

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Модернизация заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой
мотор-колес

Обучающийся

В.Е. Кондратьев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент И.В. Турбин

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

доцент Д.А. Романов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. филол. наук, доцент О.В. Мурдускина

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Модернизация заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес».

Цель работы – модернизация заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес.

Пояснительная записка включает в себя введение, шесть разделов, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложения, всего 109 страниц с приложениями.

Графическая часть представлена 10 листами формата А1, выполненными в инженерном программном обеспечении КОМПАС-3D.

Дипломный проект полностью соответствует утвержденному заданию на проектирование.

В первом разделе рассмотрены конструктивные особенности, виды компоновки мотор-редукторов, выполнен обзор основных конструкций существующих электромотор-колес, изучен принцип работы мотор-колеса.

Во втором разделе выполнен тягово-динамический расчёт автомобиля ГАЗель NEXT.

В третьем разделе выполнена конструкторская разработка мотор-редуктора для автомобиля ГАЗель NEXT, рассмотрено устройство гибридных автомобилей, разработана схема трансмиссии и кинематическая схема мотор-редуктора, выполнены прочностные и кинематические расчеты. В качестве конструкторской разработки предложена разработка мотор-колес на заднюю ось автомобиля ГАЗель NEXT.

В четвертом разделе выбрана организационная форма сборки, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки мотор-колеса.

В пятом разделе рассмотрены вопросы напрямую связанные с обеспечением безопасности и экологичности проекта.

В шестом разделе определена экономическая эффективность проекта.

В заключении сделаны выводы по дипломному проекту.

Abstract

The graduation project is devoted to the modernization of the rear-wheel drive car «GAZelle NEXT» with the development of motor-wheels.

The graduation project consists of: an introduction, six parts, a conclusion, a list of references, appendices, and the graphic part on 10 A1 sheets.

The key issue of the project is the construction development of the motor-wheels for the rear-wheel drive car «GAZelle NEXT» in order to improve the technical and economic properties of the car, reduce the harmful emissions into the atmosphere, and reduce the fuel consumption, both in autonomous as well as in combined modes of operation.

We touch upon the problem of improving and simplifying the design of the automobile transmission.

The use of motor-wheels and a plug-in hybrid allows to transfer a powerful traction force to the wheels. That allows to completely getting rid of the mechanical transmission: driveshafts, gearboxes, differentials, transfer cases.

The aim of the work is to modernization of the rear-wheel drive car «GAZelle NEXT» with the development of motor-wheels.

The graduation project may be divided into several logically connected parts, which are: the analysis of the design features and principles of motor-wheels operation, the motor-wheels layout types, the basic structures of existing electric motor-wheels; the traction and dynamic calculation of the «GAZelle NEXT» car; the design development of the motor-wheel for the «GAZelle NEXT» car; the review of the hybrid cars structures; the development of a transmission scheme and a kinematic scheme of a motor-wheel; the strength and kinematic calculations; the determination of the organizational form of assembly, labor intensity; the development of the technological process of assembling the designed motor-wheel.

We also study the safety and the ecological properties of the project.

Finally, we present the calculation of the economic efficiency of developing the stand.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	9
1.1 Конструктивные особенности мотор-редукторов	9
1.2 Обзор конструкций и принцип работы редукторов мотор-колес	14
1.3 Постановка цели и задач проектирования.....	29
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	30
2.1 Расчет максимальной мощности двигателя	30
2.2 Внешняя скоростная характеристика двигателя.....	31
2.3 Расчет передаточных чисел трансмиссии.....	33
2.4 Проверочный тяговый расчет автомобиля	37
2.5 Тяговая характеристика автомобиля.....	38
2.6 Динамическая характеристика автомобиля	40
2.7 Характеристики разгона автомобиля	41
2.8 Топливо-экономический расчет автомобиля	44
2.9 Расчет баланса и степени использования мощности.....	44
2.10 Расчет расхода топлива	48
3 Конструкторская часть	50
3.1 Выбор базового автомобиля и привязка разрабатываемой конструкции к нему.....	50
3.2 Устройство гибридных автомобилей.....	53
3.3 Разработка схемы трансмиссии автомобиля Газель NEXT	55
3.4 Разработка кинематической схемы мотор-редуктора	59
3.5 Прочностные и кинематические расчеты.....	59
4 Технологический раздел.....	71
4.1 Обоснование выбора технологического процесса.....	72
4.2 Проектирование технологического процесса сборки проектируемой трансмиссии с мотор-колесами для заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT	75

