

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Техническая эксплуатация автомобилей»

# МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Методические рекомендации к курсовому проектированию  
для студентов специальности  
1-37 80 01 «Транспорт»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2021

УДК 691.113.004  
ББК 39.33-08  
М38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»  
«23» сентября 2021 г., протокол № 2

Составители: канд. техн. наук, доц. О. В. Билык;  
ст. преподаватель Е. А. Моисеев;  
ст. преподаватель С. Ю. Билык;  
ст. преподаватель А. В. Юшкевич;  
ассистент Г. С. Мигурский

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. В. Лесковец

Методические рекомендации к курсовому проектированию предназначены  
для студентов специальности 1-37 80 01 «Транспорт».

Учебно-методическое издание

## МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Ответственный за выпуск	О. В. Билык
Корректор	А. А. Подошевко
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать 24.11.2021 . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 1,86 . Уч.-изд. л. 2,0 . Тираж 26 экз. Заказ № 838.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т, Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2021

## Содержание

Введение.....	4
1 Цель изучения дисциплины .....	5
2 Определение назначения, оценка условий и режимов работы проектируемого транспортного средства.....	6
3 Выбор автомобиля-прототипа и анализ его технической характеристики и значений показателей эксплуатационных свойств.....	11
4 Проектировочный тяговый расчет транспортного средства.....	12
5 Обзор и анализ конструкций агрегатов, узлов, механизмов или систем транспортного средства, подлежащих разработке.....	22
6 Патентный поиск.....	23
7 Функциональный и прочностной расчеты.....	24
8 Техническая характеристика транспортного средства.....	30
9 Требования к заключению.....	31
Список литературы.....	32

## Введение

Дисциплина «Методология проектирования транспортных средств» является основополагающей при подготовке специалистов высшей квалификации по специальности 1-37 80 01 «Транспорт».

Курсовое проектирование имеет своей целью:

– расширение и закрепление теоретических и практических знаний по методологии проектирования транспортных средств, их агрегатов, узлов, механизмов и систем; применение этих знаний к решению конкретных научных и производственных задач;

– развитие навыков самостоятельной работы;

– приобретение знаний и развитие навыков, способствующих эффективной эксплуатации автомобилей в соответствии с их назначением и техническими характеристиками.

Задачи курсового проектирования:

– определение назначения, оценка условий и режимов работы проектируемого транспортного средства;

– выбор автомобиля-прототипа и анализ его технической характеристики и значений показателей эксплуатационных свойств;

– выполнение проекторочного тягового расчета транспортного средства;

– выполнение поверочного тягового расчета транспортного средства;

– выполнение топливно-экономического расчета транспортного средства;

– анализ конструкции агрегата, узла, механизма или системы транспортного средства, подлежащих разработке;

– выполнение патентного поиска;

– выполнение функционального и прочностного расчетов разрабатываемого агрегата, узла, механизма или системы транспортного средства;

– составление технической характеристики спроектированного транспортного средства.

Курсовой проект состоит из пояснительной записки (объем 30...40 с) и графической части (3 листа формата А1), выполняемых в соответствии с действующими техническими нормативно-правовыми актами [1].

В задании приводятся основные исходные данные. Недостающие данные необходимо взять из справочной литературы.

## 1 Цель изучения дисциплины

Целью учебной дисциплины является развитие системного мышления, формирование знаний и умений конфигурации разнопредметных знаний для проектирования и моделирования транспортных средств.

Задачами учебной дисциплины является изучение системного подхода и его возможностей при решении проблем при проектировании транспортных средств, а также методологии проектирования транспортных средств, совершенствования методов моделирования и анализа результатов моделирования транспортных средств.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен:

– знать:

- а) методологию проектирования сцепления;
- б) общую компоновку и расчет элементов коробки передач;
- в) методологию проектирования подвески;
- г) методологию проектирования тормозов;
- д) методологию проектирования заднего моста;
- е) методологию проведения системного анализа, направленного на решение проблем принятия оптимального решения на основе выбора из многих возможных альтернатив;
- ж) методы решения стратегических проблем, требующих выработки комплексной цели и многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности;
- з) фундаментальные принципы, которые необходимо соблюдать при формировании системной методологии и ее практической реализации.
- и) методы определения параметров соответствия транспортных средств;

– уметь:

- а) составлять алгоритмы проведения моделирования систем транспортных средств;
- б) разрабатывать порядок оценки соответствия транспортных средств;
- в) моделировать и оптимизировать конфигурации транспортных средств;
- г) составлять научно-технические отчеты о результатах моделирования;
- д) проводить системный анализ, направленный на решение проблем принятия оптимального решения на основе выбора из многих возможных альтернатив;

– владеть:

- а) методами моделирования процессов систем транспортных средств;
- б) методами обработки и анализа результатов моделирования;

в) методами решения стратегических проблем, требующих выработки комплексной цели и многокритериальной оптимизации в условиях неопределенности;

г) методами определения параметров соответствия транспортных средств.

## **2 Определение назначения, оценка условий и режимов работы проектируемого транспортного средства**

По назначению транспортные средства подразделяются на пассажирские, грузовые и специальные.

Пассажирские транспортные средства предназначены для перевозки пассажиров, грузовые – грузов. Специальные транспортные средства не выполняют транспортную работу, т. е. не перевозят пассажиров или грузы. Они перевозят только специальное оборудование, установленное на них. К специальным транспортным средствам относятся пожарные, уборочные автомобили, автомастерские, автолавки, автокраны, автовышки и т. п.

Пассажирские транспортные средства вместимостью до 8 человек, не считая водителя, относятся к легковым, свыше 8 человек – к автобусам.

Грузовые транспортные средства могут быть общего назначения или специализированными. Грузовые транспортные средства общего назначения имеют опрокидывающийся бортовой кузов, который может быть оборудован дугами и тентом. Специализированные грузовые транспортные средства предназначены для перевозки определённого вида груза. Например, панелевоз – для перевозки плит и панелей, самосвал – для перевозки сыпучих грузов, бензовоз – для перевозки светлых нефтепродуктов и т. п. Специализированные грузовые транспортные средства оборудуются специальными кузовами и оборудованием для перевозки того вида груза, для которого они предназначены.

Транспортные средства могут эксплуатироваться с прицепом, полуприцепом или прицепом-ропуском.

Прицеп – это буксируемое транспортное средство без водителя, в котором лишь незначительная часть его полной массы передается на буксирующий автомобиль.

Полуприцеп – это буксируемое транспортное средство без водителя, значительная часть полной массы которого передается на буксирующий автомобиль.

Прицеп-ропуск – это прицеп, предназначенный для перевозки длинномерных грузов, часто имеющий дышло изменяющейся длины.

Транспортное средство, буксирующее прицеп, полуприцеп или прицеп-ропуск, называется тягачом.

Тягач, предназначенный для буксировки полуприцепа, оборудуется опорно-сцепным устройством (другое название – седельно-сцепное устройство или просто седло) и называется седельным тягачом.

Состав транспортных средств, состоящий из тягача и буксируемого им одного, двух или нескольких прицепов (полуприцепов, прицепов-ропусков), называется автопоездом (автомобильным поездом).

Классификация – это разделение транспортных средств на группы, классы или категории в зависимости от конструкции, назначения или технических особенностей.

Цифровой индекс транспортного средства (прицепа, полуприцепа) следует начинать расшифровывать со второй цифры.

Вторая цифра указывает на тип (вид) транспортного средства:

- 1 – легковой автомобиль;
- 2 – автобус;
- 3 – грузовой автомобиль (общего назначения);
- 4 – седельный тягач;
- 5 – самосвал;
- 6 – цистерна;
- 7 – фургон;
- 8 – резерв;
- 9 – специальный автомобиль.

