка передач включает в себя еще и главную передачу с дифференциалом. Вследствие этого валы привода передних колес выходят именно из картера коробки передач.

Трансмиссия переднеприводного автомобиля состоит из:

- сцепления;
- коробки передач;
- главной передачи;
- дифференциала;
- валов привода передних колес.

Автомобили с полным приводом имеют большое количество схем трансмиссий. Условно их разделяют на три группы: полный привод, подключаемый водителем (рисунок 3, а); полный привод, подключаемый автоматически (рисунок 3, б); постоянный полный привод (рисунок 3, в).



а) б) в)
Рисунок 3 – Устройство системы полного привода

По конструкции трансмиссии делятся на механические, гидрообъемные, электрические, гидромеханические и электромеханические.

По типу преобразования крутящего момента между двигателем и ведущими колесами, трансмиссии подразделяют на ступенчатые, бесступенчатые и комбинированные.

На рисунке 4 представлен характер изменения тяговой силы на ведущий колесах от типа коробки перемены передач в трансмиссии автомобиля [3].

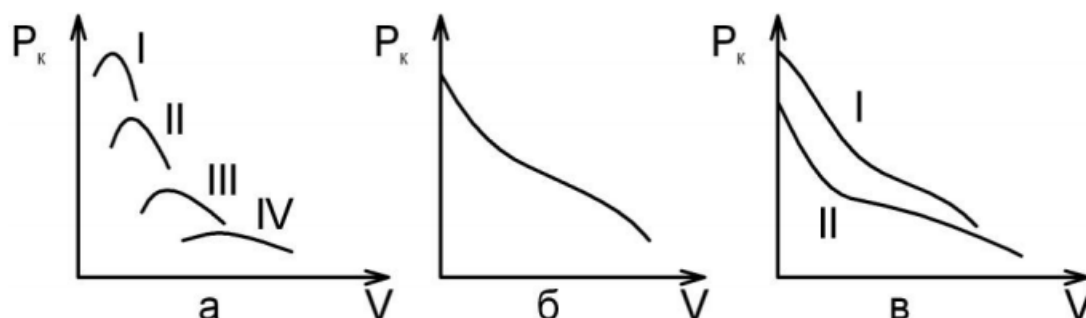


Рисунок 4 – Тяговая характеристика автомобиля:
а – со ступенчатой, б – бесступенчатой, в – гидромеханической коробки передач: I–IV – передачи

Так, механическая ступенчатая коробка передач обеспечивает ступенчатое изменение тяговой силы (рисунок 4, а), бесступенчатая – плавное (рисунок 4, б), а гидромеханическая – и плавное и ступенчатое (рисунок 4, в).

1.2 Механические ступенчатые трансмиссии

Механическая коробка переключения передач относится к ступенчатым коробкам, изменение крутящего момента в ней происходит ступенями. Ступенью (или передачей) называют пару взаимодействующих шестерен. Каждая из ступеней обеспечивает вращение с определенной угловой скоростью, то есть имеет пе-

редаточное число [4]. Отношение числа зубьев ведомого зубчатого колеса к числу зубьев ведущей шестерни называют передаточным числом. На каждой из ступеней коробки передач свои передаточные числа. У высшей ступени наименьшее передаточное число, у низшей ступени – наибольшее.

В зависимости от числа ступеней существуют четырехступенчатые, пятиступенчатые, шестиступенчатые коробки передач, а также и выше. На современных автомобилях наиболее популярной является пятиступенчатая коробка передач.

Из всего многообразия конструкций механических коробок переключения передач можно выделить коробки двух основных видов: трехвальные и двухвальные. Трехвальная коробка передач применяется, как правило, на заднеприводных автомобилях. Двухвальная механическая коробка переключения передач устанавливается на переднеприводные легковые автомобили. Схема коробки перемены передач каждого типа имеет свои принципиальные отличия.

«Механические ступенчатые трансмиссии являются наиболее простыми, имеют наименьшую стоимость, высокую надежность и КПД» [4]. Эти особенности позволяют им оставаться одними из самых популярных среди автолюбителей.

Недостатками таких трансмиссий является разрыв потока мощности, поступающей от двигателя к ведущим колесам при переключении передач, ступенчатость передаточного числа, и как следствие, более низкая плавность хода автомобиля, а также сложность управления при большом количестве числа ступеней коробки перемены передач.



Рисунок 5 – Схема механической коробки передач

1.3 Гидромеханическая трансмиссия

Гидромеханическая трансмиссия считается наиболее распространенной среди устройств изменения крутящего момента, применяемых в автоматической трансмиссии автомобиля. Она включает в себя механическую коробку переключения передач, гидротрансформатор и систему управления. На гидромеханических коробках, устанавливаемых на переднеприводные легковые автомобили, в конструкцию включены главная передача и дифференциал [5].

Гидротрансформатор (рисунок 6) – это гидравлический механизм, размещенный между двигателем и механической коробкой передач. Он состоит из трех колес с лопатками – насосного (ведущего), турбинного (ведомого) и реактора.

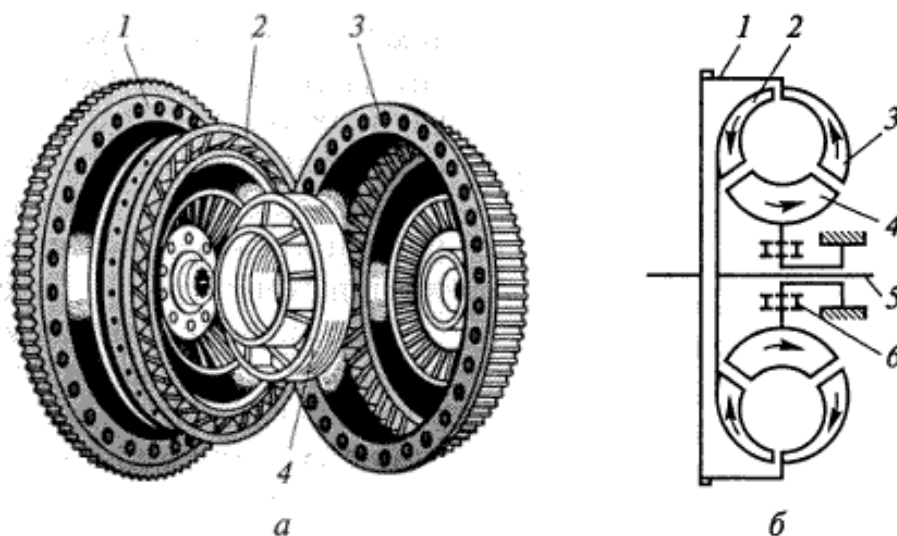


Рисунок 6 – Устройство гидротрансформатора: *а* – общий вид; *б* – схема; 1 – маховик; 2 – турбинное колесо; 3 – насосное колесо; 4 – реактор; 5 – вал; 6 – муфта

Насосное колесо 3 закреплено на маховике 1 двигателя и образует корпус гидротрансформатора, внутри которого размещены турбинное колесо 2, соединенное с первичным валом 5 коробки перемены передач, и реактор 4, который установлен на роликовой муфте 6 свободного хода. Внутренняя полость гидротрансформатора на 3/4 своего объема заполнена специальным маслом малой вязкости.

При работающем двигателе происходит вращение насосного колеса вместе с маховиком двигателя. К наружной части насосного колеса поступает масло под действием центробежной силы, которое затем воздействует на лопатки турбинного колеса и приводит его во вращение. Из турбинного колеса масло поступает в реактор, обеспечивающий плавный и безударный вход жидкости в насосное колесо и существенно увеличивающий крутящий момент. Таким образом, масло циркулирует по замкнутому кругу, обеспечивая передачу крутящего момента в гидротрансформаторе.

Главным свойством трансформатора является бесступенчатое и автоматическое, в зависимости от нагрузки на ведущих колесах автомобиля, изменение (преобразование) крутящего момента, передаваемого от двигателя к трансмиссии. Одновременно происходит изменение частоты вращения валов. В гидромеханической трансмиссии преобразование и передача мощности происходят за счет динамического (скоростного) напора жидкости.

Автомобили с гидромеханической трансмиссией имеют значительно лучшую проходимость за счет плавного изменения силы тяги на колесах при движении и, особенно, при трогании с места. Существенным преимуществом автомобилей с гидромеханической трансмиссией является возможность движения с очень малы-

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

10

ми скоростями и даже полной остановки машины с работающим двигателем и включенной передачей.

Однако недостатками гидромеханической трансмиссии являются относительно низкий КПД (0,85–0,9), что ухудшает тягово-скоростные свойства и топливную экономичность автомобиля, сложность конструкции, большие масса, габаритные размеры и стоимость.

1.4 Роботизированная трансмиссия

Роботизированная коробка передач (РКПП) состоит из механической коробки передач, а также дополнительных устройств для выжима сцепления, выбора и переключения передачи (рисунок 7). Данные устройства называются актуаторами (актуатор сцепления, актуатор выбора передачи). Также коробка имеет собственную систему управления, которая представляет собой ЭБУ (электронный блок управления) коробкой и ряд электронных датчиков, взаимодействующих с блоком.

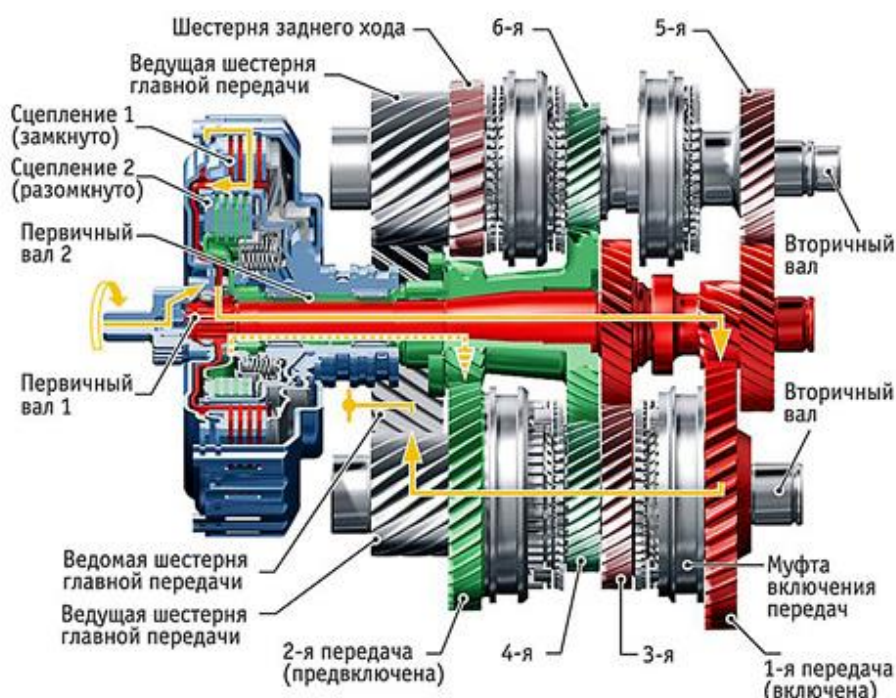


Рисунок 7 – Схема роботизированной коробки передач

Если говорить об устройстве коробки-робота, можно выделить следующие базовые составные элементы:

- коробка передач, которая по устройству напоминает МКПП;
- актуаторы (сервоприводы), отвечающие за выжим сцепления и включение передачи;
- блок управления коробкой (микропроцессорный ЭБУ) и внешние датчики.

Роботизированные коробки передач могут быть оборудованы электрическим или гидравлическим приводом сцепления и передач. В электрическом приводе исполнительными органами являются сервомеханизмы (электродвигатель и механическая передача).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Работа гидравлического привода производится с помощью гидроцилиндров, которые управляются электромагнитными клапанами. В ряде конструкций роботизированных коробок передач с электрическим приводом используется гидромеханический блок с электродвигателем для осуществления перемещения главного цилиндра привода сцепления.

Электрический привод отличается невысокой скоростью работы (время переключения передач 0,3-0,5 с), также меньшее энергопотребление. Гидравлический привод подразумевает постоянное поддержание давления в системе, а значит и большие затраты энергии. Однако он является более быстрым.

Вышеперечисленные качества определяют область применения роботизированных коробок передач с электрическим приводом на бюджетных автомобилях, а с гидравлическим приводом – на более дорогих моделях автомобилей.

Электронная система отвечает за управление роботизированной коробкой передач. В состав данной системы входит электронный блок управления, входные датчики и исполнительные механизмы. Входные датчики отслеживают основные параметры коробки передач: частоту вращения на входе и выходе, положение вилки включения передач, положение селектора, а также давление и температуру масла (для гидравлического привода) и передают их в блок управления.

На основании сигналов входных датчиков электронный блок управления формирует управляющие воздействия на исполнительные механизмы в соответствии с заложенной программой. В роботизированных коробках передач с гидравлическим приводом в систему управления дополнительно включен гидравлический блок управления, который, в свою очередь, обеспечивает управление гидроцилиндрами и давлением в системе.

Роботизированная коробка переключения передач сочетает в себе комфорт автоматической коробки передач, надежность и топливную экономичность механической. По стоимости, она является значительно дешевле классической автоматической коробки передач.

1.5 Бесступенчатые трансмиссии

Бесступенчатая трансмиссия – вид трансмиссии, которая способна плавно изменять коэффициент передачи (отношение скоростей вращения и вращающих моментов двигателя и движителя) во всем рабочем диапазоне скоростей и тяговых усилий.

1.5.1 Гидрообъемная трансмиссия

В гидрообъемной трансмиссии (рисунок 8) двигатель внутреннего сгорания 1 приводит в действие гидронасос 2, соединенный трубопроводами с гидромоторами 3, валы которых связаны с ведущими колесами автомобиля. При работе двигателя гидродинамический напор жидкости, создаваемый гидронасосом в гидромоторах ведущих колес, преобразуется в механическую работу. Ведущие колеса с гидромоторами, установленными в них, называются гидромотор-колесами.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

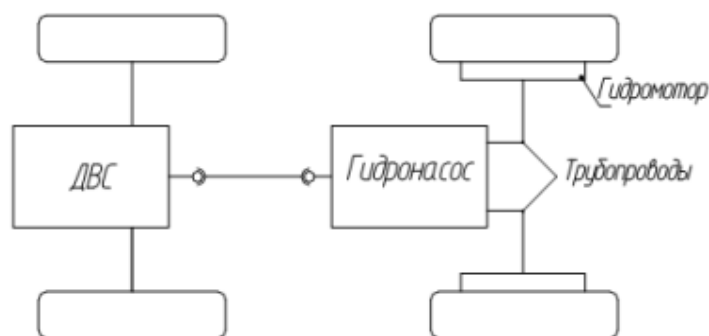


Рисунок 8 – Схема гидрообъемной трансмиссии

Гидрообъемной называют передачу, состоящую из насоса высокого давления, объемного гидродвигателя, соединяющих их трубопроводов и системы подпитки (рисунок 9). В гидрообъемных трансмиссиях основными параметрами, влияющими на преобразование и передачу мощности, являются объем и гидростатическое давление подаваемой жидкости.

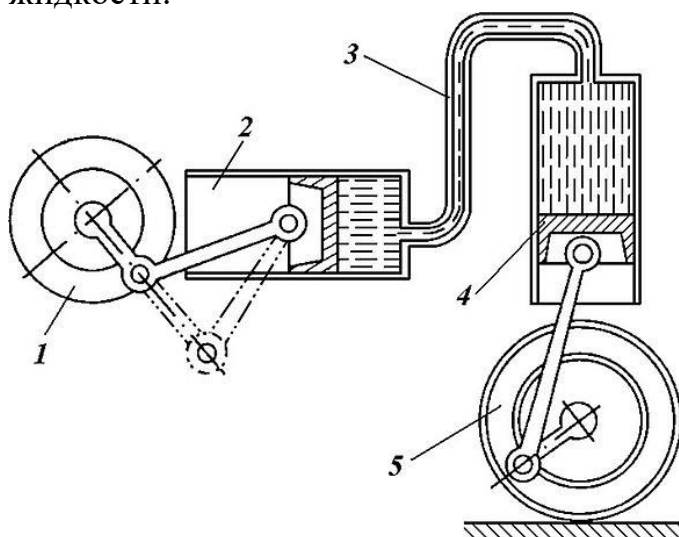


Рисунок 9 – Схема гидрообъемной передачи: 1 – двигатель; 2 – гидронасос; 3 – трубопровод; 4 – гидродвигатель; 5 – колесо

Насос высокого давления 2 приводится в действие от двигателя внутреннего сгорания. В насосе механическая энергия преобразуется в гидростатическую энергию напора рабочей жидкости. По трубопроводу 3 энергия от насоса передается к гидродвигателю 4 и в нем преобразуется в механическую работу. Для того чтобы обеспечить не только передачу мощности, но и осуществлять преобразование крутящего момента, гидронасос или гидродвигатель выполняются регулируемые, т. е. они имеют возможность изменения объема подаваемой рабочей жидкости за один оборот приводного вала. В большинстве случаев регулируемые выполняются гидронасосы, а гидромоторы – нерегулируемыми.

К преимуществам гидрообъемные трансмиссии можно отнести: – высокую компактность при небольшой массе и габаритных размерах, что объясняется полным отсутствием или применением меньшего числа валов, шестерен,

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

муфт и других механических элементов;

– возможность реализации больших передаточных чисел при объемном регулировании;

– малую инерционность, обеспечивающую хорошие динамические свойства машин;

– бесступенчатое регулирование скорости движения и простая автоматизация управления;

– плавность при трогание с места.