5 Производственная и экологическая безопасность проекта	79
5.1 Характеристика технологического процесса демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT с конструктивно-технологической и организационно-технической стороны	80
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	80
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	82
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	88
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT	91
6 Экономическая эффективность проекта.....	94
Заключение	102
Список используемой литературы и используемых источников.....	103
Приложение А. Спецификация.....	108

Введение

Данный дипломный проект выполнен на тему: «Модернизация заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес».

Для того чтобы начать изучать данную тему, предлагается рассмотреть историю создания и внедрения мотор-колес в гражданскую промышленность.

«Первые в истории патенты на подобные механизмы были получены в Америке Веллингтоном Адамсом из Сент-Луиса в 1884 году и еще через шесть лет – Альбертом Парселлом из Бостона, но «пионером» в деле практического применения мотор-колес стал Фердинанд Порше. В 1900 году на Всемирной выставке в Париже был показан его электромобиль Lohner-Porsche с передними ведущими электрическими мотор-колесами. В 1906 году патент на силовую установку был продан Daimler, и до начала Первой мировой войны компания выпустила более 300 электромобилей. Впоследствии эта технология не получила развития, и всерьез к ней вернулись лишь после Второй мировой войны в СССР» [22].

«В рамках советской лунной программы ленинградский ВНИИТрансмаш создал шасси для планетохода с использованием электрического мотор-колеса. В его герметичном модуле помещались редуктор, электромотор, тормоза и необходимые датчики. Аналогичные проекты разрабатывались NASA. В конце 1970-х в Новосибирске был создан первый прототип колеса-мотора для автомобиля «жигули». В 1979 году на Волжском автозаводе такие колеса были собраны в металле и тогда же экспонировались на советско-американском симпозиуме по электромобилям.

В 1980-1990-х годах исследования технологии мотор-колес с разным успехом велись практически всеми крупными автокомпаниями. Интересно, что наибольших успехов на этом поприще вновь добились наши соотечественники Александр Пунтиков и Борис Маслов. В 1998 году они запатентовали оригинальную концепцию мотора, имитирующего работу человеческих мышц (Adaptive motor), а в 2000 году создали в Америке

технологическую компанию Wavecrest Laboratories. Идея была успешно осуществлена на практике, и теперь мотор-колеса Пунтикова и Маслова используются в различных отраслях промышленности.

Другой россиянин, изобретатель Владимир Шкондин, еще в начале 1990-х разработал мотор-колесо собственной конструкции и запатентовал его в 28 странах мира. Уникальный механизм состоит всего из семи деталей. Стоит отметить еще одну интересную идею, родившуюся в России, – вариоколесо Н.В. Гулиа, М. Ференца и С.А. Юркова. Ученые предложили встроить бесступенчатый вариатор в ступицу колеса совместно с понижающей передачей. При более высокой сложности конструкции такое решение мотор-колеса дает серьезный выигрыш в компактности, массе и КПД» [25].

«Авто с электрическими мотор-колесами обладают рядом веских преимуществ перед традиционными. В первую очередь это отсутствие множества сложных и тяжелых передаточных механизмов между двигателем и колесом – сцепления, трансмиссии, приводных валов и дифференциалов. Во-вторых, отменная динамика: компактные и легкие электрические моторы способны развивать крутящий момент вплоть до 700 Н м даже на самых низких оборотах. В-третьих, управляемое мотор-колесо делает автомобиль чрезвычайно маневренным – ведь все колеса могут вращаться с разной скоростью и даже в разных направлениях. Машина способна разворачиваться на 360 градусов, парковаться в самых сложных условиях и мгновенно адаптироваться к качеству дорожного покрытия. В-четвертых, значительно упрощается конструкция важнейшей для электромобилей системы регенерации энергии торможения. Ну и в-пятых, ничто не сможет сравниться с мотор-колесом в обеспечении активной безопасности движения – все продвинутые электромеханические алгоритмы типа ABS, ESP, Traction Control, Brake Assist и так далее запросто прошиваются в управляющий софт и воздействуют на каждое отдельное колесо» [21].