Для прицепов и полуприцепов вторая цифра является показателем типа прицепа (полуприцепа), как правило, соответствующего типу тягача:

- 1 – прицеп (полуприцеп) для легкового автомобиля;
- 2 – прицеп (полуприцеп) для автобуса;
- 3 – прицеп (полуприцеп) грузовой (общего назначения);
- 4 – не применяется;
- 5 – прицеп (полуприцеп) самосвал;
- 6 – прицеп (полуприцеп) цистерна;
- 7 – прицеп (полуприцеп) фургон;
- 8 – резерв;
- 9 – специальный прицеп (полуприцеп).

Первая цифра обозначает класс автомобиля.

Легковые автомобили классифицируют по рабочему объему двигателя, грузовые – по полной массе, автобусы – по габаритной длине.

В соответствии с отраслевой нормалью ОН 025270–66 легковые автомобили подразделяются на пять классов в зависимости от рабочего объема двигателя.

В соответствии с отраслевой нормалью ОН 025270–66 грузовые автомобили подразделяются на семь классов в зависимости от их полной массы. Полной массой (разрешенной максимальной массой) автомобиля называется масса транспортного средства с грузом, водителем и пассажирами, установленная предприятием-изготовителем в качестве максимально допустимой.

В соответствии с отраслевой нормалью ОН 025270–66 автобусы подразделяются на пять классов в зависимости от их габаритной длины.

В настоящее время отраслевая норма ОН 025270–66 не носит обязательного характера, однако автозаводы Республики Беларусь в основном продолжают придерживаться её при цифровой индексации моделей вновь выпускаемых автомобилей.

Индексация иностранных автомобилей не соответствует отраслевой нормативной базе ОН 025270–66.

Для целей сертификации автотехники в Республике Беларусь используется международная классификация, основанная на рекомендациях Европейской экономической комиссии Организации объединённых наций (ЕЭК ООН).

В соответствии с классификацией, основанной на рекомендациях ЕЭК ООН, все автомобили, мотоциклы и прицепы предлагается разделить на следующие основные группы: L, M, N, O.

**Категория L** – механические транспортные средства, имеющие менее четырех колес, и квадроциклы.

**Категория L<sub>1</sub>**. Двухколесный мопед. Двухколесное транспортное средство, максимальная конструктивная скорость которого не превышает 50 км/ч, характеризующееся:

– при наличии двигателя внутреннего сгорания – рабочим объемом двигателя, не превышающим 50 см<sup>3</sup>;

– при наличии электродвигателя – номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

**Категория L<sub>2</sub>**. Трехколесный мопед. Трехколесное транспортное средство с любым расположением колес, максимальная конструктивная скорость которого не превышает 50 км/ч, характеризующееся:

– при наличии двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием – рабочим объемом двигателя, не превышающим 50 см<sup>3</sup>;

– при наличии двигателя внутреннего сгорания другого типа – максимальной эффективной мощностью, не превышающей 4 кВт;

– при наличии электродвигателя – номинальной максимальной мощностью в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

**Категория L<sub>3</sub>**. Мотоцикл. Двухколесное транспортное средство, рабочий объем двигателя которого (при наличии двигателя внутреннего сгорания) превышает 50 см<sup>3</sup> и (или) максимальная конструктивная скорость (независимо от типа двигателя) превышает 50 км/ч.

**Категория L<sub>4</sub>**. Мотоцикл с коляской (боковым прицепом). Трехколесное транспортное средство с колесами, асимметричными по отношению к средней продольной плоскости, рабочий объем двигателя которого (при наличии двигателя внутреннего сгорания) превышает 50 см<sup>3</sup> и (или) максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) превышает 50 км/ч.

**Категория L<sub>5</sub>.** Трицикл. Трехколесное транспортное средство с колесами, симметричными по отношению к средней продольной плоскости транспортного средства, рабочий объем двигателя которого (при наличии двигателя внутреннего сгорания) превышает 50 см<sup>3</sup> и (или) максимальная конструктивная скорость (при любом двигателе) превышает 50 км/ч.

**Категория L<sub>6</sub>.** Легкий квадроцикл. Четырехколесное транспортное средство, ненагруженная масса которого не превышает 350 кг без учета массы аккумуляторов (в случае электрического транспортного средства), максимальная конструктивная скорость не превышает 50 км/ч, характеризующееся:

- при наличии двигателя внутреннего сгорания с принудительным зажиганием – рабочим объемом двигателя, не превышающим 50 см<sup>3</sup>;

- при наличии двигателя внутреннего сгорания другого типа – максимальной эффективной мощностью двигателя, не превышающей 4 кВт;

- при наличии электродвигателя – номинальной максимальной мощностью двигателя в режиме длительной нагрузки, не превышающей 4 кВт.

**Категория L<sub>7</sub>.** Квадроцикл. Четырехколесное транспортное средство (отличается от транспортного средства категории L<sub>6</sub>), ненагруженная масса которого не превышает 400 кг (550 кг для транспортного средства, предназначенного для перевозки грузов) без учета массы аккумуляторов (в случае электрического транспортного средства) и максимальная эффективная мощность двигателя не превышает 15 кВт.

**Категория M.** Механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и используемые для перевозки пассажиров.

**Категория M<sub>1</sub>.** Транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров и имеющие, помимо места водителя, не более восьми мест для сидения.

**Категория M<sub>2</sub>.** Транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, максимальная масса которых не превышает 5 т.

**Категория M<sub>3</sub>.** Транспортные средства, используемые для перевозки пассажиров, имеющие, помимо места водителя, более восьми мест для сидения, максимальная масса которых превышает 5 т.

**Категория N.** Механические транспортные средства, имеющие не менее четырех колес и предназначенные для перевозки грузов.

**Категория N<sub>1</sub>.** Транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, имеющие максимальную массу (полную массу) не более 3,5 т.

**Категория N<sub>2</sub>.** Транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, имеющие максимальную массу (полную массу) свыше 3,5 т, но не более 12 т.

**Категория N<sub>3</sub>.** Транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов, имеющие максимальную массу (полную массу) более 12 т.

**Категория O.** Прицепы (включая полуприцепы).

**Категория О<sub>1</sub>.** Прицепы, максимальная масса которых не более 0,75 т.

**Категория О<sub>2</sub>.** Прицепы, максимальная масса которых свыше 0,75 т, но не более 3,5 т.

**Категория О<sub>3</sub>.** Прицепы, максимальная масса которых свыше 3,5 т, но не более 10 т.

**Категория О<sub>4</sub>.** Прицепы, максимальная масса которых более 10 т.

**Транспортные средства специального назначения.** Согласно ГОСТ Р 52051–2003 транспортные средства категорий М, N и О могут быть отнесены к транспортным средствам специального назначения, которые предназначены для пассажирских и грузовых перевозок, связанных с выполнением специальных функций, для которых требуется наличие специального кузова и (или) специального оборудования. Обозначение категории транспортного средства специального назначения должно дополняться символом «С». Например, транспортное средство медицинской помощи категории М<sub>2</sub> должно иметь обозначение «М<sub>2</sub>С».

**Категория G.** Транспортные средства повышенной проходимости. К транспортным средствам повышенной проходимости относят транспортные средства категорий М и N, удовлетворяющие определённым в ГОСТ Р 52051–2003 требованиям, к которым относятся, например, требования к приводам колёс, дорожному просвету (клиренсу), максимальному преодолеваемому подъёму, углам въезда и съезда, наличию механизмов блокировки дифференциалов и некоторые другие.