К недостаткам гидробъемной трансмиссии относят:

– меньший, по сравнению с механической трансмиссии, коэффициент полезного действия;

– более высокая стоимость;

– отсутствие необходимых материалов для производства надежных уплотнений и трубопроводов высокого давления;

– необходимость использования качественных рабочих жидкостей с высокой степенью чистоты.

Гидробъемные передачи нашли применение в маневровых тепловозах, в строительных и дорожных машинах, в тракторах, комбайнах и некоторых других сельхозмашинах. На автомобилях трансмиссия с активным гидробъемным приводом применяется на автопоездах для привода колес прицепа.

1.5.2 Электрические трансмиссии

Электрическая трансмиссия – это бесступенчатая передача, в которой крутящий момент изменяется плавно, без участия водителя, в зависимости от сопротивления дороги и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

В электрической трансмиссии механическая энергия двигателя преобразуется в генераторе в электрическую, и затем снова преобразуется в механическую в тяговых электродвигателях.

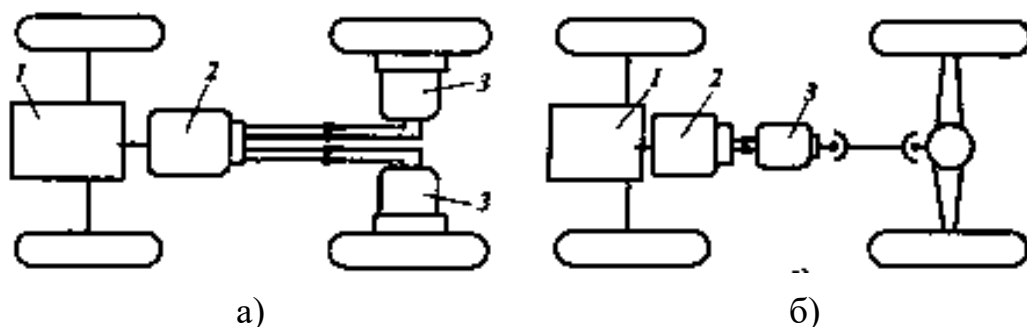


Рисунок 10 – Схемы электрической (а) и электромеханической (б) трансмиссий: 1 – двигатель; 2 – генератор; 3 – электродвигатель

Основными элементами электрической трансмиссии (рисунок 10, а) являются генератор 2, приводимый в действие двигателем внутреннего сгорания 1, и электрические двигатели 3, расположенные непосредственно в ведущих колесах. Генератор и электродвигатели могут устанавливаться друг от друга на необходимом

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

14

по условиям компоновки расстояний, при этом связь между ними осуществляется проводами, по которым передается электроэнергия. Однако в таком виде трансмиссия применяется очень редко. Чаще для увеличения крутящего момента в трансмиссию вводятся элементы механической трансмиссии. При одном тяговом электродвигателе мощность от него к ведущим колесам передают карданная передача и ведущий мост (рисунок 10, б).

При установке электродвигателей в колесах используются планетарные зубчатые редукторы с передаточным числом от 15 до 20.

Колесо с электродвигателем и колесным редуктором называют электромотор-колесом (рисунок 11). Внутри него установлен электродвигатель 1. Крутящий момент от электродвигателя передается к колесу через колесный редуктор 2. При применении быстроходных электродвигателей в ведущих колесах используют понижающие зубчатые передачи.

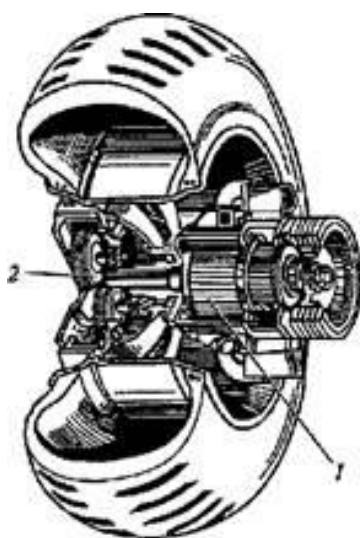


Рисунок 11 – Электромотор-колесо:
1 – электродвигатель; 2 – редуктор

В наше время популярны гибридные автомобили. Toyota продаёт Prius, Volvo Plug-in Hybrid на базе XC90. Существует несколько разновидностей гибридной системы.

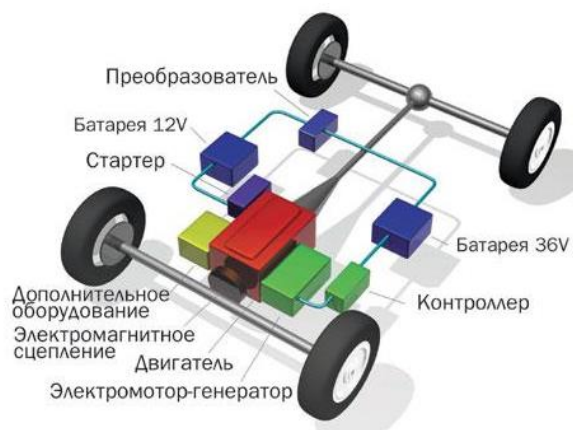


Рисунок 12 – Устройство гибридной трансмиссии

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Мягкий гибрид (Mild Hybrid) – самый популярный тип гибрида на сегодняшний день (рисунок 12). В основе лежит батарея. 48-вольтовая электрическая система выполняет все функции бортовой электросети и обеспечивает работу электромотора. Эта установка добавляет момент при разгоне как с места, так и на трассе, а при сбросе газа она заряжает 48-вольтовую АКБ.

Система имеет массу плюсов: экономия топлива в самых напряжённых режимах работы ДВС, возможность применения крыльчатки наддува с электроприводом (электротурбина) и отсутствие высоковольтной батареи.

Другая разновидность гибрида – розеточный гибрид (Plug-in Hybrid). Такой вид позволяет владельцу подзарядиться от розетки или от розеточной станции и дарит отсутствие ограничений по пробегу от электричества. Большую часть пути можно использовать автомобиль на электротяге, а при падении заряда автоматически включится бензиновый или дизельный двигатель, что позволит продолжить движение.

«Бензин как опция» – один из самых дорогих видов гибридных автомобилей. В этой конфигурации основную нагрузку получает электрический мотор. Бензиновый двигатель тут выполняет функцию «удлинителя», так как подзарядить полноценно аккумулятор он не сможет, максимум до 30%. Таким образом, выполняя роль генератора, ДВС позволит дотянуть до ближайшей электростанции.

Главным преимуществом электрической трансмиссии является бесступенчатое автоматическое изменение ее передаточного числа. Это в свою очередь обеспечивает плавное трогание автомобиля с места, упрощает и значительно облегчает управление автомобилем. Вследствие этого снижается утомляемость водителя, и в результате повышается безопасность движения. Почти все из основных типов гибридных автомобилей позволяют существенно снизить расход топлива в городском цикле, так как большая часть из них могут отключать бензиновый мотор при езде с малой скоростью, например, в пробках.

Не смотря на ряд преимуществ, широкому распространению препятствует отсутствие возможности запасаться электроэнергией в достаточном количестве. Современные аккумуляторные батареи тоже не способны обеспечить электромобиль достаточным запасом энергии. Также, многократное преобразование сопряжено со значительными потерями энергии и снижением КПД. Низкий КПД (порядка 0,75) значительно ухудшает тягово-скоростные свойства автомобиля. К минусам электрических трансмиссии относят большую массу и высокую их стоимость.

1.5.3 Фрикционные механические трансмиссии

1.5.3.1 Назначение и основные элементы вариатора

Бесступенчатое изменение передаваемого крутящего момента позволяют осуществлять так называемые механические вариаторы различных конструкций.

Вариатор (вариаторная коробка передач) – бесступенчатая коробка передач, передающая крутящий момент и способная плавно менять передаточное отношение в некотором диапазоне регулирования.

Принцип работы вариаторов заключается в плавном изменении передаточных

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>16</i>

чисел в механическом редукторе за счет плавного изменения диаметров взаимодействующих колес. Передача крутящего момента происходит с помощью сил трения между ведущими и ведомыми элементами или между этими элементами и промежуточным звеном, которое может быть выполнено в виде дополнительного фрикционного колеса или в виде ремня.

Назначение вариатора:

- передача усилия двигателя к колесам;
- изменение передаточного числа;
- обеспечение плавности движения автомобиля.

Вариаторная коробка перемены передач состоит из следующих узлов и механизмов:

- вариаторная передача;
- узел, служащий для разъединения двигателя с вариатором – нейтральная передача;
- система управления;
- механизм заднего хода.

Для передачи крутящего момента, а также разъединения вариатора от двигателя применяют такие механизмы как:

- центробежное автоматическое сцепление;
- электромагнитное сцепление с электронным управлением;
- многодисковое мокрое сцепление с электронным управлением;
- гидротрансформатор.

Наиболее известное соединение двигателя и вариатора с помощью гидротрансформатора. Гидротрансформатор позволяет обеспечить высокую плавность передачи крутящего момента и, тем самым, продлить срок службы коробке передач.

Электронный блок осуществляет работу вариатора. В его функции входит:

- управление сцеплением;
- изменение передаточного отношения между валами вариатора;
- контролирование работы планетарного редуктора;
- обеспечение действия реверсивного аппарата.

К электронному блоку поступает информация от множества датчиков. Обороты двигателя, давление в шинах, ABS – это одни из показателей, с которыми связана работа данного блока. Информация собирается и фильтруется в аппарате, затем он автоматически настраивается на нужное передаточное число.

Однако вариаторы не могут самостоятельно осуществлять задний ход автомобиля, поэтому для этих целей предусмотрен планетарный редуктор. Принцип действия, которого схож с работой в автоматической коробке перемены передач.

Водитель при управлении транспортом с вариатором проделывает практически те же действия, что и при использовании автоматической коробки передач. Но они немного упрощаются, он выбирает только режим, а остальное выполняет за него удобное устройство вариатора. Также оно позволяет производить некоторые действия, как и в привычных КПП. К примеру, можно зафиксировать определенное передаточное соотношение.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>17</i>

1.5.3.2 Преимущества вариатора

Транспортные средства с подобным типом трансмиссии отличаются:

- 1) возможностью более динамичного разгона (автомобили набирают скорость быстрее в сравнении с авто, оснащенными механическими коробками или коробками-автоматами);
- 2) экономичностью (расход топлива в таких транспортных средствах ниже, чем в автомобилях с автоматическими или механическими коробками);
- 3) отсутствием передач, благодаря чему нет рывков переключения (также положительно влияет на динамичность хода);
- 4) увеличенным ресурсом двигателя (благодаря отсутствию перегрузок);
- 5) простотой управления автомобилем (этот тип коробки передач идеален для новичков).

1.5.3.3 Виды и принцип работы вариатора на автомобиле

При производстве автомобилей используется два варианта различных по устройству механизмов. Один из них является клиноременным, а второй – торoidalными вариаторами, различающимися по конструкции.

1.5.3.3.1 Клиноременный вариатор

Клиноременный вариатор – это наиболее распространенный вид вариатора, используемый компаниями-автопроизводителями (рисунок 12).

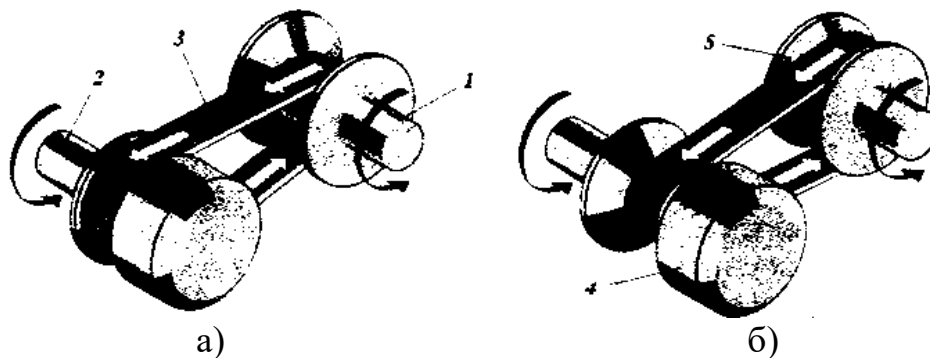


Рисунок 12 – Схема работы клиноременного вариатора: а) – передача с максимальным передаточным числом; б) – передача с минимальным передаточным числом; 1 – ведущий вал; 2 – ведомый вал; 3 – приводной ремень; 4, 5 – подвижные полушкивы

В клиноременном вариаторе имеется одна (реже – две) передача. Ведущий и ведомый валы оснащены шкивами, через которые проходит кольцо клиновидного ремня. Первоначально он изготавливался из армированной резины, в настоящее время при его производстве используются стальные конструкции.

Ведомые и ведущие шкивы представляют собой конусы с наклонными стенками, угол наклона составляет около 70° к оси вала. За счет взаимного перемещения шкивов изменяются радиусы, и, соответственно, передаточное отношение вариатора.

Управляющее усилие, благодаря которому конусы смещаются по отношению друг к другу, достигается за счет пружин, давления жидкости или центробежной силы.

Принцип работы клиноременного вариатора заключается в непрерывном обеспечении передачи мощности, что способствует созданию оптимальных условий для работы двигателя. Ускоряя или, наоборот, замедляя движение, двигатель автомобиля работает на постоянных оборотах. За счет этого существенно экономится топливо, снижается износ и, соответственно, повышается ресурс двигателя.

Из-за значительных нагрузок, испытываемых узлом, клиноременная передача считается самой уязвимой частью этого типа вариатора на автомобиле. На сегодняшний день он представляет собой стальную конструкцию, которая состоит из пакета лент, соединенных друг с другом за счет пластин сложной формы.

Возникающее трение в этом случае обеспечивает передачу усилия на всей площади, на которой боковая поверхность ремня контактирует со шкивом.

1.5.3.3.2 Клиноцепной вариатор

Второй тип автомобильного вариатора, называемый клиноцепным (рисунок 13), конструктивно представляет собой стальную цепь, каждое звено которой состоит из нескольких пластинок. Они соединяются за счет цилиндрических втулок-осей, обеспечивающих минимальный радиус изгиба.



Рисунок 13 – Клиноцепной вариатор

Усилие передается благодаря контакту боковой части цепи и рабочих поверхностей конусовидных дисков.

Поскольку площадь соприкосновения незначительна, это сказывается на увеличивающихся нагрузках на детали, изготовленные из высокопрочной стали. Клиноцепной тип вариатора отличается большим КПД в сравнении с прочими аналогичными конструкциями.

Стоимость его также выше, поскольку при его изготовлении используются более дорогостоящие материалы, чем при производстве клиноременного вариатора.

Рассказывая о том, что такое вариаторы на автомобиле, следует отметить, что особенности их конструкции не позволяют механизму вращаться в обратном на-

правлении, обеспечивая задний ход автомобиля. Эта задача решается за счет дополнительного приспособления, в основном трансмиссия оснащается шестеренчатым редуктором планетарного типа. Его принцип действия схож с принципом действия такого же устройства автоматической коробки передач.

1.5.3.3 Тороидный вариатор

Конструкция тороидного вариатора на автомобиле состоит из двух соосных дисков: ведущего и ведомого (рисунок 14). В сечении они представляют собой равнобедренные треугольники, боковые стороны которых входят в состав окружности.

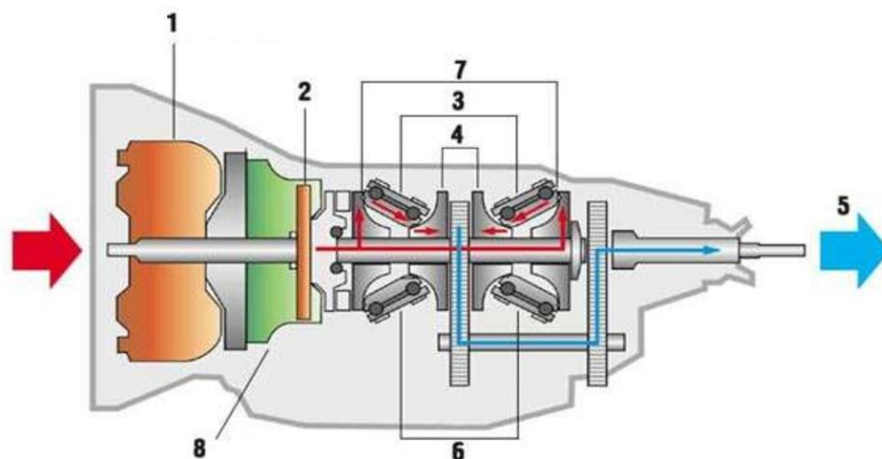


Рисунок 14 – Тороидный вариатор: 1 – гидротрансформатор, 2 – шестерни заднего хода, 3 – ведущие диски, 4 – ролики, 5 – ведомые диски, 6 – насос

Между рабочими дисками расположены два плотно прижатых к ним боковыми частями ролика. Эти детали являются подвижными, способными менять положение за счет синхронного раскачивания вокруг осей, которые перпендикулярны основному валу.

Сила трения, возникающая в зоне контакта, обеспечивает передачу усилия через ролики. При изменении соотношения радиусов частота вращения ведомого вала увеличивается либо уменьшается.