«За перечисленные преимущества мотор-колесо расплачивается столь же существенными недостатками. Главный из них – масса механизмов, помещаемых внутрь обода. Высокооборотные электродвигатели мотор-колес нуждаются в понижающем редукторе. Он должен быть компактным и герметичным. Редуктор добавляет несколько килограммов к общей массе колеса. Для традиционных автомобилей лишний вес в конструкции трансмиссии не критичен. Но для колес действует совершенно другой принцип. Большая неподрессоренная масса, или, говоря проще, тяжелые колеса, резко снижает комфорт и управляемость, повышает износ подвески, передает на кузов вибрации. Оптимальный вес колеса для среднеразмерного автомобиля составляет от 10 до 30 кг без учета шины. Вписаться в эти жесткие рамки мотор-колесу очень непросто» [23].

Тема модернизации автомобиля с установкой мотор-колеса интересна по нескольким причинам:

- экономичность. Установка мотор-колеса может существенно снизить расход топлива автомобиля, что особенно актуально в условиях растущих цен на бензин и экологических проблем;
- экологичность. Мотор-колеса работают на электричестве, что дает возможность снизить выбросы вредных веществ в атмосферу;
- удобство. Мотор-колеса могут быть установлены на любой автомобиль, а также не требуют изменения конструкции автомобиля, что делает их установку достаточно простой и быстрой;
- экономия времени. Мотор-колеса обеспечивают более высокую скорость и ускорение автомобиля, что может значительно сократить время поездки;
- возможность использования в городских условиях. Мотор-колеса обеспечивают более тихую и комфортную езду в городских условиях, что делает их привлекательными для тех, кто часто ездит по городу.

1 Состояние вопроса

1.1 Конструктивные особенности мотор-редукторов

Электромотор-колесо (далее – ЭМК) представляет собой главный узел электромобиля, объединяющий множество компонентов, отвечающих за его движение. За счет высокой мощности и эффективности, ЭМК быстро набирает обороты и обеспечивает плавное, бесшумное и экономичное движение автомобиля. Он регулируется с помощью специального контроллера, что позволяет оптимизировать работу каждого из его элементов и обеспечить максимальную эффективность при минимальном расходе энергии. ЭМК становится все более популярным в мире, принимая участие в различных проектах, связанных с развитием современной транспортной технологии и экологически чистого транспорта.

Электромоторы постоянного тока и переменного тока с инверторным приводом - типы ЭМК, которые широко применяются в системе тягового электропривода. Оба типа моторов обладают высокой энергоэффективностью и позволяют достичь значительной мощности и скорости.

Диапазон регулирования у моторов переменного тока с инверторным приводом шире, чем у постоянного тока. Он может составлять от 0 до 3000 оборотов в минуту, в то время как у моторов постоянного тока этот диапазон ограничен и составляет от 0 до 400 оборотов в минуту. Однако, моторы постоянного тока лучше подходят для ситуаций, когда необходим высокий крутящий момент на низких скоростях.

При проектировании мотор-колеса необходимо учитывать несколько критериев. Один из главных - это максимальное значение момента при полной мощности, которое мотор-колесо способно выдержать. Этот параметр определяет максимальную скорость и ускорение, которые мотор-колесо может обеспечить. Еще одним важным критерием является вес мотор-

колеса, который должен быть как можно меньше, чтобы не увеличивать общий вес электрического привода и уменьшить расход энергии на его перемещение.

Таким образом, выбор типа мотора и проектирование мотор-колеса должны проводиться с учетом задачи, которую необходимо решить. Электроприводы, построенные на основе современных моторов, являются эффективными и экономичными решениями для различных сфер применения.