При обозначении категории транспортного средства буквы М и N могут сочетаться с буквой G. Например, транспортное средство категории N<sub>1</sub>, которое отвечает требованиям к транспортным средствам повышенной проходимости, может обозначаться как N<sub>1</sub>G.

Технические характеристики автомобиля включают в себя:

- компоновочную схему, определяющую относительное расположение основных компонентов: двигателя, ведущих колес, пассажирского салона и багажника или кабины и платформы для груза;
- параметры конструкции, такие как сухая масса транспортного средства, база, рабочий объем двигателя, передаточное число главной передачи и т. д.;
- характеристики агрегатов и систем транспортного средства, представляющие их выходные показатели в виде зависимостей между переменными величинами (скоростная и нагрузочная характеристики двигателя, характеристики гидротрансформатора и т. д.).

Систематизированные значения параметров транспортных средств, которые необходимы народному хозяйству, населению и которые должна выпускать промышленность, сгруппированные по основным признакам, называются типажом автомобилей. В связи с непрерывным совершенствованием конструкции транспортных средств и методов эксплуатации типаж пересматривается каждые 5...10 лет.

Автомобиль как транспортное средство имеет следующие свойства: динамичность; топливную экономичность; курсовую устойчивость; управляемость; проходимость; маневренность; плавность хода; легкость управления; надежность; технологичность обслуживания и т. д.

Перечисленные свойства оценивают одним или несколькими показателями, например, динамичность легкового автомобиля – тремя показателями: временем разгона автомобиля с места до 100 км/ч, максимальной скоростью и показателем приспособляемости двигателя.

Степень пригодности транспортного средства для перевозки грузов или пассажиров в конкретных условиях эксплуатации (транспортных, дорожных и климатических) является мерой качества автомобиля. Поэтому свойства конкретного автомобиля в определенных условиях эксплуатации называются эксплуатационными качествами, а показатели свойств – показателями эксплуатационных качеств.

Определяющие факторы транспортных условий эксплуатации: годовой пробег, условия хранения (безгаражное, гаражное, в отапливаемом гараже), квалификация водителей и обслуживающего персонала и т. д.; для грузовых автомобилей, кроме того, это вид перевозимого груза, размеры упаковки, партионность (количество груза, перевозимое на одном автомобиле) и т. д.

Факторы дорожных условий: прочность дорожного покрытия, мостов и других сооружений, ровность дорожного покрытия, продольный профиль дороги, предельные величины уклонов, интенсивность движения и т. д.

Факторы, характеризующие климатические условия: средняя, минимальная и максимальная температура воздуха в наиболее холодные и жаркие месяцы года, продолжительность зимнего периода и сохранения снежного покрова, влажность воздуха в летний период.

На практике возможны самые различные сочетания факторов, определяющих условия эксплуатации, поэтому автомобили проектируют для наиболее распространенных сочетаний этих факторов.

### **3 Выбор автомобиля-прототипа и анализ его технической характеристики и значений показателей эксплуатационных свойств**

В разделе в соответствии с заданием к курсовому проектированию производят поиск серийно выпускаемого автомобиля, имеющего аналогичные или близкие к проектируемому автомобилю значения показателей эксплуатационных свойств.

В пояснительной записке представляются общая схема и фотографии автомобиля-прототипа (при наличии технической возможности), описываются основные технические характеристики автомобиля: грузоподъемность, собственная масса, масса буксируемого прицепа или полуприцепа (для седельных тягачей), максимальная скорость, скоростные и тормозные характеристики, габаритные размеры, внутренние размеры и вместимость грузовой платформы, погрузочная высота, дорожные просветы, база, колея, радиусы поворота, тип и размер шин, мощность и крутящий момент двигателя. Дополнительно можно указать и ряд других значений технических показателей.

В этом же разделе приводят сведения о соответствии автомобиля-прототипа требованиям, установленным действующими в Республике Беларусь техническим нормативно-правовым актам.

Кроме того, в обязательном порядке дается краткий анализ показателей эксплуатационных свойств автомобиля-прототипа, указываются пути совершенствования его конструкции.

## 4 Проектировочный тяговый расчет транспортного средства

### 4.1 Расчет внешней скоростной характеристики

Зависимость текущих значений эффективной мощности  $N_e$ , кВт, от угловой скорости вращения коленчатого вала устанавливается формулой

$$N_e = N_{\max} \left[ a \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - c \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right], \quad (4.1)$$

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

$\omega_N$  – значение угловой скорости вращения коленчатого вала, рад/с;

$a, b, c$  – коэффициенты, зависящие от типа и конструкции двигателя.

Для бензиновых ДВС  $a = b = c = 1,0$ ; для четырехтактных дизелей  $a = 0,53$ ;  $b = 1,56$ ;  $c = 1,09$ .

При расчете значения  $\omega_e$  принимаются от минимальной устойчивой скорости  $\omega_{\min} = 0,2\omega_N$  до максимальной  $\omega_{\max}$  (5...6 точек). Для бензиновых ДВС  $\omega_{\max} = (1,15...1,25) \omega_N$ , для дизелей  $\omega_{\max} = \omega_N$ .

Для расчета текущих значений крутящего момента  $M_e$ , кН·м, используется формула

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e}. \quad (4.2)$$

Принятые значения  $\omega_e$  и рассчитанные  $N_e$  и  $M_e$  сводятся в таблицу 4.1. По этим значениям строится внешняя скоростная характеристика двигателя.

## 4.2 Расчет передаточных чисел трансмиссии

4.2.1 Передаточное число главной передачи. Оно определяется по формуле

$$u_0 = \frac{\omega_{ev} \cdot r_k}{u_{КП6} \cdot v_{\max}}, \quad (4.3)$$

где  $\omega_{ev}$  – угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальной скорости, рад/с. Принимаем  $\omega_{ev} = \omega_{\max}$ ;

$u_{КП6}$  – передаточное число высшей ступени коробки передач;

$r_k$  – радиус качения колеса, м;  $r_k = \lambda r_n$ ;

$\lambda$  – коэффициент деформации шины. Для шин низкого давления 0,930...0,935; для шин высокого давления 0,945...0,950;

$r_n$  – номинальный радиус колеса, м;  $r_n = (0,5d + h) \cdot 10^{-3}$ . Значения диаметра обода  $d$  и высоты профиля  $h$  принимаются по маркировке шины, переведенной в миллиметры;

$v_{\max}$  – максимальная скорость автомобиля, м/с. Определяется из условия баланса мощности при движении на высшей передаче на дороге с коэффициентом дорожного сопротивления  $\psi_v$ .

Таблица 4.1 – Результаты расчета внешней скоростной характеристики двигателя, скоростной, тяговой и динамической характеристик и графиков ускорений автомобиля

Параметр		Размерность	Значение параметра					
$\omega_e$		рад/с	$0,2\omega_N$	$0,4\omega_N$	$0,6\omega_N$	$0,8\omega_N$	$\omega_N$	$1,2\omega_N$
$N_e$		кВт						
$M_e$		кН·м						
Первая передача $u_1 = \delta_1 =$	$v_1$	м/с						
	$P_{T1}$	кН						
	$P_{B1}$	кН						
	$P_{C1}$	кН						
	$D_1$	–						
	$j_1$	м/с <sup>2</sup>						
	$l/j_1$	с <sup>2</sup> /м						
<i>Примечание</i> – и т. д. по числу передач								

Условие баланса мощности при  $v_{\max}$  записывается в виде

$$10^3 N_{ev} \cdot \eta = N_D + N_B = M \cdot g \cdot \psi_v \cdot v_{\max} + k_v \cdot F \cdot v_{\max}^3, \quad (4.4)$$

где  $N_{ev}$  – эффективная мощность двигателя при максимальной скорости, кВт. В расчет принимается значение из таблицы 3.1 при  $\omega_{\max}$ ;

$\eta$  – КПД трансмиссии. Для автомобилей с колесной формулой 4×2  $\eta = 0,85...0,92$ ; с колесной формулой 4×4  $\eta = 0,82...0,87$ ; с колесной формулой 6×4  $\eta = 0,80...0,85$ ; с колесной формулой 6×6  $\eta = 0,78...0,82$ ;

$M$  – полная масса автомобиля, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$k_v$  – коэффициент сопротивления воздуха, имеющий значения: для легковых автомобилей  $0,15...0,35 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$ , для грузовых автомобилей  $0,50...0,70 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$ , для автобусов  $0,25...0,4 \text{ Н} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{м}^{-4}$ ;

$F$  – площадь лобового сопротивления автомобиля,  $\text{м}^2$ . Приблизительно можно определить как произведение колеи передних колес  $B$  на высоту автомобиля  $H$ :  $F = B \cdot H$ .