Этим типом вариаторов оборудуются мощные заднеприводные модели. Механизм соединен с планетарным понижающим редуктором, при движении автомобиля на больших скоростях крутящий момент передается напрямую. Переднеприводные транспортные средства оснащаются трансмиссией, совмещенной с дифференциалом и главной передачей.

Выводы по разделу один

В ходе анализа существующих трансмиссий и коробок перемены передач, наибольшим числом преимуществ обладают бесступенчатые трансмиссии с вариатором.

Вариаторные системы управления оперируют частотой вращения двигателя. Более независимое отношение между скоростью вращения коленчатого вала двигателя и скоростью транспортного средства в вариаторе по сравнению с другими типами трансмиссий позволяет работать двигателю при более постоянных условиях или сохранять оптимальный режим при изменении условий движения. Свобода выбора различных отношений между положением дроссельной заслонки и частотой вращения вала двигателя предоставляет возможность оптимизации расхода топлива, уровня выбросов, характеристик и удобства вождения.

Популярные бренды производителей автомобилей считают, что вариатор – это одно из самых перспективных направлений развития. «Вариатор даёт новые возможности», – заявил Макс Уэлти (Max Welty), директор гоночного отдела «Porsche», – «Он позволяет вам ехать и ускоряться, постоянно задействуя полную мощность. Мы считаем, что вариатор предлагает лучшую возможность разрешения конфликта между большой мощностью и экономией топлива. Я убеждён, что будущее за вариатором, – не только в гоночных автомобилях, а и в серийных моделях тоже».

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		21

2 ТЯГОВО-ДИНАМИЧЕСКИЙ И ТОПЛИВНО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ АВТОМОБИЛЯ

Расчеты произведены в соответствии с методикой расчетов тягово-динамических свойств автомобиля [6].

2.1 Исходные данные

Техническое задание:

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

Формирование параметров:

прототип – ВАЗ-2108 с механической коробкой переключения передач (рисунок 15):

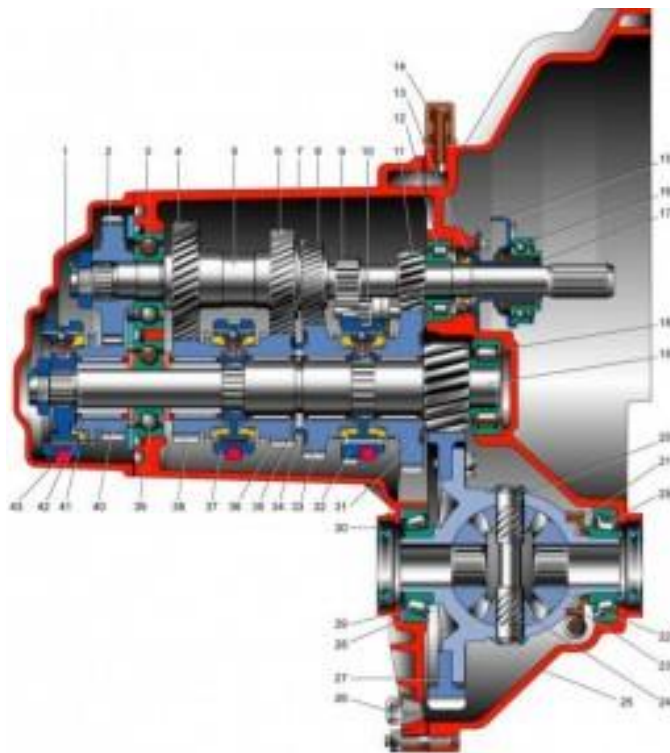


Рисунок 15 – КПП ВАЗ-2108

- снаряженная масса автомобиля $m_a = 1370$ кг;
- максимальная скорость $V = 150$ км/ч;
- максимальная мощность двигателя $N_{max} = 66,7$ кВт;
- рабочий объём (литраж) двигателя $V_h = 1,5$ л;
- распределение по осям автомобиля П/З=60/40;
- КПД трансмиссии $\eta_{тр} = 0,86$;
- передаточные числа МКПП: $i_1 = 3,636$; $i_2 = 1,96$; $i_3 = 1,367$; $i_4 = 0,941$; $i_5 = 0,784$;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

22

- передаточное число главной передачи $i_0 = 3,94$;
- радиус колеса $r_k = 0,23$ м.

2.2 Определение полной массы и развесовки автомобиля по осям

Полную массу автомобиля рассчитывают по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_ч + m_б)n \quad (2.1)$$

- где m_a – полная масса автомобиля, кг;
 m_0 – масса снаряженного автомобиля, $m_0 = 970$ кг;
 $m_ч$ – масса водителя или пассажира, $m_ч = 70$ кг;
 n – число мест для сидения, $n = 5$;
 $m_б$ – масса багажа на одного человека ($m_б = 10$ кг);

$$m_a = 970 + (70 + 10)5 = 1370 \text{ кг.}$$

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

$$m_{п} = 0,6m_a, \quad (2.2)$$

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

$$m_{п} = 0,6 \cdot 1370 = 822 \text{ кг,}$$

Соответственно на заднюю ось приходится оставшая часть нагрузки, численно равная:

$$m_з = m_a - m_{п}, \quad (2.3)$$

- где $m_з$ – масса приходящаяся на заднюю ось автомобиля, кг;
 $m_{п}$ – масса приходящаяся на переднюю ось автомобиля, кг;
 m_a – полная масса автомобиля, кг,

тогда:

$$m_з = 1370 - 822 = 548 \text{ кг.}$$

Каждая из трансмиссий имеет ряд преимуществ и недостатков. Для проведения оптимизации передаточных чисел, была взята механическая трансмиссия.

Главными её недостатками являются неплавный переход с одной скорости на другую и большой расход мощности двигателя. В ходе проведения тягово-динамического расчета были получены следующие результаты.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		23

2.3 Построение внешней скоростной характеристики

Внешняя скоростная характеристика двигателя – это зависимость эффективной мощности N_e и крутящего момента M_e от частоты вращения коленчатого вала при полной подаче топлива. Эффективной называют мощность, которая развивается на коленчатом валу двигателя. Внешняя скоростная характеристика определяет возможности двигателя и характеризует его работу. По данной характеристике определяют техническое состояние двигателя. Она позволяет сравнивать различные типы двигателей и судить о совершенстве новых двигателей. Внешняя скоростная характеристика может быть получена из решения следующей эмпирической формулы:

$$N_m = N_{max} \left[a \frac{n_m}{n_N} + b \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^2 - c \left(\frac{n_m}{n_N} \right)^3 \right], \quad (2.4)$$

где N_m – текущее значение мощности, кВт;

N_{max} – максимальная мощность двигателя, кВт;

n_m – текущее значение числа оборотов вала двигателя, мин⁻¹;

n_N – частота вращения коленчатого вала при максимальной мощности, мин⁻¹;

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

$$n_m = 800, \text{ мин}^{-1}; \quad n_N = 5600, \text{ мин}^{-1}.$$

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:

$$M_m = \frac{1000N_m}{\omega_m} = 1000N_m \left(\frac{30}{\pi n_m} \right), \quad (2.5)$$

$$M_m = \frac{30000N_m}{\pi n_m} = 9550 \left(\frac{N_m}{n_m} \right), \quad (2.6)$$

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

M_m – текущее значение крутящего момента, Нм.

Результаты расчёта занесены в таблицу 1.

Таблица 1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

Частота вращения коленчатого вала n_m , мин ⁻¹	Мощность N_m , кВт	Крутящий момент M_m , Нм
800	10,70	127,68
1280	17,93	133,80

Окончание таблицы

1760	25,48	138,26
2240	33,08	141,05
2720	40,49	142,16
3200	47,45	141,60
3680	53,71	139,38
4160	59,01	135,48
4640	63,12	129,90
5120	65,76	122,66
5600	66,70	113,75
6080	65,68	103,16
6560	62,44	90,91

График зависимости $N_m = f(n_m)$ и $M_m = f(n_m)$ представлен на рисунке 16.

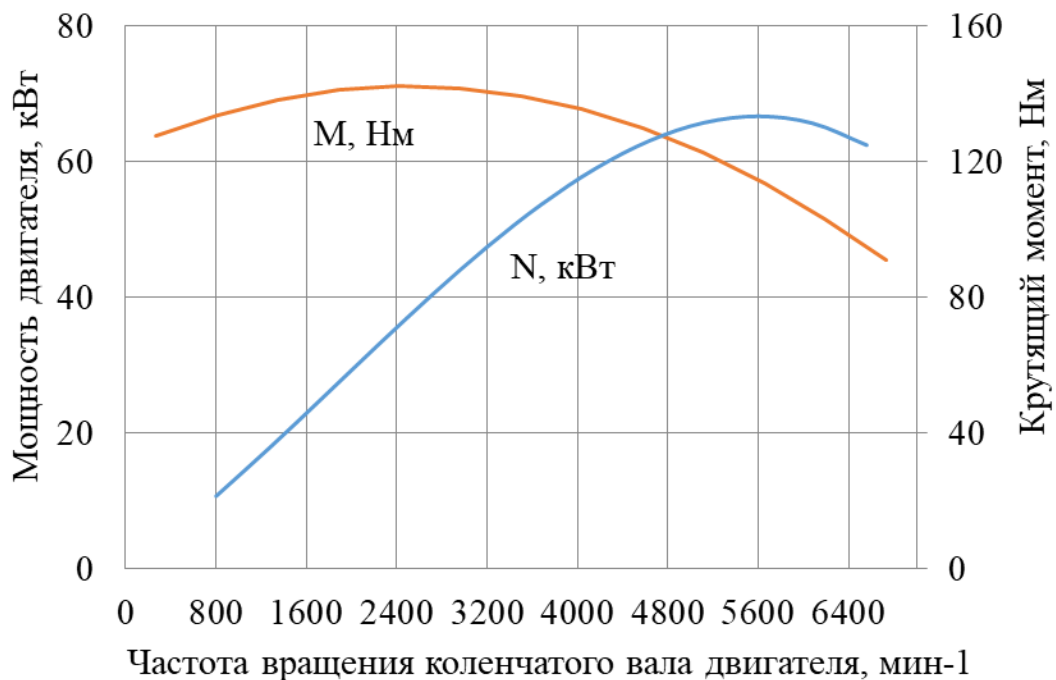


Рисунок 16 – Внешняя скоростная характеристика

2.4 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:

Сила тяги на колесе

$$P_k = \frac{M_m i_{тр} \eta_{тр}}{r_d}, \quad (2.7)$$

где P_k – сила тяги на колесе, Н;

$i_{тр}$ – передаточное число трансмиссии при наличии коробки передач и главной передачи;

$$i_{тр} = i_k i_0; \quad (2.8)$$

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;

M_m – текущее значение крутящего момента, Нм;

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

Скорость движения

$$V = 0,376 \frac{r_k n_m}{i_{тр}}, \quad (2.9)$$

где V – скорость движения, км/ч;

n_m – текущее значение числа оборотов вала двигателя, мин⁻¹.

Сила сопротивления дороги

$$P_{\psi} = \psi G_a, \quad (2.10)$$

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

G_a – полный вес автомобиля, Н;

ψ – коэффициент сопротивления дороги.

$$\psi = f = f_0(1 + k_1 V^2) \text{ при } \alpha = 0, \quad (2.11)$$

где f_0 – табличное значение коэффициента сопротивления дороги;

V – текущая скорость движения, км/ч.

$$f_0 = (0,012 \dots 0,015),$$

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

Сила сопротивления воздуха

$$P_w = \frac{k F V^2}{13} (1 + k_3 \Pi), \quad (2.12)$$

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:

$$k_3 = (0,4 \dots 0,5).$$

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		26

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

$$kF = (0,6 \dots 0,7).$$

Динамический фактор:

$$D = \frac{P_k - P_w}{G_a}, \quad (2.13)$$

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:

$$a = \arcsin \left(\frac{D - f \sqrt{1 - D^2 + f^2}}{1 + f^2} \right). \quad (2.14)$$

Полученные значения внесем в таблицу 2.

Таблица 2 – Тяговая и динамическая характеристики автомобиля с МКПП

n , мин ⁻¹	M_m , Нм	V , м/с	V , км/ч	P_k , Н	P_w , Н	D	Ψ	a , °	P_{Ψ} , Н
Движение на первой передаче									
800	127,68	1,40	5,00	7216,56	1,15	0,537	0,01201	31,83	161,27
1280	133,80	2,24	8,00	7562,95	2,96	0,563	0,01203	33,59	161,52
1760	138,26	3,08	11,01	7814,87	5,59	0,582	0,01206	34,89	161,89
2240	141,05	3,92	14,01	7972,33	9,06	0,593	0,01209	35,70	162,38
2720	142,16	4,76	17,01	8035,31	13,35	0,597	0,01214	36,01	162,98
3200	141,60	5,60	20,01	8003,82	18,48	0,595	0,01219	35,81	163,69
3680	139,38	6,44	23,01	7877,85	24,44	0,585	0,01225	35,11	164,52
4160	135,48	7,28	26,01	7657,42	31,23	0,568	0,01232	33,92	165,47
4640	129,90	8,12	29,01	7342,52	38,85	0,544	0,01240	32,26	166,54
5120	122,66	8,96	32,02	6933,14	47,31	0,513	0,01249	30,15	167,72
5600	113,75	9,80	35,02	6429,30	56,59	0,475	0,01259	27,63	169,01
6080	103,16	10,28	36,70	6040,03	62,17	0,445	0,01265	25,73	169,79
6560	90,91	11,09	39,60	5322,40	72,38	0,391	0,01275	22,30	171,22
Движение на второй передаче									
800	127,68	2,14	7,64	4727,55	2,69	0,352	0,01203	19,93	161,49
1280	133,80	3,42	12,22	4954,47	6,89	0,369	0,01207	20,94	162,07
1760	138,26	4,70	16,80	5119,51	13,03	0,380	0,01214	21,67	162,93
2240	141,05	5,99	21,38	5222,65	21,10	0,387	0,01222	22,11	164,06
2720	142,16	7,27	25,96	5263,91	31,11	0,390	0,01232	22,24	165,46

Продолжение таблицы

3200	141,60	8,55	30,54	5243,28	43,06	0,387	0,01245	22,09	167,12
3680	139,38	9,84	35,13	5160,76	56,95	0,380	0,01259	21,63	169,06
4160	135,48	11,12	39,71	5016,36	72,77	0,368	0,01276	20,89	171,27
4640	129,90	12,40	44,29	4810,07	90,54	0,352	0,01294	19,85	173,75
5120	122,66	13,68	48,87	4541,88	110,24	0,330	0,01315	18,53	176,50
5600	113,75	14,97	53,45	4211,82	131,87	0,304	0,01337	16,94	179,53
6080	103,16	19,06	68,09	3255,90	213,96	0,227	0,01423	12,29	190,99
6560	90,91	20,57	73,46	2869,06	249,08	0,195	0,01459	10,43	195,89
Движение на третьей передаче									
800	127,68	2,93	10,45	3454,35	5,04	0,257	0,01205	14,21	161,82
1280	133,80	4,68	16,72	3620,15	12,90	0,269	0,01213	14,90	162,91
1760	138,26	6,44	22,99	3740,74	24,40	0,277	0,01225	15,38	164,52
2240	141,05	8,19	29,26	3816,11	39,52	0,281	0,01241	15,64	166,63
2720	142,16	9,95	35,53	3846,26	58,27	0,282	0,01261	15,68	169,25
3200	141,60	11,70	41,80	3831,18	80,65	0,279	0,01284	15,50	172,37
3680	139,38	13,46	48,07	3770,89	106,66	0,273	0,01311	15,10	176,01
4160	135,48	15,22	54,34	3665,37	136,30	0,263	0,01342	14,48	180,14
4640	129,90	16,97	60,61	3514,64	169,57	0,249	0,01376	13,65	184,79
5120	122,66	18,73	66,88	3318,68	206,47	0,232	0,01415	12,61	189,94
5600	113,75	20,48	73,16	3077,51	247,00	0,211	0,01457	11,35	195,60
6080	103,16	27,33	97,62	2270,83	439,86	0,136	0,01657	6,91	222,53
6560	90,91	29,49	105,33	2001,03	512,06	0,111	0,01733	5,39	232,61
Движение на четвертой передаче									
800	127,68	3,99	14,26	2530,75	9,39	0,188	0,0121	10,14	162,42
1280	133,80	6,39	22,82	2652,23	24,04	0,196	0,01225	10,60	164,47
1760	138,26	8,79	31,38	2740,57	45,45	0,201	0,01247	10,88	167,46
2240	141,05	11,18	39,94	2795,79	73,63	0,203	0,01277	10,98	171,39
2720	142,16	13,58	48,50	2817,88	108,57	0,202	0,01313	10,90	176,27
3200	141,60	15,98	57,06	2806,83	150,26	0,198	0,01356	10,65	182,09
3680	139,38	18,37	65,62	2762,66	198,72	0,191	0,01407	10,22	188,86
4160	135,48	20,77	74,18	2685,36	253,95	0,181	0,01464	9,61	196,57
4640	129,90	23,17	82,74	2574,92	315,93	0,168	0,01529	8,83	205,23
5120	122,66	25,56	91,29	2431,36	384,68	0,152	0,016	7,87	214,82
5600	113,75	27,96	99,85	2254,67	460,18	0,134	0,01679	6,74	225,37
6080	103,16	39,71	141,82	1563,17	928,27	0,047	0,02165	1,50	290,73
6560	90,91	42,84	153,01	1377,44	1080,63	0,022	0,02324	0,53	312,00
Движение на пятой передаче									
800	127,68	6,27	10,70	23,15	164,34	1,031	0,145	10,11	9,223
1280	133,80	10,03	17,93	59,27	169,39	1,700	0,595	16,95	15,844
1760	138,26	13,80	25,48	112,06	176,76	2,439	1,546	24,08	23,189
2240	141,05	17,56	33,08	181,51	186,46	3,274	3,187	31,27	31,180
2720	142,16	21,32	40,49	267,64	198,48	4,232	5,707	38,27	39,741
3200	141,60	25,08	47,45	370,44	212,84	5,339	9,292	44,84	48,797
3680	139,38	28,85	53,71	489,90	229,52	6,621	14,133	50,76	58,270

Окончание таблицы

4160	135,48	32,61	59,01	626,04	248,53	8,105	20,415	55,77	68,084
4640	129,90	36,37	63,12	778,84	269,86	9,816	28,329	59,65	78,164
5120	122,66	40,14	65,76	948,32	293,53	11,781	38,062	62,15	88,432
5600	113,75	43,90	66,70	1134,46	319,52	14,026	49,801	63,04	98,813

Строим графики зависимостей $P_k = f(V)$; $P_w = f(V)$ (рисунок 17).