Компоновка электрического мотор-колеса представляет собой процесс размещения всех компонентов мотора, таких как статор, ротор, магниты, подшипники и другие детали, внутри колеса транспортного средства. Этот процесс может быть сложным по следующим причинам:

- ограниченное пространство: Размещение всех компонентов мотора внутри колеса ограничивает доступное пространство, что может создавать сложности при проектировании и сборке;
- вес и баланс: При компоновке мотор-колеса необходимо обеспечить правильный баланс веса, чтобы не создавать дополнительных нагрузок на подвеску и не снижать управляемость транспортного средства;
- теплоотвод: В процессе работы электрический мотор выделяет тепло, которое необходимо эффективно отводить. Ограниченное пространство внутри колеса может затруднять проектирование и реализацию эффективных систем теплоотвода;
- вибрации и шум: Мотор-колесо должно быть спроектировано таким образом, чтобы минимизировать вибрации и шум, которые могут возникать в процессе работы. Это может потребовать использования специальных материалов и конструкций;
- прочность и надежность: Компоненты мотор-колеса должны быть достаточно прочными и надежными для выдерживания нагрузок и воздействий, которым они подвергаются в процессе эксплуатации;

- обслуживание и ремонт: Компоновка мотор-колеса должна обеспечивать возможность доступа к его компонентам для проведения обслуживания и ремонта, что может быть затруднительно из-за ограниченного пространства;
- интеграция с другими системами: Мотор-колесо должно быть совместимо с другими системами транспортного средства, такими как тормозная система, система управления и электропитания. Это может потребовать дополнительной координации и согласования при проектировании и компоновке.

В целом, компоновка электрического мотор-колеса требует тщательного проектирования, учета множества факторов и компромиссов для обеспечения оптимальной работы и эффективности транспортного средства.

К редукторам мотор-колес предъявляются следующие требования:

- высокая мощность и эффективность: Редукторы мотор-колес должны обеспечивать высокую мощность и эффективность, чтобы обеспечить достаточную скорость и передавать крутящий момент для движения транспортного средства;
- надежность: Редукторы должны быть надежными и долговечными, чтобы обеспечить безопасность и устойчивость в работе;
- малый вес и компактность: Редукторы должны быть легкими и компактными, чтобы сэкономить место и улучшить маневренность транспортного средства;
- жесткость и точность: Редукторы должны иметь высокую жесткость, чтобы обеспечить точность в работе и уменьшить уровень шума и вибраций;
- адаптивность: Редукторы должны быть адаптивными к различным условиям эксплуатации, таким как температура, влажность, нагрузка и скорость;

- низкая стоимость: Редукторы должны быть доступны по цене для массового производства транспортных средств.

«Компоновка ЭМК должна предусматривать удобные подвод и отвод охлаждающего воздуха, а также создание в полости мотор-колеса воздуховода с минимально возможным аэродинамическим сопротивлением.

Важную роль при компоновке мотор-колеса играет выбор опоры для подшипников колеса. В качестве неподвижной (относительно рамы ТС) опоры внутренних обойм подшипников колеса можно использовать корпус электродвигателя или монтажный цилиндр, внутри которого размещен электродвигатель, корпус редуктора или опорную деталь, обычно располагаемую между электродвигателем и редуктором.

С точки зрения компоновки мотор-колеса установка опорных подшипников на монтажном цилиндре, внутри которого размещен электродвигатель, аналогична установке подшипников на корпусе электродвигателя. Однако введение дополнительной массивной детали крайне нежелательно, так как это ухудшает использование монтажного объема и увеличивает массу мотор-колеса. На практике монтажные цилиндры применяют в тех случаях, когда мотор-колесо создают на базе существующего электродвигателя с корпусом обычного исполнения» [12].

«При выборе опоры подшипников колеса следует принимать во внимание монтажные свойства мотор-колеса. Демонтаж опорных подшипников – операция трудоемкая и обычно требует съема мотор-колеса. Поэтому в качестве опоры для подшипников колеса не следует использовать деталь мотор-колеса, демонтаж которой может потребоваться в эксплуатации.