Решение уравнения баланса мощности и определение максимальной скорости может быть выполнено путем решения кубического уравнения вида  $v_{\max}^3 + p v_{\max} + q = 0$  по формуле Кардано

$$v_{\max} = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}}, \quad (4.5)$$

где  $p = \frac{M \cdot g \cdot \psi_v}{k_B \cdot F}$ ;

$$q = -\frac{N_{ev} \cdot \eta}{k_B \cdot F} \cdot 10^{-3}.$$

Расчитанные значения  $u_0$  и передаточные числа коробки передач округляются до второго знака после запятой.

**4.2.2 Передаточные числа коробки передач.** Передаточное число первой передачи, необходимое по условию преодоления максимального сопротивления дороги с заданным в задании  $\psi_{\max}$ , определяется по формуле

$$u_1 = \frac{M \cdot g \cdot \psi_{\max} \cdot r_k}{M_{\max} \cdot u_0 \cdot \eta \cdot 10^3}. \quad (4.6)$$

Значение  $M_{\max}$  принимается по таблице 4.1 или внешней скоростной характеристике двигателя.

Возможность реализации окружной силы на колесах автомобиля при передаточном числе  $u_1$ , определенном по выражению (4.6), проверяется по условию отсутствия буксования ведущих колес, передаточное число из которых определяется по формуле

$$u_{1\phi} = \frac{G_{\phi} \cdot \varphi_{\max} \cdot r_k \cdot m_i}{M_{\max} \cdot u_0 \cdot \eta \cdot 10^3}, \quad (4.7)$$

где  $\varphi_{\max}$  – максимальный коэффициент сцепления колес с дорогой;

$G_{\phi}$  – сцепной вес автомобиля. Для полноприводных автомобилей  $G_{\phi} = M \cdot g$ , для заднеприводных  $G_{\phi} = M_2 \cdot g$ , для переднеприводных  $G_{\phi} = M_1 \cdot g$ ;

$M_1$  – масса, приходящаяся на переднюю ось автомобиля;

$M_2$  – масса, приходящаяся на заднюю ось автомобиля;

$m_i$  – коэффициент перераспределения реакций, принимаемый для передней оси  $m_i = 0,7 \dots 0,8$ , для задней оси  $m_i = 1,2 \dots 1,3$ .

Если  $u_1$  по формуле (4.6) получится больше, чем рассчитанное по формуле (4.7), следует принять значение  $u_1$ , найденное по формуле (4.7).

Передаточное число первой передачи должно удовлетворять условию обеспечения минимально устойчивой скорости движения, принимаемой  $v_{\min} = 1,0 \dots 1,4$  м/с:

$$u_{1v} = \frac{\omega_{\min} \cdot r_k}{u_0 \cdot v_{\min}}, \quad (4.8)$$

где  $\omega_{\min}$  – минимальная устойчивая угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя, рад/с, принимаемая в расчете  $\omega_{\min} = 0,2 \cdot \omega_N$ .

Если передаточное число, определенное по формуле (4.8), больше найденного по формуле (4.6) или (4.7), оно принимается в качестве расчетного для первой передачи.

В основу выбора передаточных чисел промежуточных передач коробки передач положено условие постоянства средней мощности в процессе разгона автомобиля на всех передачах в одном и том же интервале угловой скорости коленчатого вала двигателя. Передаточное число  $i$ -й передачи для  $n$ -ступенчатой коробки передач с высшей прямой передачей в этом случае определяется по формуле

$$u_i = \sqrt[n-1]{u_1^{n-1}}. \quad (4.9)$$

### **4.3 Расчет кинематической скорости транспортного средства по передачам**

Кинематическая скорость автомобиля в функции угловой скорости коленчатого вала двигателя определяется по формуле

$$v_i = \frac{\omega_e \cdot r_k}{u_0 \cdot u_i}. \quad (4.10)$$

Значения скоростей записываются в соответствующие графы таблицы 4.1 и по ним строится график  $v(\omega)$ .

### **4.4 Тяговая характеристика транспортного средства**

Касательная сила тяги  $P_T$ , кН, на ведущих колесах автомобиля определяется по формуле

$$P_T = \frac{M_e \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta}{r_k}. \quad (4.11)$$

Силу сопротивления воздуха  $P_B$ , кН, можно найти по формуле

$$P_B = k_B \cdot F \cdot v^2 \cdot 10^{-3}. \quad (4.12)$$

Свободную силу тяги  $P_C$ , кН, вычисляют по формуле

$$P_C = P_T - P_B. \quad (4.13)$$

Подсчитанные значения  $P_T$ ,  $P_B$  и  $P_C$  заносятся в соответствующие графы таблицы 4.1 и строится график зависимостей  $P_T$ ,  $P_B$  и  $P_C(v)$ , называемый тяговой характеристикой автомобиля.

### **4.5 Динамическая характеристика транспортного средства**

Динамический фактор автомобиля определяется по выражению

$$D = \frac{P_C \cdot 10^3}{M \cdot g}. \quad (4.14)$$

Рассчитанные значения динамического фактора для каждой передачи при расчетных значениях угловой скорости коленчатого вала двигателя заносятся в соответствующие графы таблицы 4.1, и по ним строится динамическая характеристика автомобиля.

#### 4.6 Характеристики динамики разгона транспортного средства

4.6.1 Ускорение автомобиля. Ускорение автомобиля определяется из основного уравнения динамической характеристики по формуле

$$j_i = \frac{dv}{dt} = \frac{D - \psi_v}{\delta_i} \cdot g, \quad (4.15)$$

где  $D$  – динамический фактор;

$\psi_v$  – коэффициент дорожного сопротивления при предельных условиях движения (берется из задания);

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\delta_i$  – коэффициент учета вращения масс для  $i$ -й передачи.

$$\delta_i = 1 + \sigma_1 + \sigma_2 \cdot u_i^2, \quad (4.16)$$

где  $u_i$  – передаточное число коробки передач на рассчитываемой передаче.

Для одиночных автомобилей при нормальной нагрузке можно считать  $\sigma_1 = 0,03 \dots 0,05$ ;  $\sigma_2 = 0,04 \dots 0,06$ . Большие значения принимаются для более тяжелых автомобилей.

4.6.2 Время разгона автомобиля. Ускорение  $j = \frac{dv}{dt}$ , откуда  $dt = \frac{dv}{j}$ .