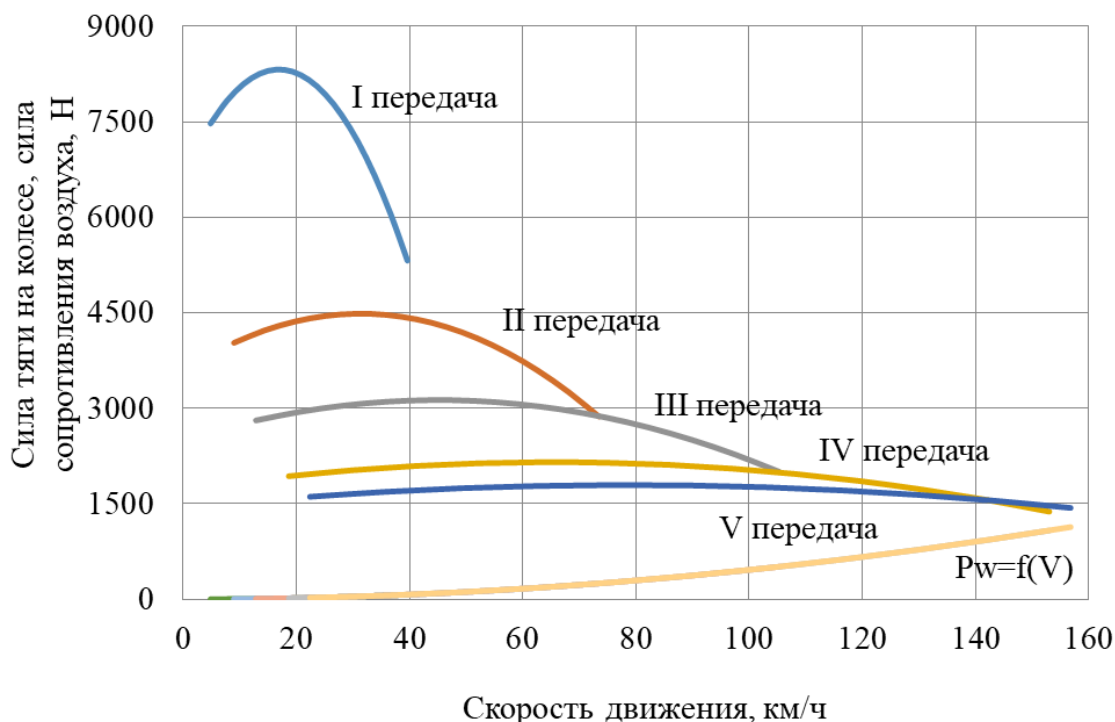


Рисунок 17 – Тяговый баланс автомобиля ВАЗ-2108

2.5 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:

$$j = (D - \psi) \frac{g}{\delta}, \quad (2.15)$$

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):

$$\delta = 1 + \frac{J_m i_k^2 i_{дв}^2 i_0^2 \eta_{тр}}{r_d r_k G_a} + \frac{\sum J_k g}{r_d r_k G_a}, \quad (2.16)$$

где J_m – момент инерции вращающихся масс двигателя, Нмс²:

$$J_m = (0,1 \dots 0,5).$$

$\sum J_k$ – суммарный момент инерции колес, Нмс²:

$$\sum J_k = (2,5 \dots 5,0);$$

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/с²;

r_d – динамический радиус колеса, м;

r_k – радиус качения колеса, м;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии.

$$\delta_1 = 1 + \frac{0,1 \cdot 3,51^2 \cdot 3,94^2 \cdot 0,94}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} + \frac{2,5 \cdot 9,8}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} = 1,059;$$

$$\delta_2 = 1 + \frac{0,1 \cdot 2,3^2 \cdot 3,94^2 \cdot 0,94}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} + \frac{2,5 \cdot 9,8}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} = 1,045;$$

$$\delta_3 = 1 + \frac{0,1 \cdot 1,68^2 \cdot 3,94^2 \cdot 0,94}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} + \frac{2,5 \cdot 9,8}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} = 1,040;$$

$$\delta_4 = 1 + \frac{0,1 \cdot 1,23^2 \cdot 3,94^2 \cdot 0,94}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} + \frac{2,5 \cdot 9,8}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} = 1,038;$$

$$\delta_5 = 1 + \frac{0,1 \cdot 0,82^2 \cdot 3,94^2 \cdot 0,94}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} + \frac{2,5 \cdot 9,8}{0,23 \cdot 0,23 \cdot 13426} = 1,036.$$

Полученные значения ускорений внесем в таблицу 3.

Таблица 3 – Ускорение и обратное ускорения автомобиля с МКПП

$J_1,$ 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
5,041	0,198	2,699	0,370	1,853	0,540	1,234	0,810	1,004	0,996
5,287	0,189	2,830	0,353	1,939	0,516	1,279	0,782	1,029	0,972
5,464	0,183	2,921	0,342	1,993	0,502	1,298	0,771	1,026	0,974
5,574	0,179	2,974	0,336	2,018	0,495	1,289	0,776	0,995	1,005
5,616	0,178	2,987	0,335	2,013	0,497	1,253	0,798	0,936	1,068
5,590	0,179	2,962	0,338	1,977	0,506	1,189	0,841	0,849	1,178
5,496	0,182	2,898	0,345	1,911	0,523	1,099	0,910	0,733	1,365
5,333	0,188	2,794	0,358	1,815	0,551	0,982	1,018	0,589	1,698
5,103	0,196	2,652	0,377	1,689	0,592	0,838	1,194	0,417	2,400
4,804	0,208	2,471	0,405	1,532	0,653	0,666	1,501	0,216	4,628
4,438	0,225	2,251	0,444	1,346	0,743	0,468	2,138	-	-
4,003	0,250	1,991	0,502	1,129	0,886	0,242	4,132	-	-
3,501	0,286	1,693	0,591	0,882	1,134	-	-	-	-

Строим кривые зависимости ускорений и обратных ускорений автомобиля от скорости движения (рисунок 18 и рисунок 19).

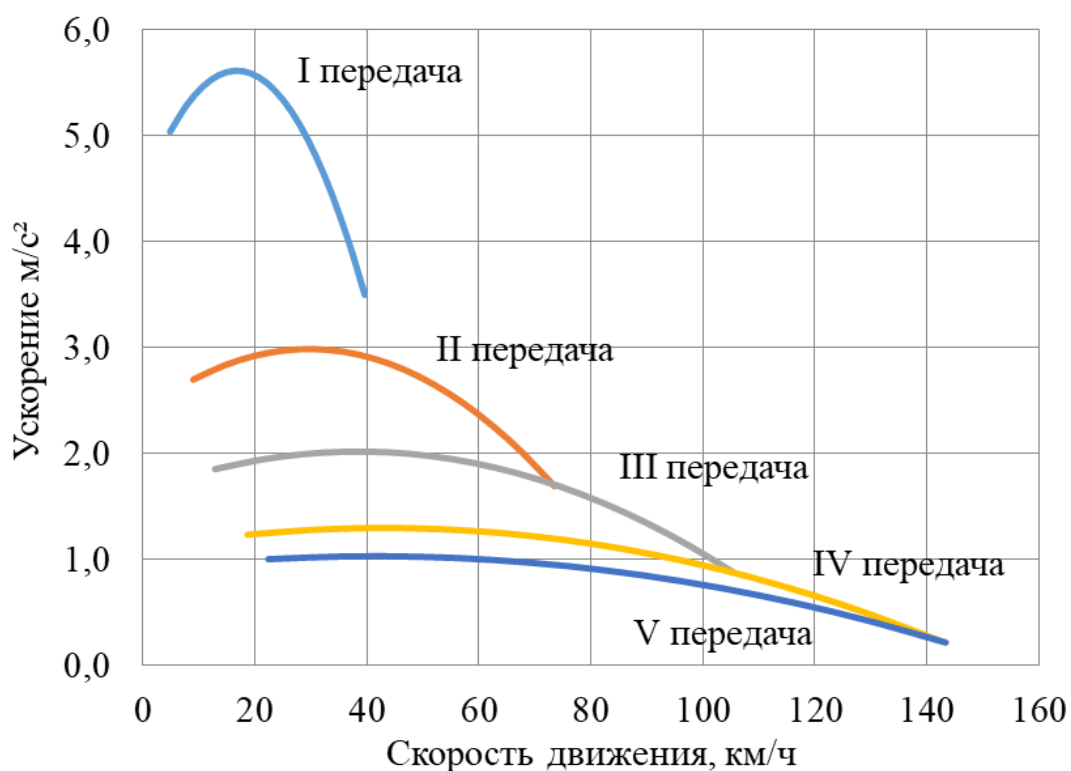


Рисунок 18 – График ускорений трансмиссии ВАЗ-2108

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

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

31

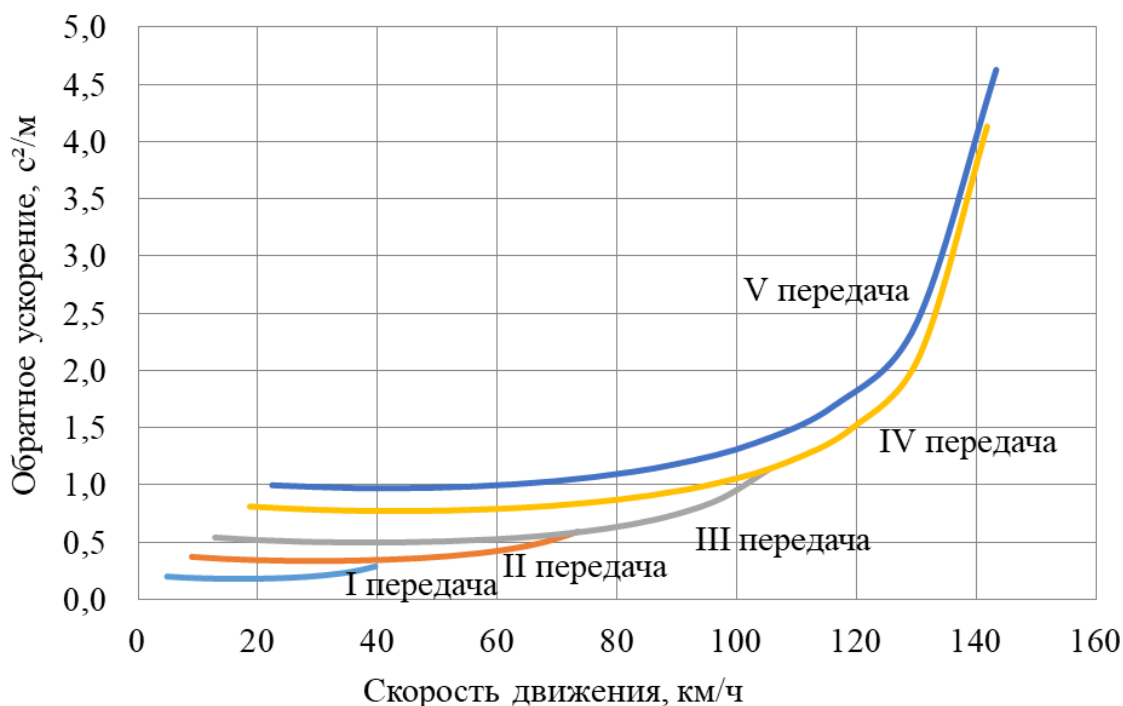


Рисунок 19 – График обратных ускорений автомобиля ВАЗ-2108

2.6 Определение пути и времени разгона

Ускорение, характеризует способность автомобиля к быстрому разгону, но 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 графоаналитическим методом.

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.

$$\frac{1}{j_{\text{cp}}} = \frac{\frac{1}{j_1} + \frac{1}{j_2}}{2}, \quad (2.17)$$

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:

$$t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6j_{\text{cp}}}, \quad (2.18)$$

где t_1 – время, с;

V_1 – скорость в начале интервала, м/с;

V_2 – скорость в конце интервала, м/с;

j_{cp} – ускорение, м/с².

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

Путь разгона определяют из соотношения:

$$V = \frac{dS}{dt}, \quad (2.19)$$

Данный 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

$$V_{cp} = \frac{V_1 + V_2}{2}, \quad (2.20)$$

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 :

$$S_1 = (t_2 - t_1) \frac{V_{cp}}{3,6}, \quad (2.21)$$

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 4.

Таблица 4 – Определение времени и пути разгона автомобиля

V , км/ч	t , с	S , м	j_{cp}	V_{cp}
0	0,00	0,00	0	0
5	0,18	0,13	0,13	2,5
15	0,86	2,02	0,245	10
25	1,52	5,67	0,237	20
35	2,29	12,06	0,276	30
45	3,23	22,49	0,338	40
55	4,46	39,66	0,445	50
65	5,95	64,20	0,53	60
75	7,81	100,77	0,677	70

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

Окончание таблицы

85	9,84	145,83	0,73	80
95	12,65	216,11	1,012	90
105	16,36	319,11	1,335	100
115	20,65	450,25	1,545	110
125	25,90	625,25	1,89	120
135	32,78	873,51	2,475	130
145	47,01	1427,14	5,125	140
150	60,07	1962,05	9,4	147,5

По найденным значениям построим график $S = f(V)$ и $t = f(V)$ (рисунок 20 и рисунок 21).

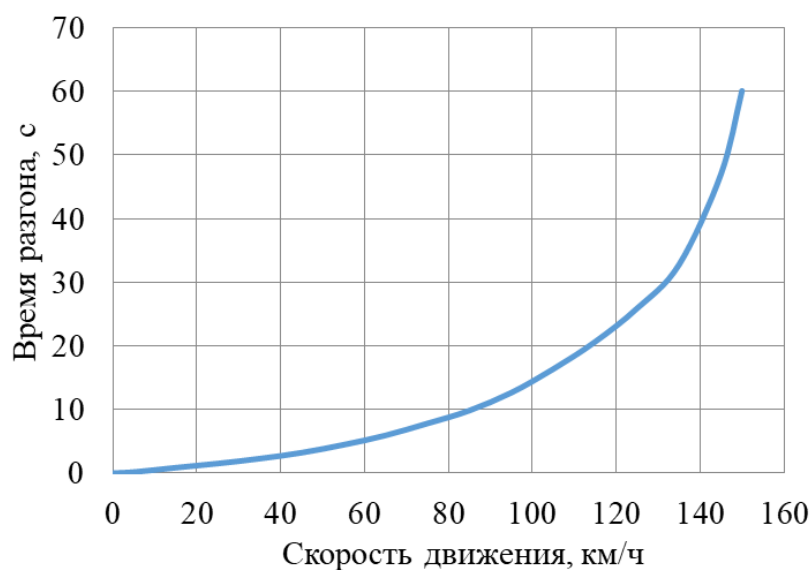


Рисунок 20 – Время разгона автомобиля

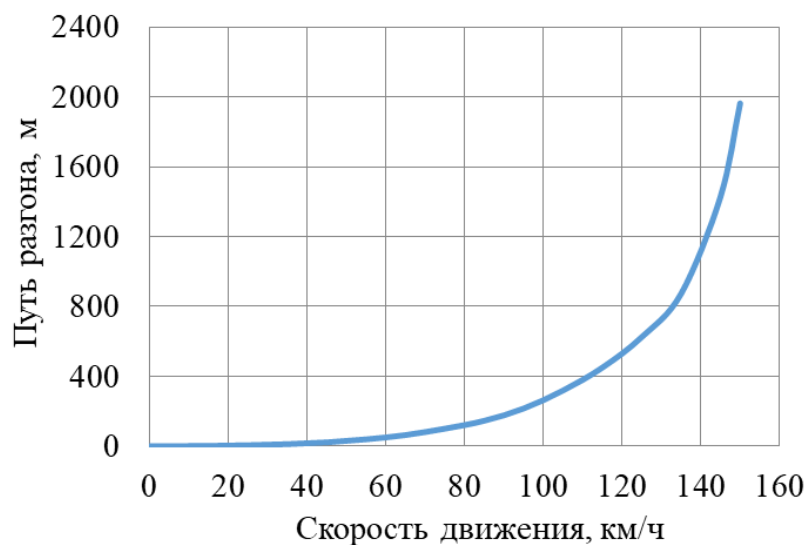


Рисунок 21 – Путь разгона автомобиля

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

2.7 Мощностной баланс

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

$$N_k = N_m \eta_{тр} = N_\psi + N_\omega + N_j, \quad (2.22)$$

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.