Наименее надежными и требующими определенного внимания в эксплуатации элементами ЭМК являются уплотнения. Их назначение – препятствовать утечке масла из корпуса редуктора и из полости опорных подшипников в стыке поверхностей двух вращающихся одна относительно другой деталей. Число уплотнений в выполненных образцах ЭМК обычно

составляет от двух до четырех в зависимости от компоновки. Одно из серьезных требований к компоновке ЭМК заключается в уменьшении числа уплотнений» [17].

«Серьезной проблемой при компоновке ЭМК является размещение механического тормоза. В ЭМК принципиально можно связать механический тормоз с одним из следующих элементов кинематической схемы:

- с валом электродвигателя или деталью, непосредственно связанной с валом;
- промежуточными звеньями редуктора;
- выходным звеном редуктора, жестко связанным с колесом» [2].

«Связь механического тормоза с валом электродвигателя позволяет предельно сократить размеры деталей тормоза и выполнить его как узел, монтируемый на корпусе электродвигателя. Существенно упрощается привод тормоза благодаря небольшим тормозным моментам. Компоновка мотор-колеса при использовании тормоза, связанного с валом электродвигателя, получается более простой, чем в случае применения колесного тормоза. Тем не менее механические тормоза, связанные с валом электродвигателя, не получили широкого распространения. Причины заключаются в пониженной эксплуатационной надежности по тепловому режиму, особенно при использовании быстроходных электродвигателей, и в необходимости передавать тормозные моменты через механическую передачу мотор-колеса. Следует также обеспечить свободный доступ для осмотра и обслуживания деталей тормоза, поскольку в тормозах этого типа наблюдается интенсивное изнашивание фрикционных элементов.

Связь механического тормоза с промежуточными звеньями редуктора встречает трудности компоновочного и конструктивного характера, вследствие чего это решение реализуют крайне редко. Тем не менее, оно обладает положительными свойствами: позволяет уменьшить размеры деталей механического тормоза по сравнению с размерами деталей колесного

тормоза и повышает эксплуатационную надежность по сравнению с надежностью тормоза, связанного с валом двигателя.

Связь механического тормоза с выходным звеном редуктора обеспечивает передачу тормозной силы непосредственно на колесо, что и обуславливает надежность механического тормоза в указанном исполнении. Однако тормозной момент на колесе при этом возрастает в соответствии с передаточным числом редуктора, соответственно возрастают и размеры деталей тормоза и его привода» [2].

«На стадии компоновки мотор-колеса также решают вопрос о размещении электрических проводов для питания обмоток электродвигателя. Эта задача при кажущейся элементарности часто накладывает существенные ограничения на выбор компоновки агрегата и предъявляет специфические требования к месту электрических выводов на корпусе или подшипниковых щитах электродвигателя и конструкции вводов» [12].

1.2 Обзор конструкций и принцип работы редукторов мотор-колес

«Редукторы мотор-колес транспортных машин в соответствии с назначением и необходимостью размещения полностью или частично внутри обода колеса должны обеспечивать:

- необходимое передаточное число в соответствии с заданными тягово-скоростными показателями транспортной машины;
- достаточно высокий КПД, позволяющий не только уменьшить расход топлива, но и упростить охлаждение редуктора;
- минимальный осевой размер и вес, обусловленный размещением редуктора и электродвигателя в ограниченном монтажном объеме внутри обода колеса;
- рациональную компоновку с другими элементами мотор-колеса;
- простоту в изготовлении и ремонте, надежность в эксплуатации.

Влияние передаточного числа на конструкцию редуктора сказывается в

том, что оно наряду с передаваемой мощностью определяет его размеры, и следовательно, возможность размещения внутри обода колеса. Передаточным числом определяется тип передачи редуктора или целесообразная комбинация типов передачи. От этого зависит возможность выполнения всех рядов редуктора с приблизительно одинаковым диаметральной размер, что позволяет наилучшим образом использовать монтажный объем внутри обода колеса, или возникает необходимость увеличения диаметрального размера одного ряда и размещения его вне обода» [3].