Интегрируя, получаем

$$T = \int_{v_{i-1}}^{v_i} \frac{dv}{j} = \frac{1}{j} \int_{v_{i-1}}^{v_i} dv. \quad (4.17)$$

Вычисление времени разгона по выражению (4.17) осуществляется с использованием графика обратных ускорений, для построения которого по данным ускорений  $j_i$  в таблице 4.1 вычислить обратные ускорения  $1/j_i$ . Вычисления производить до скорости, равной  $0,9 \cdot v_{\max}$ . Соответствующие этой скорости значения ускорения определяются по формуле (4.15).

Считая, что в каждом интервале скорости разгон автомобиля происходит с обратным ускорением, определенным по формуле

$$\frac{1}{j_{cpi}} = 0,5 \cdot \left( \frac{1}{j_{i-1}} + \frac{1}{j} \right), \quad (4.18)$$

время разгона автомобиля от скорости  $v_{i-1}$  до  $v_i$  рассчитывается по выражению

$$t_i = \frac{1}{j_{cpi}} (v_i - v_{i-1}). \quad (4.19)$$

Полное время разгона автомобиля от скорости  $v_0$  до  $0,9 \cdot v_{\max}$  определяется по выражению

$$T = \sum_{i=1}^n t_i = t_1 + t_2 + \dots + t_n. \quad (4.20)$$

Результаты расчета времени разгона сводятся в таблицу 4.2 и иллюстрируются графиком времени разгона.

Таблица 4.2 – Результаты расчета времени и пути разгона автомобиля

Номер интервала разгона	1	2	...	$n$
Скорость в начале интервала $v_{i-1}$ , м/с	$v_0$	$v_1$	...	$v_{n-1}$
Скорость в конце интервала $v_i$ , м/с	$v_1$	$v_2$	...	$v_n$
Обратное ускорение в начале интервала $1/j_{i-1}$ , с <sup>2</sup> /м	$1/j_0$	$1/j_1$	...	$1/j_{n-1}$
Обратное ускорение в конце интервала $1/j_i$ , с <sup>2</sup> /м	$1/j_1$	$1/j_2$	...	$1/j_n$
Среднее обратное ускорение $1/j_{cpi}$ , с <sup>2</sup> /м	$1/j_{cp1}$	$1/j_{cp2}$	...	$1/j_{cpn}$
Время разгона в интервале $t_i$ , с	$t_1$	$t_2$	...	$t_n$
Полное время разгона $T$ , с	$t_1$	$t_1 + t_2$	...	$t_1 + t_2 + t_n$
Средняя скорость в интервале $v_{cpi}$ , м/с	$v_{cp1}$	$v_{cp2}$	...	$v_{cpn}$
Путь разгона в интервале $S_i$ , м	$S_1$	$S_2$	...	$S_n$
Полный путь разгона $S$ , м	$S_1$	$S_1 + S_2$	...	$S_1 + \dots + S_n$

4.6.3 *Путь разгона автомобиля.* Скорость  $v = \frac{dS}{dt}$ , откуда  $dS = vdt$ .

Интегрируя, получаем

$$S = \int_{t_{i-1}}^{t_i} v dt = v \int_{t_{i-1}}^{t_i} dt. \quad (4.21)$$

Вычисление пути разгона по выражению (4.21) осуществляется с использованием графика времени. Площадь на графике времени разгона, ограниченная справа кривой  $T(v)$ , осью времени слева, линией  $T = \sum t_i$  сверху и осью скорости снизу, согласно выражению (4.21), представляет собой путь разгона автомобиля от скорости  $v_0$  слева и до  $0,9 \cdot v_{\max}$ .

Считая, что в каждом интервале времени разгона  $t_i$ , соответствующем принятым при построении графика времени разгона интервалам скорости, движение автомобиля происходит со средней скоростью, определяемой по формуле

$$v_{cpi} = 0,5(v_{i-1} + v_i), \quad (4.22)$$

путь его разгона от скорости  $v_{i-1}$  до  $v_i$ , проходимый за время  $t_i$ , рассчитывается по выражению

$$S_i = v_{cpi} \cdot t_i. \quad (4.23)$$

Полный путь разгона автомобиля от скорости  $v_0$  до  $0,9 \cdot v_{\max}$  определяется по выражению

$$S = \sum_{i=1}^n S_i = S_1 + S_2 + \dots + S_n. \quad (4.24)$$

Результаты расчета пути разгона сводятся в таблицу 4.2 и иллюстрируются графиком пути разгона.

#### **4.7 Расчет топливно-экономической характеристики транспортного средства**

Топливо-экономическая характеристика представляет зависимость путевого расхода топлива от скорости движения автомобиля при различных коэффициентах дорожного сопротивления.

При установившемся движении путевой расход топлива определяется по выражению

$$Q_S = 100 \cdot \frac{g_e \cdot N_3}{3,6 \cdot \rho \cdot v \cdot \eta}, \quad (4.25)$$

где  $g_e$  – удельный расход топлива, г/(кВт·ч);

$N_3$  – мощность, затрачиваемая на движение автомобиля, кВт;

$\rho$  – плотность топлива, принимаемая равной  $730 \text{ кг/м}^3$  для бензина и  $860 \text{ кг/м}^3$  для дизельного топлива;

$v$  – скорость автомобиля, м/с;

$\eta$  – КПД трансмиссии автомобиля.

Расчет топливно-экономической характеристики осуществляется с использованием данных расчета тягово-динамических характеристик автомобиля.

*4.7.1 Расчет баланса и степени использования мощности.* Расчет баланса мощности автомобиля выполняется на высшей передаче при двух значениях коэффициента дорожного сопротивления. Для этого при расчетных значениях угловой скорости коленчатого вала двигателя  $\omega_e$  и соответствующих им значениях скорости  $v_i$  автомобиля вычисляется следующее.

4.7.1.1 Мощность, подводимая к ведущим колесам автомобиля,

$$N_T = N_e \cdot \eta. \quad (4.26)$$

Значения  $N_e$  берутся из таблицы 4.1.

4.7.1.2 Мощность, необходимая для преодоления сопротивления воздуха,

$$N_B = P_B \cdot v. \quad (4.27)$$

Соответствующие значения  $P_B$ , кН, и  $v$ , м/с, берутся из таблицы 4.1.

4.7.1.3 Мощность, необходимая для преодоления дорожного сопротивления,

$$N_D = P_D \cdot v = M \cdot g \cdot \psi \cdot v \cdot 10^{-3}, \quad (4.28)$$

где  $M$  – полная масса автомобиля, кг;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$\psi$  – коэффициент дорожного сопротивления;

$v$  – скорость автомобиля, м/с.

Результаты расчета сводятся в таблицу 4.3 и иллюстрируются графиком баланса мощности. На график наносятся кривые  $N_e$ ,  $N_T$ ,  $N_B$ ,  $N_D$  и  $N'_D$ .

4.7.1.4 Степень использования мощности рассчитывается по выражению

$$I = N_3 / N_e \cdot \eta, \quad (4.29)$$

где  $N_3 = N_D + N_B$ .

4.7.1.5 Степень использования угловой скорости коленчатого вала двигателя рассчитывается по выражению

$$E = \frac{v_i}{v_N} = \frac{\omega_{ei}}{\omega_{eN}}, \quad (4.30)$$

где  $\omega_{ei}$  и  $v_i$  – текущие значения угловой скорости коленчатого вала двигателя и скорости автомобиля;

$\omega_{eN}$  и  $v_N$  – значения угловой скорости коленчатого вала двигателя и скорости автомобиля при максимальной мощности двигателя.