Мощность на преодоление сопротивления воздуха:

$$N_\omega = \frac{P_w V_{м/с}}{1000}, \quad (2.23)$$

Мощность на преодоление сопротивления дороги:

$$N_\psi = \frac{P_\psi V_{м/с}}{1000}, \quad (2.24)$$

Разность мощности, подводимая к ведущим колесам есть:

$$N_j = N_k - (N_\psi + N_\omega). \quad (2.25)$$

Определим значения мощности, найденные значения занесем в таблицу 5 и в таблицу 6.

Таблица 5 – Тягово-скоростные свойства

$n, \text{мин}^{-1}$	$M_m, \text{Нм}$	$V, \text{м/с}$	$N_m, \text{кВт}$	$P_w, \text{Н}$	$P_\psi, \text{Н}$	$N_\psi, \text{кВт}$	$N_\omega, \text{кВт}$	$N_k, \text{кВт}$	$N_j, \text{кВт}$
Первая передача									
800	127,68	1,35	10,70	1,08	0,00	0,000	0,001	10,11	10,110
1280	133,80	2,16	17,93	2,76	161,50	0,349	0,006	16,95	16,606
1760	138,26	2,97	25,48	5,21	161,84	0,481	0,015	24,08	23,616
2240	141,05	3,79	33,08	8,44	162,29	0,614	0,032	31,27	30,684
2720	142,16	4,60	40,49	12,44	162,85	0,749	0,057	38,27	37,575
3200	141,60	5,41	47,45	17,22	163,52	0,884	0,093	44,84	44,052
3680	139,38	6,22	53,71	22,78	164,29	1,022	0,142	50,76	49,878
4160	135,48	7,03	59,01	29,11	165,18	1,161	0,205	55,77	54,817
4640	129,90	7,84	63,12	36,21	166,17	1,303	0,284	59,65	58,631
5120	122,66	8,65	65,76	44,09	167,27	1,448	0,382	62,15	61,085
5600	113,75	9,47	66,70	52,74	168,48	1,595	0,499	63,04	61,943

Продолжение таблицы

6080	103,16	10,28	65,68	62,17	169,79	1,745	0,639	62,07	60,966
6560	90,91	11,09	62,44	72,38	171,22	1,898	0,803	59,02	57,919
Вторая передача									
800	127,68	2,51	10,70	3,70	161,63	0,405	0,009	10,11	9,712
1280	133,80	4,01	17,93	9,48	162,44	0,652	0,038	16,95	16,335
1760	138,26	5,52	25,48	17,93	163,62	0,903	0,099	24,08	23,278
2240	141,05	7,02	33,08	29,04	165,17	1,160	0,204	31,27	30,311
2720	142,16	8,53	40,49	42,82	167,09	1,425	0,365	38,27	37,207
3200	141,60	10,03	47,45	59,27	169,39	1,700	0,595	44,84	43,738
3680	139,38	11,54	53,71	78,38	172,06	1,985	0,904	50,76	49,677
4160	135,48	13,04	59,01	100,17	175,10	2,284	1,307	55,77	54,796
4640	129,90	14,55	63,12	124,62	178,51	2,597	1,813	59,65	58,866
5120	122,66	16,05	65,76	151,73	182,30	2,927	2,436	62,15	61,661
5600	113,75	17,56	66,70	181,51	186,46	3,274	3,187	63,04	62,951
6080	103,16	19,06	65,68	213,96	190,99	3,641	4,079	62,07	62,510
6560	90,91	20,57	62,44	249,08	195,89	4,029	5,124	59,02	60,110
Третья передача									
800	127,68	3,60	10,70	7,62	162,18	0,583	0,027	10,11	9,552
1280	133,80	5,75	17,93	19,50	163,83	0,943	0,112	16,95	16,119
1760	138,26	7,91	25,48	36,86	166,26	1,316	0,292	24,08	23,058
2240	141,05	10,07	33,08	59,70	169,45	1,706	0,601	31,27	30,162
2720	142,16	12,23	40,49	88,03	173,40	2,120	1,077	38,27	37,223
3200	141,60	14,39	47,45	121,85	178,13	2,563	1,753	44,84	44,034
3680	139,38	16,54	53,71	161,14	183,61	3,038	2,666	50,76	50,387
4160	135,48	18,70	59,01	205,92	189,86	3,551	3,851	55,77	56,074
4640	129,90	20,86	63,12	256,18	196,88	4,107	5,344	59,65	60,888
5120	122,66	23,02	65,76	311,92	204,67	4,711	7,180	62,15	64,620
5600	113,75	25,18	66,70	373,15	213,22	5,368	9,395	63,04	67,065
6080	103,16	27,33	65,68	439,86	222,53	6,083	12,023	62,07	68,013
6560	90,91	29,49	62,44	512,06	232,61	6,860	15,102	59,02	67,257
Четвертая передача									
800	127,68	5,22	10,70	16,07	163,36	0,854	0,084	10,11	9,339
1280	133,80	8,36	17,93	41,14	166,86	1,395	0,344	16,95	15,898
1760	138,26	11,49	25,48	77,78	171,97	1,977	0,894	24,08	22,999
2240	141,05	14,63	33,08	126,00	178,71	2,614	1,843	31,27	30,496
2720	142,16	17,76	40,49	185,78	187,05	3,323	3,300	38,27	38,244
3200	141,60	20,90	47,45	257,14	197,02	4,118	5,374	44,84	46,100
3680	139,38	24,03	53,71	340,07	208,60	5,013	8,173	50,76	53,918
4160	135,48	27,17	59,01	434,56	221,79	6,026	11,807	55,77	61,554
4640	129,90	30,30	63,12	540,63	236,60	7,170	16,384	59,65	68,864
5120	122,66	33,44	65,76	658,28	253,03	8,461	22,012	62,15	75,703
5600	113,75	36,57	66,70	787,49	271,07	9,914	28,802	63,04	81,926
6080	103,16	39,71	65,68	928,27	290,73	11,545	36,861	62,07	87,388
6560	90,91	42,84	62,44	1080,63	312,00	13,367	46,299	59,02	91,947

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

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

36

Окончание таблицы

Пятая передача									
800	800	800	800	800	800	800	800	800	800
1280	133,80	10,03	17,93	59,27	169,39	1,700	0,595	16,95	15,844
1760	138,26	13,80	25,48	112,06	176,76	2,439	1,546	24,08	23,189
2240	141,05	17,56	33,08	181,51	186,46	3,274	3,187	31,27	31,180
2720	142,16	21,32	40,49	267,64	198,48	4,232	5,707	38,27	39,741
3200	141,60	25,08	47,45	370,44	212,84	5,339	9,292	44,84	48,797
3680	139,38	28,85	53,71	489,90	229,52	6,621	14,133	50,76	58,270
4160	135,48	32,61	59,01	626,04	248,53	8,105	20,415	55,77	68,084
4640	129,90	36,37	63,12	778,84	269,86	9,816	28,329	59,65	78,164
5120	122,66	40,14	65,76	948,32	293,53	11,781	38,062	62,15	88,432
5600	113,75	43,90	66,70	1134,4 6	319,52	14,026	49,801	63,04	98,813

Таблица 6 – Мощностной баланс

$V, \text{ км/ч}$	$N_{\psi}/\eta, \text{ кВт}$	$(N_{\psi} + N_{\omega})/\eta, \text{ кВт}$
Первая передача		
4,83	0,00	0,00
7,73	0,37	0,01
10,62	0,51	0,02
13,52	0,65	0,03
16,42	0,80	0,06
19,32	0,94	0,10
22,21	1,09	0,15
25,11	1,24	0,22
28,01	1,39	0,30
30,91	1,54	0,41
33,81	1,70	0,53
36,70	1,86	0,68
39,60	2,02	0,86
Вторая передача		
8,96	0,43	0,01
14,33	0,69	0,04
19,71	0,96	0,11
25,08	1,23	0,22
30,46	1,52	0,39
35,84	1,81	0,63
41,21	2,11	0,96
46,59	2,43	1,39
51,96	2,76	1,93
57,34	3,11	2,59
62,71	3,48	3,39

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

37

Окончание таблицы

68,09	3,87	4,34
73,46	4,29	5,46
Третья передача		
12,85	0,62	0,03
20,55	1,00	0,12
28,26	1,40	0,31
35,97	1,82	0,64
43,67	2,26	1,15
51,38	2,73	1,87
59,09	3,23	2,84
66,80	3,78	4,10
74,50	4,37	5,69
82,21	5,01	7,64
89,92	5,71	10,00
97,62	6,47	12,80
105,33	7,30	16,07
Четвертая передача		
18,66	0,91	0,09
29,86	1,48	0,37
41,05	2,10	0,95
52,25	2,78	1,96
63,45	3,54	3,51
74,64	4,38	5,72
85,84	5,33	8,70
97,03	6,41	12,57
108,23	7,63	17,44
119,43	9,00	23,43
130,62	10,55	30,65
141,82	12,28	39,23
153,01	14,22	49,27
Пятая передача		
22,40	1,10	0,16
35,84	1,81	0,63
49,27	2,59	1,65
62,71	3,48	3,39
76,15	4,50	6,08
89,59	5,68	9,89
103,03	7,04	15,04
116,47	8,62	21,73
129,90	10,44	30,15
143,34	12,53	40,50
156,78	14,92	53,00

По найденным значениям строим график мощностного баланса (рисунок 22).

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

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

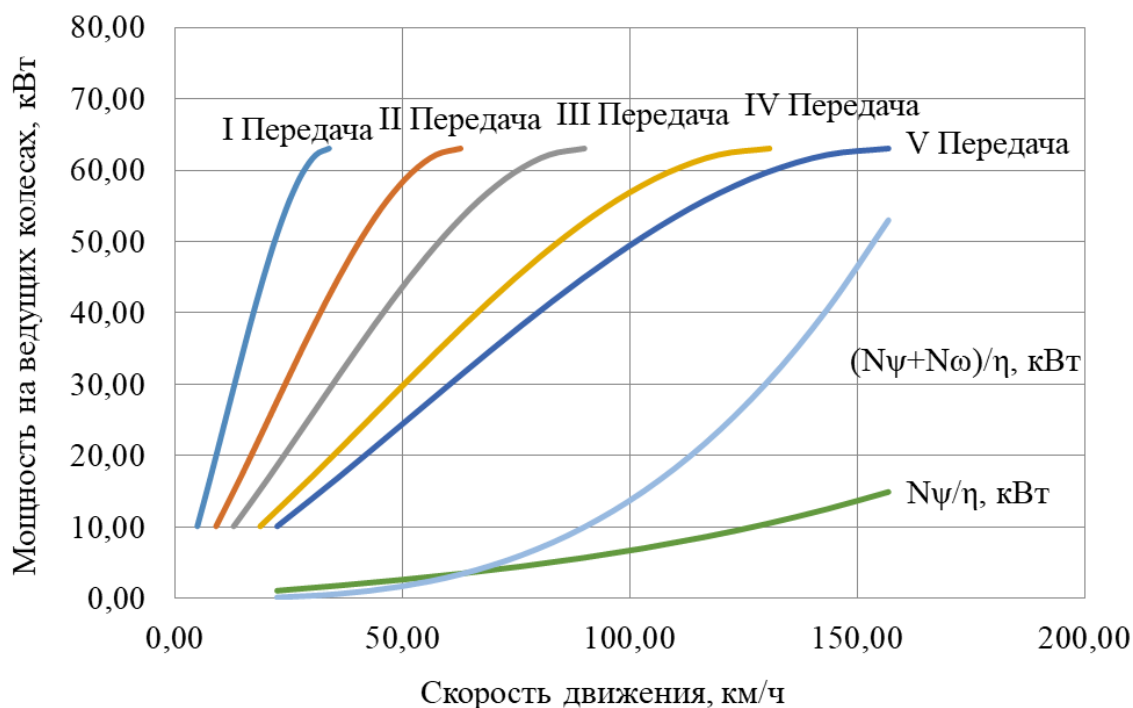


Рисунок 22 – Мощностной баланс

2.8 Топливная экономичность автомобиля

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

Топливная экономичность зависит от:

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

Топливную экономичность рассчитывают 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 расчет ведется на каждой передаче.

При установившемся движении скорость постоянна и ускорение равно нулю:

$$N_k = N_\psi + N_\omega, \quad (2.26)$$

$$P_k = P_\psi + P_\omega. \quad (2.27)$$

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

$$N_k = N_\psi + N_\omega + N_j = VP_k = V(P_\psi + P_\omega + P_j). \quad (2.28)$$

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

$$Q = \frac{g_e(N_\psi + N_\omega + N_j)}{36\eta_{тр}V}, \quad (2.29)$$

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

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

V – текущая скорость движения, км/ч;

$\eta_{тр}$ – 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.

Удельный эффективный расход топлива определяется по следующей формуле:

$$g_e = g_N K_u K_\omega, \quad (2.30)$$

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

$$g_N = 260 \frac{\text{г} \cdot \text{ч}}{\text{кВт}};$$

K_u – коэффициент использования мощности двигателя;

K_ω – коэффициент использования частоты вращения коленчатого вала.

$$K_u = 3,27 - 8,22U + 9,13U^2 - 3,18U^3, \quad (2.31)$$

$$K_\omega = 1,25 - 0,99E + 0,98E^2 - 0,24E^3, \quad (2.32)$$

где U – степень использования мощности;

E – степень использования оборотов двигателя.

$$U = \frac{(N_\psi + N_\omega + N_j)}{(N_m \eta_{тр})}, \quad (2.33)$$

$$E = \frac{\omega_m}{\omega_N}. \quad (2.34)$$

Найденные значения расхода топлива при равномерном движении представлены в таблице 7.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		40

Таблица 7 – Расход топлива автомобиля с МКПП

V_I , м/с	V_I , м/с	V_I , м/с	V_I , м/с	V_I , м/с	V_I , м/с
I передача					
1,34	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
2,15	7,74	347,47	5,97	0	861,60
2,95	10,65	478,92	15,52	0	827,09
3,76	13,55	611,45	31,99	0	800,63
4,57	16,45	745,370	57,29	0	781,61
5,37	19,35	880,96	93,29	0	769,33
6,18	22,26	1018,52	141,88	0	762,99
6,99	25,16	1158,35	204,96	0	761,69
7,79	28,06	1300,74	284,41	0	764,43
8,60	30,97	1446,00	382,12	0	770,07
9,41	33,87	1594,41	499,99	0	777,21
II передача					
2,49	8,97	403,24	9,30	0	864,4447
3,98	14,33	647,43	37,87	0	822,46
5,47	19,70	897,48	98,46	0	786,96
6,96	25,08	1154,41	202,99	0	757,89
8,46	30,46	1420,11	363,45	0	734,66
9,95	35,87	1696,43	591,81	0	716,45
11,45	41,21	1985,27	900,07	0	702,19
12,94	46,58	2288,49	1300,21	0	690,60
14,43	51,96	2607,99	1804,21	0	680,10
15,92	57,33	2945,62	2424,06	0	668,71
17,42	62,71	3303,27	3171,74	0	653,89
III передача					
3,57	12,87	580,38	27,43	0	822,76
5,70	20,55	937,26	111,64	0	778,55
7,85	28,25	1310,15	290,22	0	737,99
9,99	35,96	1703,32	598,32	0	701,47
12,13	43,67	2122,30	1071,28	0	668,44
14,27	51,38	2572,63	1744,40	0	637,90

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

41

Окончание таблицы

16,41	59,08	3059,85	2653,01	0	608,55
18,55	66,79	3589,46	3832,45	0	578,75
20,69	74,50	4167,02	5318,08	0	546,57
22,83	82,20	4798,06	7145,07	0	509,86
24,97	89,91	5488,10	9348,90	0	466,42
IV передача					
5,19	18,70	850,05	84,09	0	757,30
8,29	29,85	1389,78	342,26	0	701,95
11,40	41,05	1976,58	889,75	0	644,70
14,51	52,24	2625,57	1834,32	0	587,39
17,62	63,44	3353,70	3284,27	0	530,46
20,73	74,64	4177,93	5347,89	0	473,96
23,84	85,83	5115,23	8133,48	0	417,95
26,95	97,03	6182,54	11749,33	0	363,14
30,06	108,23	7396,83	16303,74	0	311,57
33,17	119,42	8775,06	21904,99	0	267,84
36,28	130,62	10334,19	28661,4	0	240,29
V передача					
6,23	22,44	1027,25	145,40	0	712,70
9,95	35,84	1696,45	591,81	0	645,12
13,68	49,27	2446,09	1538,48	0	572,25
17,42	62,71	3303,27	3171,75	0	498,37
21,15	76,15	4297,29	5678,85	0	426,30
24,88	89,58	5457,49	9247,06	0	358,83
28,61	103,02	6813,18	14063,63	0	299,59
32,35	116,46	8393,68	20315,8	0	253,90
36,08	129,90	10228,33	28190,83	0	229,07
39,81	143,34	12346,44	37875,97	0	232,72
43,55	156,78	14777,34	49558,48	0	—

По данным таблицы 7 строим экономическую характеристику автомобиля (рисунок 23).