«По типу используемых передач редукторы мотор-колес могут быть с неподвижными осями валов, планетарными или комбинированными, т. е. состоящими как из планетарных передач, так и из передач с неподвижными осями валов. У подавляющего числа мотор-колес редукторы являются соосными, когда оси входного и выходного звена редуктора совпадают.

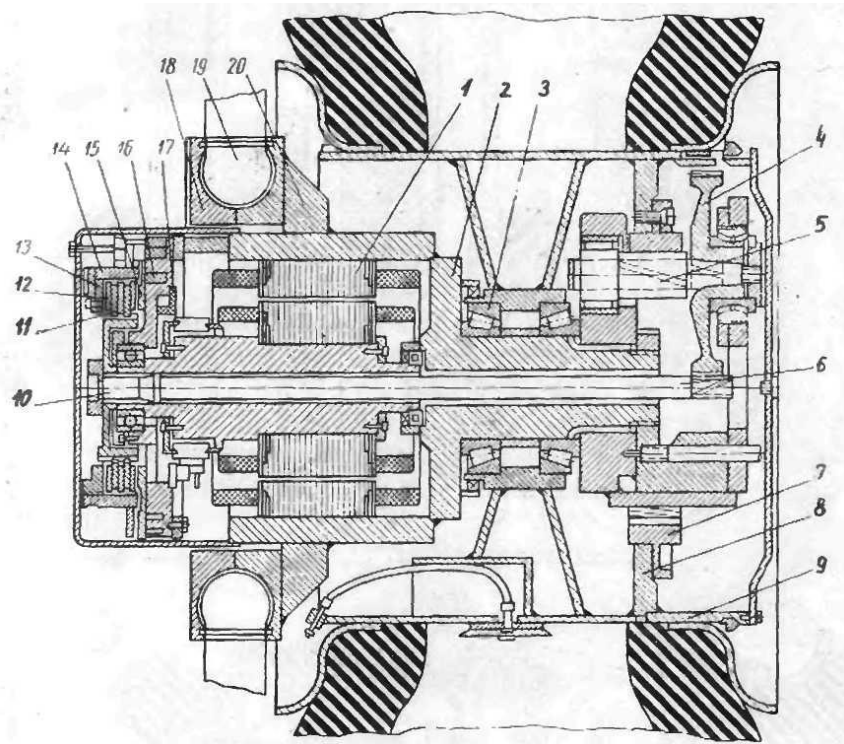
Редукторы с неподвижными осями делят на одно-, двух- и трехступенчатые в зависимости от числа ступеней зацепления. Планетарные редукторы в зависимости от числа планетарных рядов могут быть одно-, двух- и трехрядными.

Планетарные редукторы мотор-колес можно выполнять с одной или двумя параллельными кинематическими цепями. Выполнение редуктора с параллельными кинематическими цепями (при условии отсутствия циркулирующей мощности) способствует уменьшению веса и размеров редуктора» [21].

«Анализ конструкции разработанных и выполненных мотор-колес показывает, что характерной особенностью большинства редукторов является наличие хотя бы одной ступени, выполненной с внутренним зацеплением. Шестерни с внутренним зацеплением имеют большую несущую способность и по своему конструктивному исполнению лучше отвечают условиям рациональной компоновки мотор-колеса, чем шестерни с внешним зацеплением. При одинаковом передаточном числе диаметральный

размер передачи с внутренним зацеплением меньше, чем с внешним, но первая имеет несколько больший осевой размер» [24].

Рассмотрим особенности конструкции редукторов с неподвижными осями валов, которые применены в мотор-колесах, изображенных на рисунках 1, 2, 3, 4 и 5. Все эти редукторы двухступенчатые.