Результаты расчета  $N_3$ ,  $I$  и  $E$  заносятся в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты расчета баланса мощности и расхода топлива

Параметр	Размерность	Значение параметра					
		0,2 $\omega_N$	0,4 $\omega_N$	0,6 $\omega_N$	0,8 $\omega_N$	$\omega_N$	1,2 $\omega_N$
$\omega_e$	рад/с						
$v$	м/с						
$N_e$	кВт						
$N_e \cdot \eta$	кВт						
$N_B$	кВт						
При $\psi = \psi_v$	$N_D$	кВт					
	$N_3$	кВт					
	$I$	–					
	$k_I$	–					
	$E$	–					
	$k_E$	–					
	$g_e$	г/(кВт · ч)					
$Q_s$	л/100 км						

4.7.2 Расчет расхода топлива.

4.7.2.1 Удельный расход топлива определяется по формуле

$$g_e = g_{eN} \cdot k_I \cdot k_E, \quad (4.31)$$

где  $g_{eN}$  – удельный расход топлива двигателем при максимальной мощности, г/(кВт·ч), принимаемый на 5 %...10 % больше минимального удельного расхода  $g_{emin}$ , задаваемого в задании;

$k_{II}$  – коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от степени использования мощности  $II$ , определяемый при приближенных расчетах по выражениям:

– для дизельных двигателей

$$k_{II} = 1,2 + 0,14II - 1,8II^2 + 1,46II^3 ; \quad (4.32)$$

– для бензиновых двигателей

$$k_{II} = 3,27 - 8,22II + 9,13II^2 - 3,18II^3 ; \quad (4.33)$$

где  $k_E$  – коэффициент, учитывающий изменение  $g_e$  в зависимости от степени использования угловой скорости коленчатого вала двигателя  $E$ , определяемый для всех типов автомобилей по выражению

$$k_E = 1,25 - 0,99E + 0,98E^2 - 0,24E^3 . \quad (4.34)$$

Результаты расчета  $k_{II}$ ,  $k_E$  и  $g_e$  заносятся в таблицу 4.3.

4.7.2.2 Путь расход топлива рассчитывается по выражению (4.25).

Результаты расчета заносятся в таблицу 4.3 и представляются в виде топливно-экономической характеристики автомобиля. Кривая  $Q_s(v)$  при значении коэффициента дорожного сопротивления  $\psi = \psi_v + 0,005$  строится до значения скорости  $v'_{max}$ , соответствующего балансу мощности при этом коэффициенте дорожного сопротивления и определяемого по перпендикуляру, опущенному на ось скоростей из точки  $A'$  на графике баланса мощности.

## **5 Обзор и анализ конструкций агрегатов, узлов, механизмов или систем транспортного средства, подлежащих разработке**

На предварительном этапе требуется провести анализ известных технических решений заданного для разработки или модернизации агрегата, механизма или системы транспортного средства, уточнить назначение и взаимосвязь деталей рассматриваемого механизма или системы прототипа, подготовить обоснование целесообразности доработки тех или иных элементов. Принятые решения необходимо согласовать с руководителем.

Следует привести схему сборки агрегата, узла (взять из каталога деталей автомобиля-прототипа), а также в обязательном порядке классификацию известных конструктивных схем, лежащих в основе конструкции разрабатываемого (модернизируемого) агрегата, узла или системы.

Далее нужно привести принципиальную схему разрабатываемого (модернизируемого) агрегата, узла или системы с описанием его устройства и принципа работы.

На завершающем этапе необходимо указать недостатки конструкции прототипа разрабатываемого (модернизируемого) агрегата, узла.

## **6 Патентный поиск**

Патентные исследования – это исследования технического уровня и тенденций развития объектов техники, их патентоспособности, патентной чистоты, конкурентоспособности на основе патентной и иной информации.

По своему характеру и содержанию патентные исследования относятся к прикладным научно-исследовательским работам. Патентные исследования проводятся как в виде самостоятельной научно-исследовательской работы, так и в составе работ субъекта хозяйствования.

Проведение патентных исследований регламентируется Государственным стандартом Республики Беларусь СТБ 1180–99 *Патентные исследования. Содержание и порядок проведения*.

Основной составляющей патентных исследований является патентный поиск, который представляет собой специализированный информационный поиск. Патентный поиск – это процесс отбора соответствующих запросу документов или сведений по одному или нескольким признакам из массива патентных документов или данных (при этом осуществляется процесс поиска из множества документов и текстов только тех, которые соответствуют теме или предмету запроса).

Предмет поиска определяют исходя из конкретных задач патентных исследований, особенностей объекта (устройство, способ, вещество), а также из того, какие его элементы, параметры, свойства и другие характеристики предполагается исследовать.

Среди основных целей патентного поиска можно назвать проверку уникальности изобретения, поиск изобретателей или компании, получивших патенты на изобретения в той же области, поиск патентов на какой-либо продукт, поиск потенциальных лицензиаров, поиск дополнительных информационных материалов.

Основные виды патентного поиска: предметный, именной (или фирменный), нумерационный, патентов-аналогов. Выбор типа патентного поиска определяется как необходимой глубиной поиска и временными ограничениями, так и поисковыми возможностями лица или организации, проводящих поиск.

Предметный поиск является основным и чаще всего применяемым. При этом виде поиска формулируется техническая задача (предмет поиска), выбором рубрики (рубрик) патентной классификации ограничивается тематическая область поиска, выявляются и анализируются патентные материалы, относящиеся к ней за необходимый временной промежуток.

Именной (или фирменный) поиск проводится в том случае, когда известны имя (имена) изобретателя (изобретателей) или названия фирм. Этот вид поиска дополняет предметный поиск.

В рамках курсового проекта необходимо выбрать патент на деталь агрегата, системы или механизма автомобиля, которая будет являться прототипом для разработки проектных решений и будет представлена на третьем листе графической части. В качестве источников информации можно использовать патенты, реферативные журналы; каталоги двигателей, агрегатов и узлов автомобилей, имеющиеся в компьютерном классе кафедры в формате pdf, а также ресурсы, размещенные в сети Интернет ([www.fips.ru](http://www.fips.ru), [www.autoreview.ru](http://www.autoreview.ru), на английском языке – [www.sae.org/automag](http://www.sae.org/automag), [www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com)).

В краткой форме следует представить обоснование выбора прототипа (описать, насколько подобны по конструкции проектируемая деталь агрегата, механизма или системы автомобиля и прототип, при необходимости привести особенности прототипа), подробно описать элементы конструкции механизма или системы прототипа, которые в соответствии с заданием указаны для детальной разработки.

Сборочный чертеж агрегата, узла или системы нужно представить на 1–2 листах формата А1, детализовку с рабочими чертежами спроектированных деталей также на 1–2 листах формата А1.

## **7 Функциональный и прочностной расчеты**

Проектный расчет предлагаемой конструкторской разработки по шасси транспортного средства имеет целью определение основных параметров деталей проектируемого узла (системы, агрегата). В разделе должны быть приведены схемы сил и моментов, описан характер нагрузок, действующих на узел в процессе эксплуатации автотранспортного средства, представлен прочностной расчет основных деталей проектируемого узла, определены основные параметры узла, размеры деталей, их конфигурации, взаимные расположения деталей. В процессе расчетов выбирают марки конструкционных материалов, назначают режимы термообработки, определяют необходимый запас прочности.

Раздел должен также включать описание конструкторской разработки и принцип ее действия, элементы технического обслуживания и особенности технической эксплуатации.

Объем раздела составляет 12–15 страниц.

Расчет конструкторской разработки типового характера производится в следующей последовательности:

- постановка задачи расчета;
- составление расчетной схемы (эскиза);
- выбор исходных данных для расчета и принимаемые допущения;
- анализ полученных результатов.

#### *Расчет сцепления.*

Исходными данными для расчета сцепления являются тип автомобиля и момент двигателя.