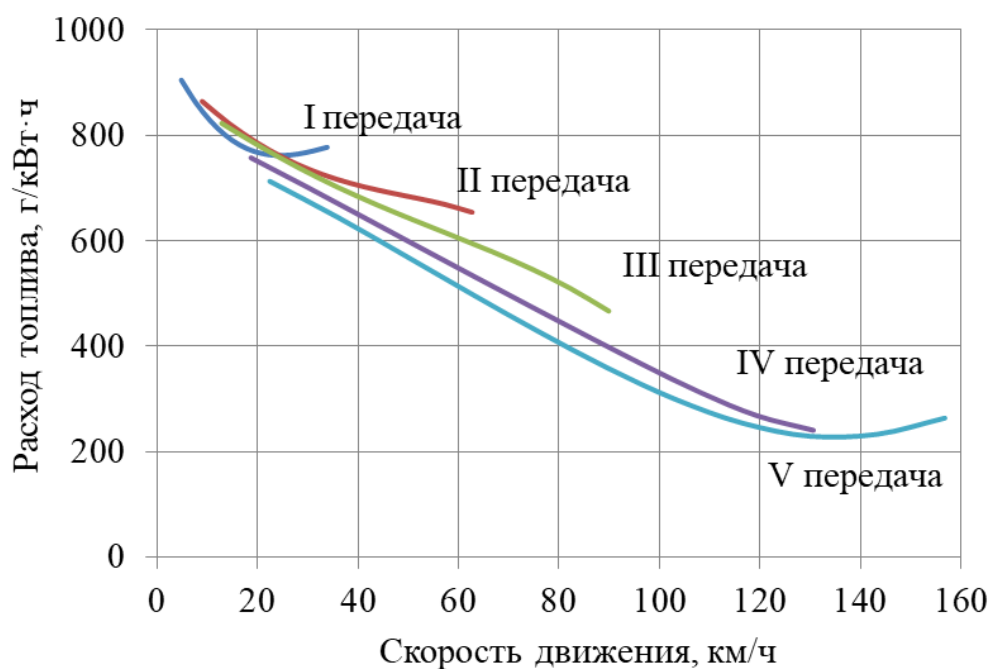


Рисунок 23 – Расход топлива при равномерном движении

2.9 Оптимизация передаточных чисел

Распишем уравнение удельного эффективного расхода топлива (2.30):

$$g_e'(V) = g_N(3,27 - 8,22U + 9,13U^2 - 3,18U^3)(1,25 - 0,99E + 0,98E^2 - 0,24E^3), \quad (2.35)$$

Но при этом запишем степень использования оборот двигателя через скорость движения автомобиля:

$$E = \frac{\omega_m}{\omega_N} = \frac{Vi_{тр}}{0,376r_k\omega_N}. \quad (2.36)$$

Исследуя функцию изменения расхода топлива автомобиля от передаточного числа трансмиссии на экстремум, было получено выражение для определения значений передаточного числа трансмиссии в зависимости от скорости движения автомобиля (2.35):

$$g_e'(V) = (g_N(3,27 - 8,22 \frac{(N_\psi + N_\omega + N_j)}{(N_m \eta_{тр})} + 9,13 \left(\frac{(N_\psi + N_\omega + N_j)}{(N_m \eta_{тр})} \right)^2 - 3,18 \left(\frac{(N_\psi + N_\omega + N_j)}{(N_m \eta_{тр})} \right)^3) (1,25 - 0,99 \left(\frac{Vi_{тр}}{0,376r_k\omega_N} \right) + 0,98 \left(\frac{Vi_{тр}}{0,376r_k\omega_N} \right)^2 - 0,24 \left(\frac{Vi_{тр}}{0,376r_k\omega_N} \right)^3))', \quad (2.37)$$

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

Чтобы выразить передаточное отношение трансмиссии приравняем производную к нулю и получим закон изменения передаточного числа трансмиссии от скорости движения автомобиля.

$$i_{тр} = -8 \cdot 10^{-6}V^3 + 0,0028V^2 - 0,3769V + 22,148. \quad (2.38)$$

Для анализа данных были произведены расчеты, результаты которых представлены на графиках.

График тягового баланса механической и вариаторной коробок передач представлен на рисунке 24:

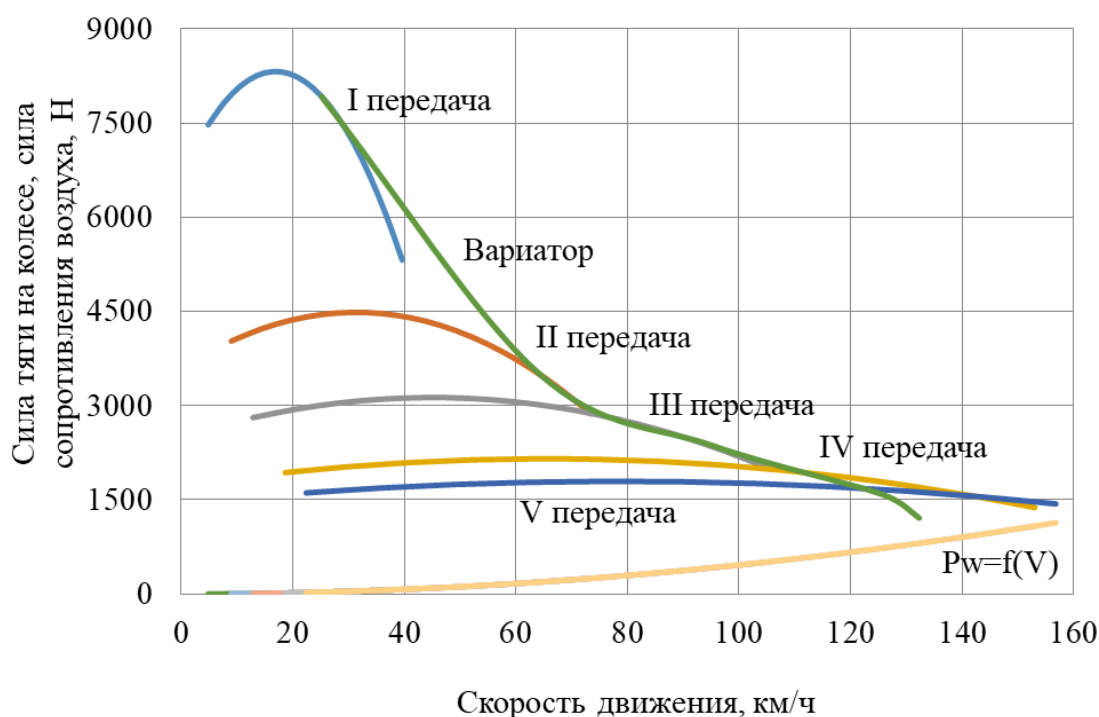


Рисунок 24 – Тяговый баланс МКПП и вариатора

График ускорений и обратных ускорений автомобиля с МКПП и вариатор представлены на рисунке 25 и рисунке 26:

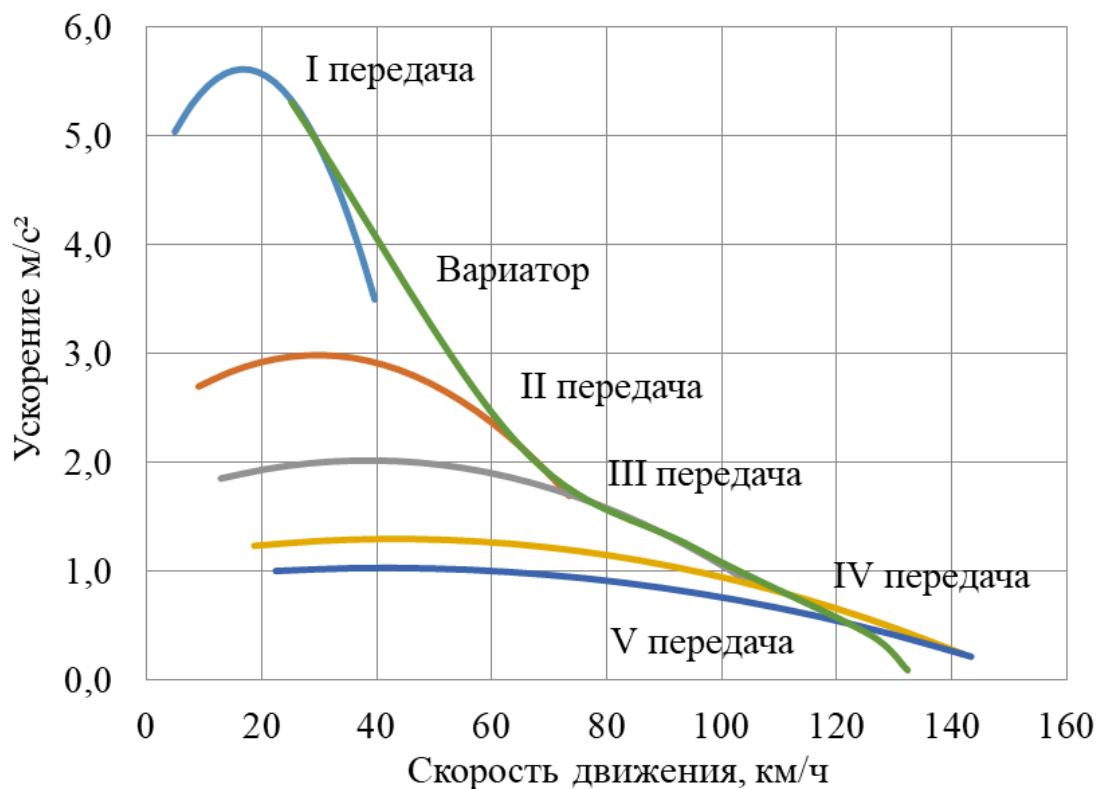


Рисунок 25 – График ускорений МКПП и вариатора

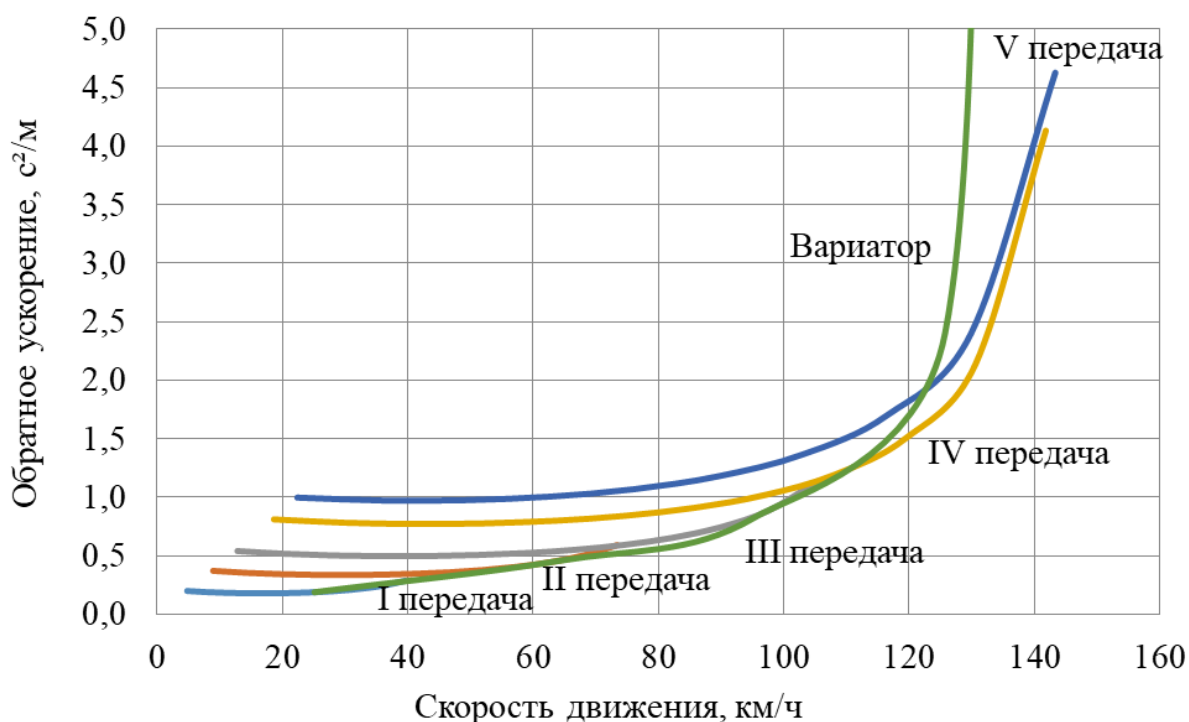


Рисунок 26 – График обратных ускорений автомобиля с МКПП и вариатор

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

График $S = f(V)$ и $t = f(V)$ МКПП и вариатора представлены на рисунке 27 и рисунке 28:

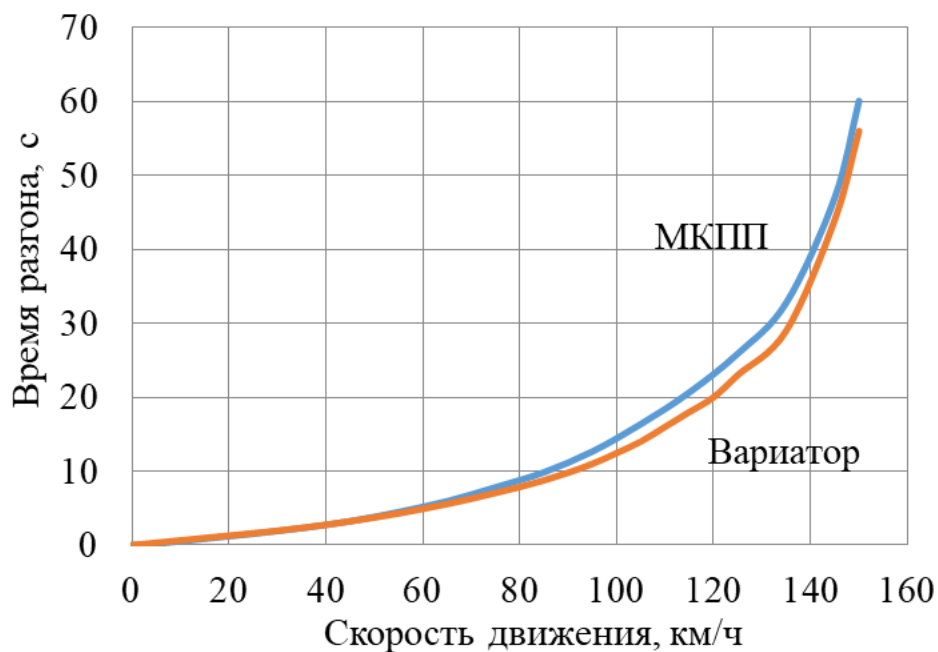


Рисунок 27 – Время разгона автомобиля с МКПП и вариатор

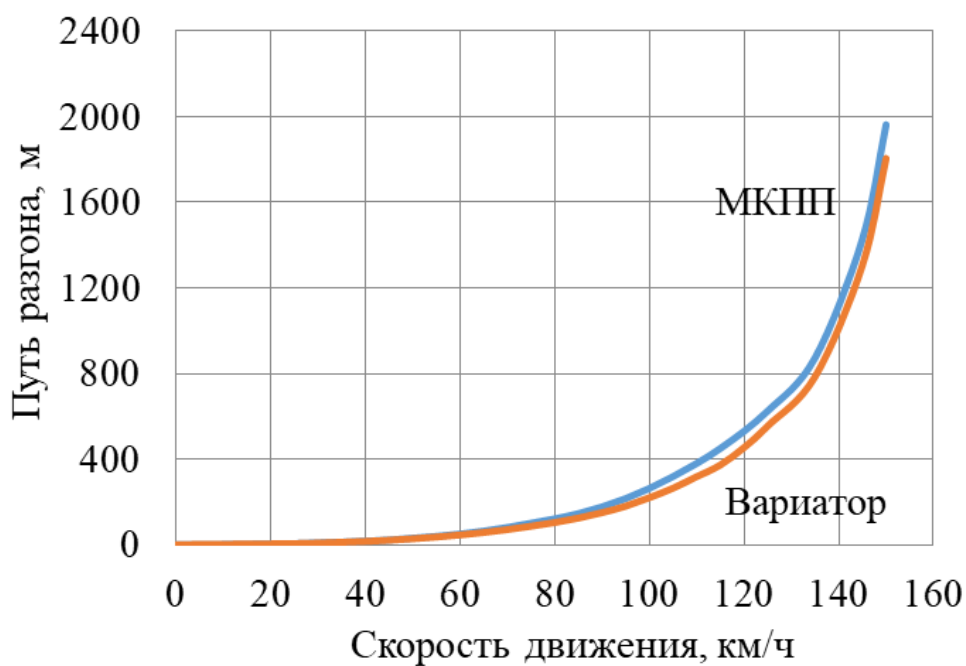


Рисунок 28 – Путь разгона автомобиля с МКПП и вариатор

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

График зависимости расхода топлива от скорости представлен на рисунке 29:

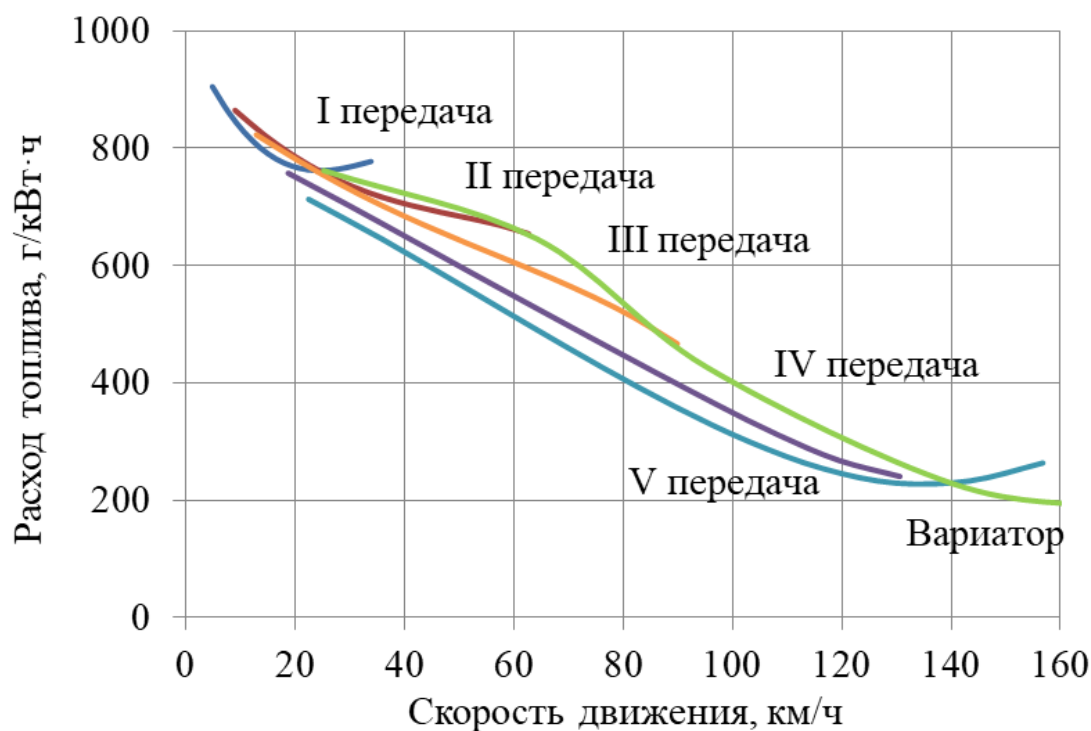


Рисунок 29 – Расход топлива автомобиля с МКПП и вариатор

Показатели расхода топлива и его сокращения при одной и той же скорости прототипа с МКПП и вариаторной коробкой переключения передач представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Расход топлива автомобиля с МКПП в сравнении с вариатором

Расход топлива автомобиля	
С МКПП	Вариатор
761,55	751,61
653,89	640,41
466,42	436,32
240,29	228,34
232,72	225,82

В среднем уменьшение расхода топлива составило от 3 до 5%.

Также были проведены расчеты для различных дорожных условий (рисунок 31). Из графика видно, что при их ухудшении значительно уменьшается скорость автомобиля. А значит, и все остальные показатели будут ниже.

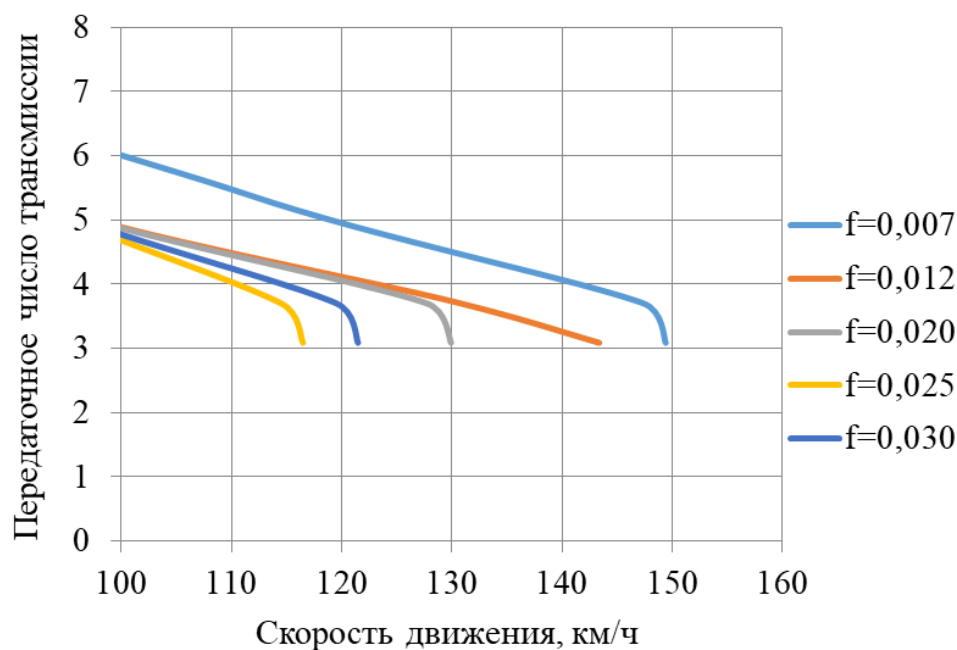
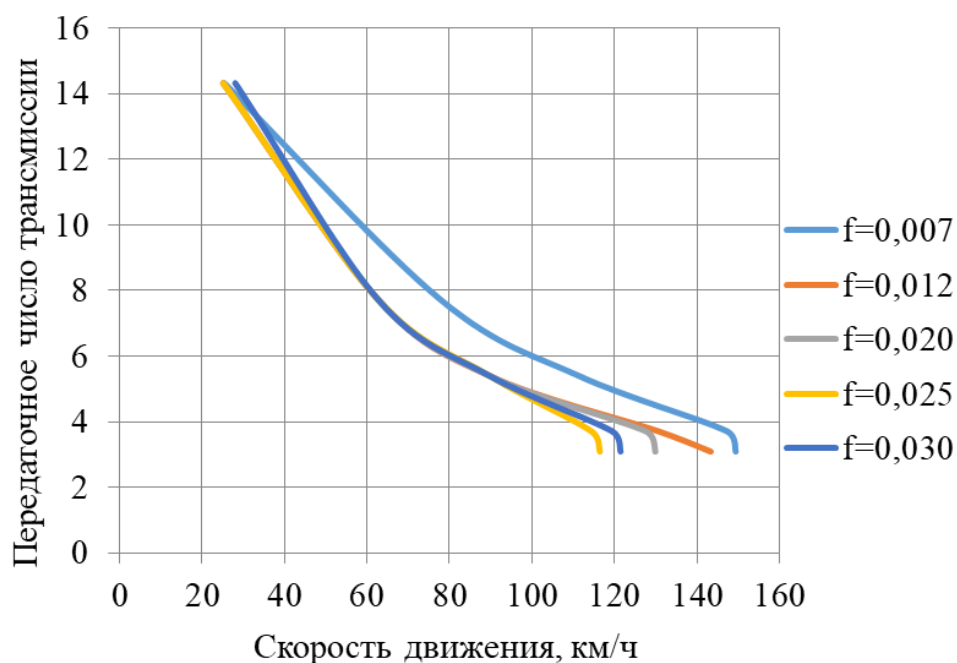


Рисунок 31 – Зависимость скорости от передаточного числа трансмиссии при разных дорожных условия

Вывод по разделу два

Оптимизация передаточных чисел позволила определить такую скорость, при которой автомобиль будет двигаться с минимальным расходом топлива. Установление определенных передаточных чисел вариаторной коробки передач в зависимости от скорости позволяет осуществить данное исследование.

Однако, не стоит забывать, что изменение одних показателей в лучшую сторону может привести к изменению других в более худшую. Поэтому всегда нужно отталкиваться от того, что в приоритете на данный момент.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

48

3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

3.1 Служебное назначение детали

Деталь «шків клиновий» является одной из основных частей клиноременной передачи вариатора. Деталь представляет собой цилиндрическую продолговатую поверхность, с сужающей конусообразной частью с одной стороны и расположенными на внутреннем диаметре шлицами. Шлицы с центрированием по наружному диаметру предусмотрены для снижения торцевого биения и уменьшения износа.

Деталь изготовлена из материала Сталь 30ХГС. Изделие из стали имеет хорошие характеристики прочности и износостойкости. Посадка на вал более выносливая в сравнении с другими материалами. Хорошая обработка резанием. Также Ст30ХГС невысокую стоимость, вследствие, будем иметь меньшие затраты на изготовление детали и обслуживание оборудования. Параметры стали занесем в таблицу 9.

Таблица 9 – Свойства стали

Химический состав Ст 30ХГС	
Химический элемент	%
Углерод (С)	0,28–0,35
Кремний (Si)	0,90–1,2
Марганец (Mn)	0,80–1,1
Хром (Cr)	0,80–1,1
Фосфор (P) не более	0,035
Сера (S) не более	0,035
Медь (Cu) не более	0,3
Никель (Ni) не более	0,3

Физические и механические свойства стали:

- предел прочности σ_B – 7000 МПа;
- предел текучести σ_m – 360 МПа;
- твердость – 240НВ;
- модуль упругости E – 21600 МПа;
- модуль сдвига G – 8300 МПа;
- относительная деформация δ – 40%.

3.2 Анализ технологичности детали

С точки зрения механической обработки, деталь можно считать технологичной. Исходя из характеристик поверхностей детали, их нужно подвергнуть механической обработке. Сама обработка может быть выполнена по типовым маршрутам, т.к. все поверхности имеют хорошую доступность для подвода обрабатывающего инструмента.

Одним из ключевых вопросов при механической обработке и обеспечения технологичности детали является ее базирование. Согласно данным, для базирования рассматриваемой детали могут быть использованы типовые схемы базирования, например базирование в трех кулачковом патроне. Это обеспечит соблюдение всех основных принципов базирования и сократит погрешности при обработке. В связи с этим при базировании деталей на операциях механической обработки деталь можно считать технологичной.

Соблюдение размеров, обеспечение шероховатости и точности обработки не требует специализированных приспособлений и имеет возможность обеспечения без высокотехнологического обрабатывающего оборудования, что говорит о технологичности детали.

Из проведенного анализа можно сделать вывод, что деталь является технологичной

3.3 Выбор и обоснование метода получения заготовки

Метод получения заготовки шкива выбирается исходя из обеспечения минимума суммарных затрат на ее получение и механическую обработку.

Рассмотрим три возможных метода изготовления.

1. Литье по выплавляемым моделям.

Литье по выплавляемым моделям – процесс получения отливок свободной заливкой расплавленного металла в форму, изготовленную по выплавляемым моделям. Такие отливки изготавливают в массовом производстве, когда нужно получить сложные по своей конфигурации отливки или заготовки с толщиной стенки до 0,5 м, или же готовые детали с большим количеством мелких отверстий, каналов, пазов. Также для получения деталей из твердых сплавов, крупных отливок, к которым предъявляют высокие требования по точности размеров и шероховатости литых поверхностей отливки из труднообрабатываемых сплавов

2. Литье в оболочковые формы.

При литье в оболочковые формы, сами формы изготавливают из смесей, содержащих термореактивные смолы. Формовочная смесь наносится на поверхность нагретой металлической модели, вследствие чего термореактивная смола оплавляется и на модели происходит образование предварительно отвердевшей формы (корки) толщиной примерно 5 мм. После этого модель со слегка отвердевшей оболочкой помещают в электропечь. Там происходит окончательное отверждение формы. В завершении форму снимают с модели и от-

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>50</i>

правляют для заливки металлом.

Преимуществами данного способа получения заготовки являются:

- простота изготовления оболочковых форм;
- значительное уменьшение припусков на механическую обработку;
- высокая точность размеров отливок сложной конфигурации.

3. Литье в металлические формы (кокили).

Литье в кокиль производят путем свободной заливки расплавленного металла под действием гравитационных сил в металлические литейные формы – кокили, изготовленные из стали, чугуна, медных и алюминиевых сплавов [7]. Особенности этих форм является то, что их можно использовать неоднократно. Кокиль способствует образованию наружных очертаний отливки; внутренние полости и отверстия образуются при помощи стержней, которые устанавливаются в кокиль перед его заполнением металлом. С помощью кокиля возможно получать отливки всех сплавов.

Вывод: выбираем третий способ получения заготовки, т.к. для массового производства он наиболее экономичный и эффективный. При литье в кокиль увеличивается эффективность использования металла. Это происходит за счет упрощения литниковой системы и сокращения припусков на механическую обработку, а также происходит резкое снижение трудоемкости в литейных цехах и улучшаются условия труда.

3.4 Выбор технологических баз и определение погрешностей установки

В качестве технологической базы принимают обрабатываемую поверхность, которая используется для контроля и определения заготовки во время ее изготовления [8].

Выбор технологических баз зависит в первую очередь от конструкции и формы обрабатываемой детали. Залогом высококачественного изделия с соответствием расчетным размерам является отсутствие деформаций на поверхностях, которые принимаются за базовые. Правильно выбранные поверхности позволят в последующем упростить конструкцию приспособления на станке, а также обеспечить простоту установки и снятия детали с приспособления. Правильный выбор базовой поверхности позволяет обеспечить необходимую точность обработки и соблюдение технологических требований, предъявляемых к детали в целом.

Исходя из анализа вышеперечисленных требований, можно сделать следующие выводы: при высокоточной обработке детали, необходимо выбрать такую схему установки, которая обеспечит как можно меньшую погрешность базирования. Если к детали предъявляются более жесткие требования к точности изготовления, при выборе базовых поверхностей необходимо применять принцип совмещения: сопоставить измерительную, сборочную и технологическую базы. Рекомендуется соблюдать правило постоянства технологических баз.

В процессе механической обработки на оборудовании, при изменении баз может снижаться точность обработки. Это связано с выбором новых или изменения взаимно расположения ранее используемых базовых поверхностей. На первых те-

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		51

технологических операциях в качестве исходных поверхностей чаще всего используют необработанные поверхности, называемые черновыми базами. Они обеспечивают равномерное распределение припуска при обработке точением и точное взаимное расположение поверхностей при последующей обработке.

Погрешности при базировании заготовки могут возникать в процессе установки в приспособление и первоначальной обработке. Погрешность базирования определяется как поле рассеивания размеров установочной и измерительной поверхностей. Численное значение зависит от точности базирования и выбранного способа закрепления в приспособление [9].

Руководствуясь вышеперечисленными условиями, выбираем следующие технологические базы:

1) Операция 005 – токарная с ЧПУ.

Технологическая база: торцы шкива.

Погрешность базирования – $\Delta\varepsilon_i = 150$ мкм.

Приспособление: центр плавающий, центр вращающийся.

2) Операция 010 – горизонтально-протяжная.

Технологическая база: торцы шкива и поверхность внешнего диаметра.

Погрешность базирования – $\Delta\varepsilon_i = 10$ мкм.

3) Операция 020 – круглошлифовальная.

Технологическая база: внутреннее посадочное отверстие шкива.

Погрешность базирования – $\Delta\varepsilon_\delta = 0$.

Приспособление: трехкулачковый самоцентрирующийся патрон.


4) Операция 025 – шлицешлифовальная.

В качестве технологических баз принимаем поверхность внешнего диаметра.

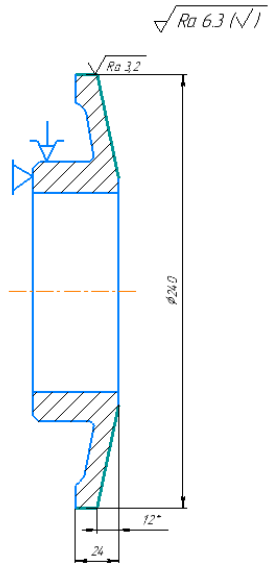
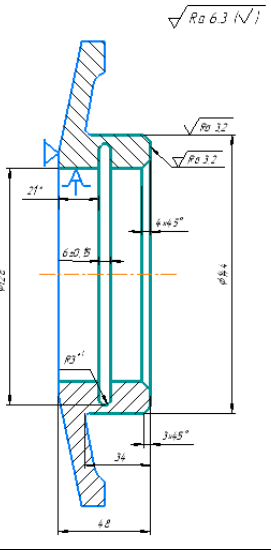
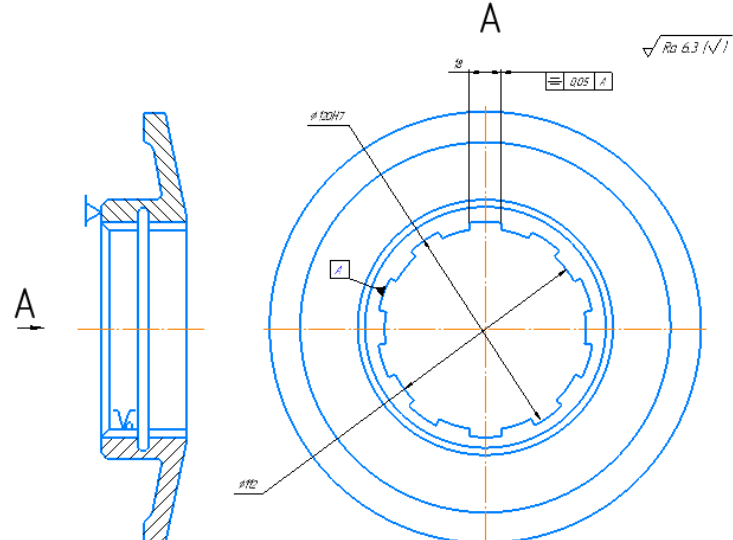
Погрешность базирования – $\Delta\varepsilon_\delta = 0$.