- 1 – электродвигатель; 2 – опора внутренних обойм подшипников колеса; 3 – подшипники колеса; 4 – ведомая шестерня первой ступени; 5 – ведущая шестерня второй ступени; 6 – торсионный вал; 7 – венечная шестерня; 8 – монтажное кольцо; 9 – обод; 10 – вал электродвигателя; 11 – подвижные диски тормоза; 12 – неподвижные диски тормоза; 13, 14 – детали крепления неподвижных дисков к корпусу электродвигателя; 15 – нажимной диск; 16 – пружины; 17 – обмотка электромагнитного привода; 18 – разъемные кронштейны; 19 – сферическая головка опоры; 20 – кольцо

Рисунок 1 – Мотор-колесо фирмы Ле Турно

«Зубья ведущего звена первой ступени редуктора мотор-колеса, показанного на рисунке 1, нарезаны непосредственно на свободном конце торсионного вала 6. С этим звеном находятся в зацеплении две диаметрально расположенные ведомые шестерни 4 первой ступени. Вторая ступень редуктора образована шестернями 5, имеющими общий вал с шестернями 4,

и венечной шестерней 7, закрепленной на ободе 9 колеса монтажным кольцом 8. На разрезе мотор-колеса показана только одна из двух аналогичных систем шестерен.

Передача мощности от электродвигателя к ободу колеса двумя параллельными потоками позволяет уменьшить нагрузку па зубья шестерен компенсировать радиальные силы и выполнить «плавающим» ведущее звено редуктора. Выполнение опор валов шестерен понятно из чертежа. Весь редуктор размещен внутри обода колеса.

Цельнометаллический фургон ГАЗель NEXT характеризуется высоким качеством изготовления и отличной управляемостью. Передовые технические решения, вложенные в машину, обеспечили ей высокую надежность и комфортную внутреннюю обстановку. Есть два вида фургона: грузопассажирская; грузовая. Также на базе цельнометаллического фургона разработан автобус.

Кабина отличается высокой эргономичностью и комфортностью. Для удобства водителя сиденье имеет поясничный подпор, подогрев, 5 видов регулировки. Стеклоподъемник, зеркала обладают электроприводом. У зеркал еще есть и электроподогрев. В салон встроена климатическая система с кондиционером. Продвинутой и удобный в использовании бортовой компьютер. Для поднятия настроения и отдыха есть мультимедийный развлекательный центр. Многим водителям понравится, что появилась камера заднего вида. В машинах на базе «ГАЗель Next» применяется дизельный двигатель Cummins мощностью 149 л.с., объемом 2,8 л. При скорости машины в 80 - 85 километров в час расходуется 10,2 л топлива на 100 километров пробега. Максимальная скорость этой модели в пределах 130 км в час.

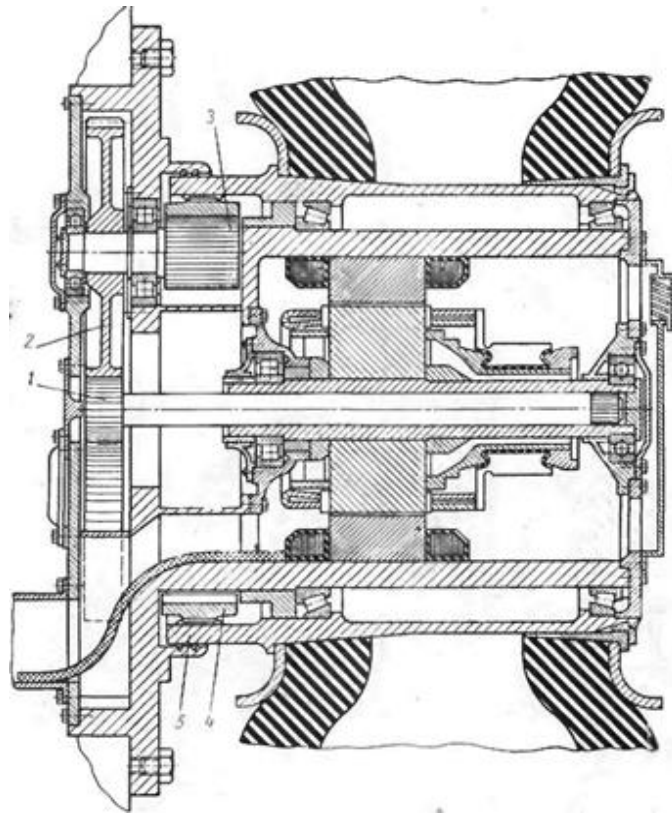
На машину установлена задняя подвеска с отличными характеристиками, которые достигаются применением амортизаторов с оригинальной схемой крепления и современным подрессорником. Она даже при полной загрузке автомобиля дает высокую устойчивость на дороге.