В процессе разработки принятого варианта сцепления выполняются следующие операции:

- расчет силовых параметров сцепления (статического момента трения, усилия сжатия дисков) и выбор размеров основных элементов сцепления;
- расчет показателей нагруженности (работы буксования, удельной работы буксования, нагрева дисков) и их сравнительная оценка с аналогами и допустимыми значениями;
- расчет отдельных элементов на прочность и расчет упругих характеристик пружин;
- расчет привода сцепления.

Алгоритм расчета. По известному значению максимального крутящего момента двигателя и принятому коэффициенту запаса муфты сцепления рассчитывается статический момент трения, передаваемый сцеплением.

Определяется нажимное усилие на диски (сила сжатия диска), необходимое для передачи расчетного момента сцепления, исходя из момента трения.

В соответствии с действующими стандартами окончательно принимаются основные параметры и размеры ведомого и нажимного дисков.

Выполняются расчеты и оценка показателей нагруженности сцепления:

- работы буксования; она сравнивается со значением работы буксования аналогов;
- удельной работы буксования в зависимости от размеров сцепления и сравнения с ее допустимым значением;
- прироста средней температуры нажимного диска при трогании автомобиля с места; повышение средней температуры сравнивается с допустимым значением.

Проводится расчет элементов сцепления на прочность:

- параметров и упругой характеристики пружин (винтовых или диафрагменных), а также напряжений, возникающих при их работе;
- параметров и прочностной характеристики шлицев ступицы ведомого диска, пластин крепления нажимного диска к кожуху, рычагов включения других деталей.

В соответствии с выбранным типом и схемой привода сцепления выполняется кинематический расчет привода сцепления с учетом существующих ограничений по полному ходу педали сцепления и допустимого усилия, которое может быть приложено к педали. В зависимости от конструктивного исполнения детали

привода могут рассчитываться на изгиб, изгиб и кручение, а тяги – на продольную устойчивость.

#### *Расчет механической коробки передач.*

Исходными данными для расчета коробки передач являются максимальный крутящий момент двигателя и передаточные числа коробки передач.

В процессе проектирования коробки передач выполняются следующие операции:

- расчет основных параметров коробки передач по базовому размеру;
- кинематический расчет (числа зубьев каждой пары зубчатых колес, удовлетворяющих ранее рассчитанным передаточным числам);
- статический расчет (расчет на прочность зубьев шестерен и колес, а также на прочность и жесткость валов; расчет шлицевых и шпоночных соединений; расчет подшипников и КПД);
- расчет элементов управления коробкой передач (выбор типа исполнительного механизма переключения передач и его привода, расчет синхронизаторов).

Алгоритм расчета. Определение числа степеней и передаточных чисел коробки передач на различных передачах:

- выбор типа коробки передач;
- разработка кинематической схемы коробки передач.

Расчет и выбор массогабаритных размеров коробки передач:

- межосевого расстояния (базового размера);
- параметров зубчатых колес и числа зубьев сопряженных пар зубчатых колес;
- объема картера (длины и ширины);
- диаметров валов, размеров и типов подшипников;
- КПД коробки передач.

Расчет момента на первичном валу и деталей коробки передач на прочность и жесткость:

- зубчатых колес на изгиб и контактную прочность зубьев;
- валов в опасных сечениях на изгиб и кручение, прогиб валов (вычерчивается расчетная схема, определяются реакции опор, максимальные изгибающие моменты в опасных сечениях);
- в подшипниках (определяются статическая, динамическая грузоподъемности или приведенная нагрузка, ресурс работы подшипника  $L_h$  в часах).

#### *Расчет карданной передачи.*

Исходными данными для расчета карданной передачи является максимальный крутящий момент двигателя и передаточные числа коробки передач. Проводится, как правило, проверочный расчет карданной передачи. В процессе разработки карданной передачи выполняются следующие операции:

- выбор кинематической и конструктивной схем и разработка конструкции карданной передачи;

- расчет и выбор основных параметров карданного вала;
- расчет деталей карданного вала на прочность.

Алгоритм расчета. Разработка кинематической и конструктивной схем карданной передачи.

Расчет и выбор основных параметров карданного вала:

– длины карданного вала (определяются максимальные частота вращения (критическая) и крутящий момент на низшей передаче, проводится выбор размеров наружного и внутреннего диаметров вала, определяется допустимая длина вала);

– размеров карданного шарнира (проводится по ОСТ 37.001.086–76 *Шарниры карданные неровных угловых скоростей. Основные размеры и технические требования*;

– типа и размеров шлицевого соединения (по ГОСТ 1139–80);

– крестовины карданного вала (определяется расчетный крутящий момент на карданном валу условно сосредоточенной нормальной силы, действующей в середине шипа крестовины, напряжения изгиба и среза шипа);

– вилки карданного вала (определяются напряжения изгиба и кручения в опасном сечении вилки);

– игольчатых подшипников (определяются эквивалентный крутящий момент, радиальная нагрузка на подшипник, фактор качательного движения в подшипнике, поправочные коэффициенты и расчетный срок службы игольчатого подшипника);

– трубы карданного вала (руководствуясь критической частотой вращения вала, определяют напряжение кручения и угол закручивания трубы).

*Расчет главной передачи.*

Исходными данными для расчета главной передачи являются максимальный крутящий момент двигателя и передаточное число коробки передач. В процессе разработки главной передачи выполняются следующие операции:

– выбор кинематической и конструктивной схем главной передачи;

– выбор типа (коническая или цилиндрическая) зубчатой передачи, определение сил в зацеплениях;

– расчет валов главной передачи на прочность (по эквивалентным напряжениям) и жесткость; точность установки и перемещения зубчатых колес с предварительным натягом подшипников ведущего и ведомого валов и выбор подшипников;

– расчет отдельных деталей главной передачи: картера, втулок, болтов и т. п.

Алгоритм расчета. Разработка конструктивной схемы главной передачи.

Выбор типа зубчатой передачи и расчет зубчатого зацепления:

– главной передачи на прочность (определяется расчетный крутящий момент); составляющих сил (окружной, осевой, радиальной), действующих в зубчатом зацеплении; опорных реакций. Выполняется прочностной расчет зубчатого зацепления (по изгибным и контактными напряжениям);

– валов главной передачи (определяются изгибающие, скручивающие и приведенные моменты, строятся эпюры; определяются опасные сечения и рассчитываются напряжения изгиба и кручения в этих сечениях);

– подшипников валов главной передачи на динамическую грузоподъемность (для средних нагрузочных и скоростных режимов движения автомобиля).

*Расчет дифференциала.*

Исходными данными для расчета дифференциалов являются максимальный крутящий момент двигателя, передаточные числа коробки передач и главной передачи.

В процессе разработки принятого варианта дифференциала выполняются следующие операции:

- расчет дифференциала с определением его КПД;
- расчет полуосевых шестерен и сателлитов;
- расчет на прочность крестовин.

Алгоритм расчета. В зависимости от принятого дифференциала определить его коэффициент блокировки, предварительно рассчитав моменты на отстающем и забегающем колесах.

Определить габаритные размеры дифференциала и КПД с моментами трения в дифференциале и его корпусе.

Расчет шестерен и сателлитов дифференциала:

- определяется окружная сила, действующая на один сателлит;
- рассчитываются напряжения изгибов в зубьях шестерен и сателлитов.

*Расчет мостов.*

Исходными данными для расчета ведущих мостов являются максимальный крутящий момент двигателя, передаточные числа коробки передач и главной передачи. В ведущем мосту подлежат расчету балка моста (подрамник) и полуоси (привод к ведущим колесам).