3.5 Технологический процесс обработки детали

Таблица 10 – Технологический процесс обработки детали

Операция	Содержание операции	Станок [10], режущий инструмент
000 Заготовительная		Литье в металлические формы (кокиль)

Продолжение таблицы

<p>005 Токарная</p>	<p>1-ый установ</p> 	<p>Токарный станок с ЧПУ 16К20Ф3 Для точения: Резец проходной [11], материал режущей части твердый сплав Т5К10.</p>
	<p>2-ой установ</p> 	<p>Для точения канавки: Резцы канавочные специальные, материал режущей части твердый сплав Т15К6</p>
<p>010 Протяжная</p>		<p>Горизонтально-протяжный станок 7Б55 Протяжка шлицевая горизонтальная [12]. Материал режущей части – СТ40Х</p>

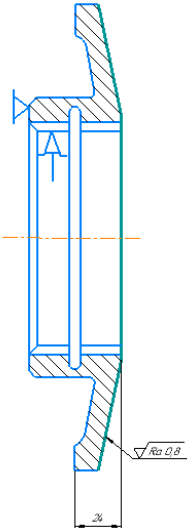
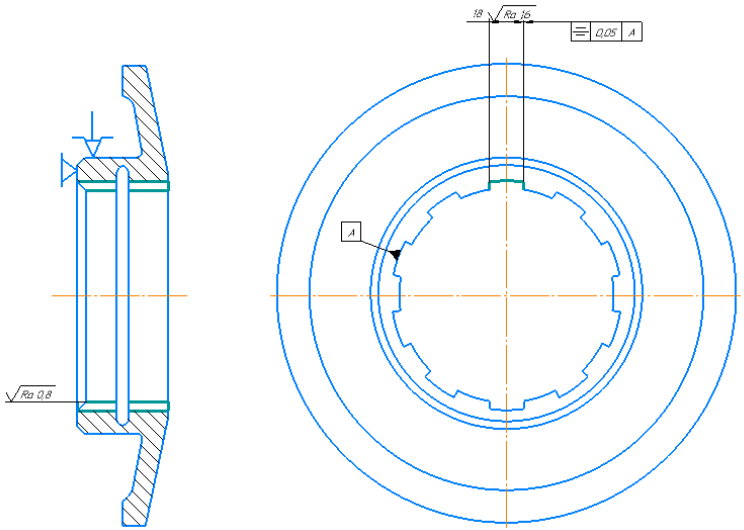
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ

Лист

53

Окончание таблицы

<p>015 Терми- ческая</p>	<p>1.Закалка ТВЧ; 2.Отпуск при температуре 530°C (20,5 HRC)</p>	<p>Нагрева- тельная печь</p>
<p>020 Кругло- шлифо- вальная</p>	<p>Шлифовать коническую поверхность шкива</p> 	<p>Круг- лошлифо- вальный станок 3А110В</p> <p>Круг шли- фовальный ПП 250x25x32 24А 40- ПС16К6 35м/с [13].</p>
<p>025 Шлице- шлифо- вальная</p>	<p>Шлифовать боковые и внешние поверхности ШЛИЦОВ</p> 	<p>Шли- цешлифо- вальный</p> <p>Круг шли- фовальный специаль- ный</p>
<p>030 Кон- трольная</p>		

3.6 Контроль готовой детали

По завершению обработки проверяют соответствие размеров изготавливаемой детали. В ходе этого контроля проводится соответствие размеров, расположение обрабатываемых поверхностей, шероховатости, геометрические формы детали, выбор технологических баз.

Для выдержки основных линейных размеров используем Штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 [14]:

- длина измерения, мм 250;
- величина отсчета по нониусу, мм 0,05;
- допускаемая погрешность, мм $\pm 0,05$.

Для измерения и контроля внешних диаметров – измерительные скобы СИ 500 [15].

Для измерения и контроля размеров прямоугольных шлицев – шлицевые Скобы 8316-0487 h8 [16].

Для измерения значения осевого и радиального биения принимаем индикаторы часового типа: Индикатор ИЧ кл. 1 [17]:

- цена деления, мм 0,001;
- диапазон измерений, мм 0...10;
- допускаемая погрешность, мм 0,0015.

3.7 Расчет режимов резания

Расчет производим для токарной операции. Определение режимов резания табличным методом [18].

Вычисляем величину подачи по формуле:

$$S = S_{0T} K_{S_0}, \quad (3.1)$$

где S_{0T} – значение подачи по справочнику.

Поправочный коэффициент определяется по формуле:

$$K_{S_0} = K_{S_n} K_{S_u} K_{S_\phi} K_{S_{ж}} K_{S_3} K_{S_m}; \quad (3.2)$$

где K_{S_n} – коэффициент, определяющий состояние обрабатываемой поверхности;

K_{S_u} – коэффициент, определяющий учитывающий материал инструмента;

K_{S_ϕ} – коэффициент, определяющий форму обрабатываемой поверхности;

$K_{S_{ж}}$ – коэффициент, определяющий жесткость технологической оснастки;

K_{S_3} – коэффициент, определяющий влияние закалки;

K_{S_m} – коэффициент, определяющий материал обрабатываемой поверхности.

Скорость резания определяется по формуле:

$$v = V_T K_v; \quad (3.3)$$

где V_T – табличное значение скорости резания.

Поправочный коэффициент определяется по формуле:

$$K_v = K_{v_n} K_{v_u} K_{v_\phi} K_{v_m} K_{v_{ж}} K_{v_o} K_{S_m}; \quad (3.4)$$

где K_{v_n} – коэффициент, учитывающий состояние обрабатываемой поверхности;

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		55

K_{v_u} – коэффициент, определяющий материал инструмента;
 K_{v_ϕ} – коэффициент, определяющий влияние угла в плане;
 K_{v_m} – коэффициент, определяющий вид обработки;
 $K_{v_ж}$ – коэффициент, определяющий жесткость технологической оснастки;
 K_{S_m} – коэффициент, определяющий материал обрабатываемой поверхности;
 K_{v_0} – коэффициент, определяющий влияние СОЖ.

Частота вращения шпинделя определяется по формуле:

$$n = \frac{1000v}{\pi D}. \quad (3.5)$$

Полученное значение уточняем по паспорту станка.

Действительная скорость резания вычисляется по формуле:

$$v_\phi = \frac{\pi D n}{1000}. \quad (3.6)$$

Операция 005. Токарная с ЧПУ.

Черновое точение:

– глубина резания – $t = 2,0$ мм;

– подача – $S_{0T} = 0,46$ мм/об.

Поправочные коэффициенты: $K_{S_n} = 0,8$; $K_{S_u} = 1,0$, (твердый сплав); $K_{S_\phi} = 0,85$; $K_{S_ж} = 0,83$; $K_{S_3} = 1,0$ (закалки нет); $K_{S_m} = 1,07$.

$$K_{S_0} = 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 1,07 = 0,6.$$

$$S = 0,46 \cdot 0,6 = 0,28 \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S = 0,3$ мм/об.

Скорость резания, табличное значение: $V_T = 228$ м/мин.

Поправочные коэффициенты: $K_{v_n} = 0,85$; $K_{v_u} = 1,0$; $K_{v_\phi} = 1,0$; $K_{v_m} = 1,0$; $K_{v_ж} = 0,82$; $K_{v_m} = 0,85$; $K_{v_0} = 0,85$.

$$K_v = 0,85 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,82 \cdot 0,85 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 0,5$$

Скорость резания: $v = 228 \cdot 0,5 = 115$ м/мин.

Частота вращения шпинделя:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 115}{\pi \cdot 250} = 146,5 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 115}{\pi \cdot 120} = 305,2 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем частоту вращения шпинделя $n = 300 \text{ мин}^{-1}$.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		56

Чистовое точение:

- глубина резания – $t = 1,0$ мм;
- подача $S_{0T} = 0,13$ мм/об.

Поправочные коэффициенты: $K_{S_n} = 1,0$; $K_{S_u} = 1,0$; $K_{S_\phi} = 0,85$; $K_{S_{ж}} = 0,83$; $K_{S_3} = 1,0$ (закалки нет); $K_{S_M} = 1,07$.

$$K_{S_0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,83 \cdot 1,0 \cdot 1,07 = 0,76.$$

$$S = 0,13 \cdot 0,76 = 0,1 \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S = 0,1$ мм/об.

Скорость резания, табличное значение: $V_T = 340$ м/мин.

Поправочные коэффициенты: $K_{v_n} = 0,85$; $K_{v_u} = 1,4$; $K_{v_\phi} = 1,0$; $K_{v_m} = 0,85$; $K_{v_{ж}} = 0,82$; $K_{v_M} = 1,0$; $K_{v_0} = 1,0$.

$$K_v = 0,85 \cdot 1,4 \cdot 0,85 \cdot 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 0,83$$

Скорость резания: $v = 340 \cdot 0,83 = 282$ м/мин.

Частота вращения шпинделя:

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 282}{\pi \cdot 242} = 371,1 \text{ мин}^{-1};$$

$$n_{min} = \frac{1000 \cdot 282}{\pi \cdot 112} = 801,8 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем частоту вращения шпинделя $n = 800$ мин⁻¹.

Точение канавки $d=120$ мм:

- глубина резания – $t = 0,5$ мм;
- подача $S_{0T} = 0,13$ мм/об.

Поправочные коэффициенты: $K_{S_n} = 1,0$; $K_{S_u} = 1,0$ (твердый сплав); $K_{S_\phi} = 0,85$; $K_{S_{ж}} = 0,62$; $K_{S_3} = 1,0$ (закалки нет); $K_{S_M} = 1,07$.

$$K_{S_0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,85 \cdot 0,62 \cdot 1,07 = 0,56.$$

$$S = 0,13 \cdot 0,56 = 0,07 \text{ мм/об.}$$

Принимаем $S = 0,07$ мм/об.

Скорость резания, табличное значение: $V_T = 304$ м/мин.

Поправочные коэффициенты: $K_{v_n} = 1,0$; $K_{v_u} = 1,0$; $K_{v_\phi} = 1,0$; $K_{v_m} = 0,5$; $K_{v_{ж}} = 0,61$; $K_{v_M} = 0,85$; $K_{v_0} = 1,0$.

$$K_v = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,5 \cdot 0,61 \cdot 0,85 \cdot 1,0 = 0,3$$

Скорость резания: $v = 304 \cdot 0,3 = 91$ м/мин.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		57

Частота вращения шпинделя:

$$n = \frac{1000 \cdot 91}{\pi \cdot 115} = 252,1 \text{ мин}^{-1}.$$

Принимаем частоту вращения шпинделя $n = 250 \text{ мин}^{-1}$.

Фактическая скорость резания:

$$v_{\phi} = \frac{\pi \cdot 29,5 \cdot 1000}{1000} = 92,7 \text{ м/мин.}$$

Вывод по разделу три

Во время выполнения технологической части проекта был разработан технологический процесс изготовления внешней секции клинового шкива вариатора. Проведен анализ существующих способов получения заготовки. Разработан технологический процесс получения готовой детали. При проектировании операционной технологии подсчитаны режимы резания и проведено нормирование операций.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		58

4 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

К бесступенчатым трансмиссиям, как и ко всем остальным, предъявляется ряд требований для её безопасности. В первую очередь это касается правил эксплуатации и безопасности её для экологии. Чтобы не нанести вред экологии нужно избегать подтекания технологических жидкостей и попадания их на почву за счёт контроля состояния корпуса, проверки его на наличие трещин и плотности манжетных уплотнений.

При эксплуатации автомобиля с вариатором запрещается:

- запускать автомобиль с наката;
- движения со скоростью выше разрешенной;
- эксплуатировать автомобиль с неисправными тормозами;
- включении передачи заднего хода при неполной отсановки автомобиля;
- резкое трогание с места и резкая остановка.

Чтобы эксплуатация автомобиля с бесступенчатой трансмиссией была эффективной и не приводила к поломкам, необходимо придерживаться следующих основных правил:

- не превышать, установленную заводом изготовителя автомобиля, максимальную скорость движения;
- не допускать отпуск педали тормоза при начале движения раньше времени;
- при остановке на подъеме держать педаль тормоза нажатой или использовать стояночный тормоз;
- следить за оборотами и не допускать их превышения;
- переводить рычаг переключения передач в нейтральное положение, при длительных остановках или движении в условиях дорожного затора, что позволит сократить расход топлива;
- снижать скорость движения, при начале раскачивания кузова автомобиля;
- помнить о возможности перегрева двигателя и системы охлаждения при повышенных нагрузках;
- при неисправности тормозной системы, буксировать автомобиль только на жесткой сцепке;
- следить за своевременной заменой масла, чтобы исключить износ механизмов;
- по возможности избегать резких поворотов и перестроений.

Вывод по разделу четыре

Соблюдение всех правил эксплуатации легкового автомобиля с беступенчатой трансмиссией позволяет обеспечить заявленный изготовителем срок службы вариатора и отдельных его элементов, в частности, ресурса ремня. В соответствии с этим могут быть достигнуты высокие топливно-экономические показатели автомобиля и минимизирован вред, причиняемый экологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной выпускной квалификационной работе была произведена оптимизация передаточных чисел вариаторной трансмиссии в зависимости от скорости движения автомобиля при его равномерном движении.

Полученный закон изменения передаточного числа позволяет произвести математические расчеты вариаторной коробки переключения передач и выявить оптимальные значения передаточного числа исходя из условий и скорости автомобиля.

Такое техническое решение будет крайне полезным. Полученные значения передаточных чисел позволят автомобилю всегда двигаться с максимальной эффективностью, при этом сокращая расход топлива. Вариатор позволяет увеличить динамику и производительность автомобиля, повысив при этом комфорт езды и снизив утомляемость водителя, которую он испытывает при постоянном переключении передач при езде на механической трансмиссии.

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>60</i>

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 Конструкция автомобилей. Трансмиссия: учебное пособие / О.С. Руктешель, Г.А. Дыко, Л.А. Молибошко, С.Г. Якутович. – Минск: БНТК, 2008. – 115 с.
- 2 Шестопалов, С.К. Устройство легковых автомобилей. Часть II. Трансмиссия, ходовая часть, рулевое управление, тормозные системы, кузов: учебник / С.К. Шестопалов. – Москва: Изд-во Academia, 2013. – 400 с.
- 3 Галимзянов, Р.К. Тяговый расчет автомобиля: учебное пособие / Р.К. Галимзянов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. – 220 с.
- 4 Дьяков, И.Ф. Ступенчатые и планетарные коробки передач транспортных машин: учебное пособие / И.Ф. Дьяков, В.И. Тарханов. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2011. – 143 с.
- 5 Автоматические коробки передач легковых автомобилей: учебное пособие / под ред. Н.С. Соломатина, – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. – 110 с.
- 6 Вахламов, В.К. Автомобили, конструкция и элементы расчета: учебник для студентов высших учебных заведений / В.К. Вахламов. – М.: Академия, 2006. – 480 с.
- 7 ГОСТ 26645-85. Отливки из металлов и сплавов. Допуски размеров, массы и припуски на механическую обработку. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2010. – 44 с.
- 8 Кондаков, А.И. Курсовое проектирование по технологии машиностроения: учебное пособие / А.И. Кондаков. – М.: КНОРУС, 2012. – 400 с.
- 9 Анурьев, В.И. Справочник конструктора–машиностроителя: в 3 т. / В.И. Анурьев, – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – Т. 2. – 728 с.
- 10 Технические характеристики станков с ЧПУ. – <http://engcrafts.com>.
- 11 ГОСТ 21151–75. Резцы токарные сборные проходные с механическим креплением многогранных твердосплавных пластин. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 69 с.
- 12 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. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 115 с.
- 13 ГОСТ 2424–83. Круги шлифовальные. Технические условия. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2008. – 38 с.
- 14 ГОСТ 166–89. Штангенциркули. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 10 с.
- 15 ГОСТ 11098–75. Скобы с отсчетным устройством. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 1997. 9 с.
- 16 ГОСТ 577-68. Индикаторы часового типа с ценой деления 0,01 мм. Технические условия. – М.: Изд-во стандартов, 2000. – 10 с.
- 17 ГОСТ 24966-81. Скобы двусторонние для контроля толщины зубьев шлицевых валов с прямобочным профилем. Конструкция и размеры. – М.: Изд-во стандартов, 1982. 2 с.
- 18 Режимы резания для токарных и сверлильно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник / под ред. В.И. Гузеева, – 2-е изд., перераб

					<i>ЮУрГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>61</i>

и доп. – М.: Машиностроение, 2007. 368 с.

19 ГОСТ 1139–80. Основные нормы взаимозаменяемости. Соединения шлицевые прямобочные. Размеры и допуски. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 12 с.

20 ГОСТ 30893.1-2002. Основные нормы взаимозаменяемости. Общие допуски. Предельные отклонения линейных и угловых размеров с неуказанными допусками. – Минск: Изд-во стандартов, 2002. – 215 с.

21 ГОСТ 4543–2016.Metalлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия. – М.: Изд-во Стандартиформ, 2017. – 54 с.

					<i>ЮЧРГУ-23.03.02.2020.011.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		62