В процессе разработки мостов автомобиля выполняются следующие операции:

- прочностной расчет балок управляемых и ведущих мостов;
- расчет полуосей при различных условиях нагружения;
- расчет действующих усилий (напряженного состояния) и подбор подшипников для отдельных элементов моста.

Алгоритм расчета балок мостов и полуосей колес. Расчет сил и моментов, действующих на мосты (при условии действия максимальной силы тяги на колеса, передачи поперечных сил, соответствующих максимальному сцеплению колес с опорной поверхностью).

Расчет на прочность балок управляемых мостов (приводится расчетная схема, определяются силы и моменты, действующие на мост; строится эпюра моментов; рассчитываются на прочность поворотные кулаки, шкив и шкворни; подбираются подшипники колес).

Расчет на прочность балок ведущих мостов (приводится расчетная схема; определяются силы и моменты, действующие на мост; строится эпюра моментов при различных условиях нагружения; подбираются подшипники ступиц колес).

*Расчет тормоза и тормозных приводов.*

В процессе разработки тормозов и тормозных приводов автомобиля выполняются следующие операции:

- выбор типа и основных размеров тормозного механизма и его привода;
- определение выходных параметров, обеспечивающих требуемую эффективность тормозной системы и устойчивость автомобиля при его торможении;
- прочностной расчет отдельных деталей тормозного механизма и его привода.

Алгоритм расчета. Выбор типа исполнения и основных размеров тормозного механизма и его приводов:

- составление схемы сил, действующих на автомобиль при его торможении;
- обоснование типа исполнения тормозного механизма и его привода;
- определение основных размеров тормозного механизма (по ОСТ 37001.016–70, ГОСТ 158353–70).

Определение выходных параметров тормозной системы:

- суммарного тормозного момента автомобиля и суммарных тормозных моментов по осям автомобиля;
- сил, действующих в тормозном механизме;
- удельной работы трения тормозного механизма и сравнительная оценка ее с допустимой величиной.

*Расчет подвески.*

В процессе разработки подвески автомобиля выполняются следующие операции:

- выбор типа подвески и определение ее типов кинематических параметров;
- расчет упругих элементов подвески и направляющего устройства;
- построение эпюры изгибающих моментов, действующих в подвеске.

Алгоритм расчета. Выбор типа исполнения подвески и определение ее параметров:

- обоснование типа исполнения подвески;
- разработка кинематической и расчетной схем выбранного типа подвески;
- расчет нагрузок, приходящих на оси (по известным координатам центра тяжести и полной массе автомобиля);
- расчет статических нагрузок, приходящихся на упругий элемент подвески;
- разработка расчетной схемы упругого элемента подвески;
- расчет нагрузок, приходящихся на упругий элемент подвески;
- расчет нагрузок, приходящихся на упругий элемент подвески в режиме разгона и торможения автомобиля.

Построение эпюр изгибающих моментов, действующих в подвеске:

- определение реакций опор в подвеске и изгибающих моментов;
- построение эпюр изгибающих моментов;
- определение опасных сечений и расчет возникающих в них напряжений.

*Расчет рулевого управления.*

В процессе разработки рулевого управления выполняются следующие операции:

- кинематический расчет рулевого управления;
- силовой расчет рулевого управления;
- прочностной расчет отдельных деталей рулевого управления.

Алгоритм расчета. Определение кинематических параметров рулевого управления:

- углов поворота управляемых колес;
- передаточных чисел рулевого механизма, его привода и рулевого управления в целом;
- параметров рулевой трапеции.

Определение сил, действующих в рулевом управлении:

- силы, необходимой для поворота управляемых колес на месте;
- силы, развиваемой усилителем (если они имеются);
- силы на рулевом колесе (с усилителем или без него).

Прочностной расчет и выбор размеров отдельных деталей рулевого управления:

- определение момента на рулевом валу и выбор диаметра рулевого вала (ОСТ 37.001.062–75);
- рулевого вала на кручение и жесткость;
- рулевого механизма (пары зубчатого зацепления: ролик-червяк, рейка-сошка и т. п.);
- сошки на изгиб и кручение;
- шарниров, рычагов и тяг по контактным напряжениям (размеры шаровых пальцев должны соответствовать ОСТ 37.001.233–80);
- продольных и поперечных тяг на устойчивость.

## **8 Техническая характеристика транспортного средства**

В данном разделе необходимо указать следующее: тип двигателя; номинальное значение мощности двигателя; номинальное значение частоты вращения коленчатого вала; номинальное и максимальное значения крутящего момента двигателя; количество передач в коробке передач проектируемого транспортного средства; передаточные числа каждой передачи, в том числе заднего

хода; путь и время разгона автомобиля до максимальной скорости; путевой расход топлива; марка применяемого топлива и обозначение технического регламента (технического нормативно-правового акта), по которому оно изготавливается и маркируется; несколько параметров, взятых из прототипа (снаряженная масса, колесная формула и т. д.).

## **9 Требования к заключению**

В разделе «Заключение» курсовой работы необходимо:

- указать, достигнута ли цель проектирования;
- привести количественные результаты расчетов (указать не менее пяти значений параметров из технической характеристики рассчитанного автомобиля);
- отразить качественные результаты расчетов (сделать краткое сравнение конструкции спроектированного (модернизированного) агрегата автомобиля с аналогичными по характеристикам серийно выпускаемым прототипом; указать особенности системы и/или механизма, которые, согласно заданию, требовалось детально проработать; пояснить, каким образом учитывались вопросы энерго- и ресурсосбережения, экологической безопасности в курсовом проекте).

## Список литературы

- 1 **Вахламов, В. К.** Автомобили. Основы конструкции: учебник / В. К. Вахламов. – 5-е изд., стер. – Москва: Академия, 2010. – 528 с.
- 2 **Иванов, А. М.** Автомобили. Конструкция и рабочие процессы: учебник / А. М. Иванов, С. Н. Иванов, Н. П. Квасновская; под ред. В. И. Осипова. – Москва: Академия, 2012. – 384 с.
- 3 **Карташевич, А. Н.** Тракторы и автомобили. Конструкция: учебное пособие / А. Н. Карташевич, О. В. Понталев, А. В. Гордеенко; под ред. А. Н. Карташевича. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2013. – 312 с.: ил.
- 4 **Савич, Е. Л.** Легковые автомобили: учебник / Е. Л. Савич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2013. – 758 с.: ил.
- 5 **Сазонов, И. С.** Теория автомобиля: учебное пособие / И. С. Сазонов, В. А. Ким, Ки Йонг Чой. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 164 с.: ил.
- 6 **Сазонов, И. С.** Автомобили и тракторы: учебное пособие / И. С. Сазонов, В. А. Ким. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2019. – 174 с. : ил.
- 7 **Березина, Е. В.** Автомобили: конструкция, теория и расчет: учебное пособие / Е. В. Березина. – Москва: АЛЬФА-М; ИНФРА-М, 2017. – 320 с.
- 8 **Савич, Е. Л.** Системы безопасности автомобилей / Е. Л. Савич, В. В. Капустин. – Минск: Новое знание, 2016. – 445 с.
- 9 **Безопасность, экономичность и повышение проходимости автомобильного транспорта: монография / В. В. Геращенко [и др.].** – Санкт-Петербург: Политехн. ун-т, 2018. – 154 с.
- 10 **Бондаренко, Е. В.** Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования / Е. В. Бондаренко, Р. С. Фаскиев. – Москва: Академия, 2016. – 304 с.
- 11 **Геращенко, В. В.** Методы и средства диагностирования и повышения эксплуатационных свойств автомобилей и их агрегатов: монография / В. В. Геращенко, Н. А. Коваленко, В. П. Лобах. – Могилев: Белорус.-Рос. ун-т, 2017. – 170 с.