Быстрое реагирование в дорожных ситуациях осуществляется с помощью реечного рулевого механизма (в нем встроен гидроусилитель дающий лучшую управляемость).

Для плавности движения незагруженного автомобиля применяется независимая передняя подвеска. Сконструирована в расчете на огромные перегрузки. Для хорошей управляемости автомобиля на поворотах применяются стабилизаторы поперечной устойчивости.

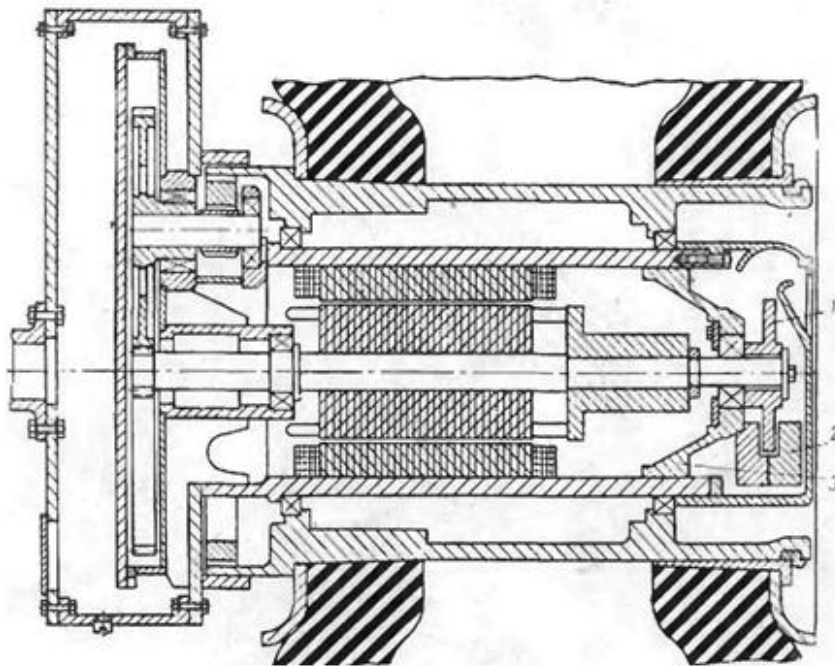
Пол кузова для защиты от повреждений покрыт фанерным настилом толщиной 9 мм. Бока кузова защищены покрытием из ДВП материала. В этой машине, проблема перевозки грузов большой длины решена легко и изящно. Под пассажирским сиденьем находится особый люк, дающий возможность вместить в кузов, грузы длиной до 5 метров. Для прочной фиксации груза применяются такелажные петли (в наличии 10 штук).

Редуктор мотор-колеса, показанного на рисунке 2, вынесен за пределы обода. Конструкция редуктора обеспечивает передачу мощности тремя параллельными потоками, для чего предусмотрены три промежуточные пары шестерен, расположенные под углом 120° относительно друг друга. Момент от центральной шестерни 1 первой ступени, посаженной на торсионный вал, передается на ведомые шестерни 2 первой ступени, далее на ведущие шестерни 3 второй ступени, имеющие общий вал с шестернями 2, и на венечную шестерню 4. Обод 5 колеса имеет шлицы для установки «плавающей» венечной шестерни. Размещение редуктора вне обода колеса позволило увеличить диаметральный размер первой ступени и несколько повысить общее передаточное число редуктора. Конструкция редуктора мотор-колеса, показанного на рисунке 3, аналогична рассмотренной. Центральная ведущая шестерня, установленная на шлицах вала электродвигателя, имеет «плавающую» посадку. Редуктор, показанный на рисунке 19, несоосный, имеет шестерни только с внешним зацеплением, и передача момента электродвигателя на обод колеса осуществляется через фрикционную муфту без разветвления на параллельные потоки» [17].



1 – центральная шестерня первой ступени; 2 – ведомая шестерня первой ступени;
3 – ведущая шестерня второй ступени; 4 – венечная шестерня; 5 – обод

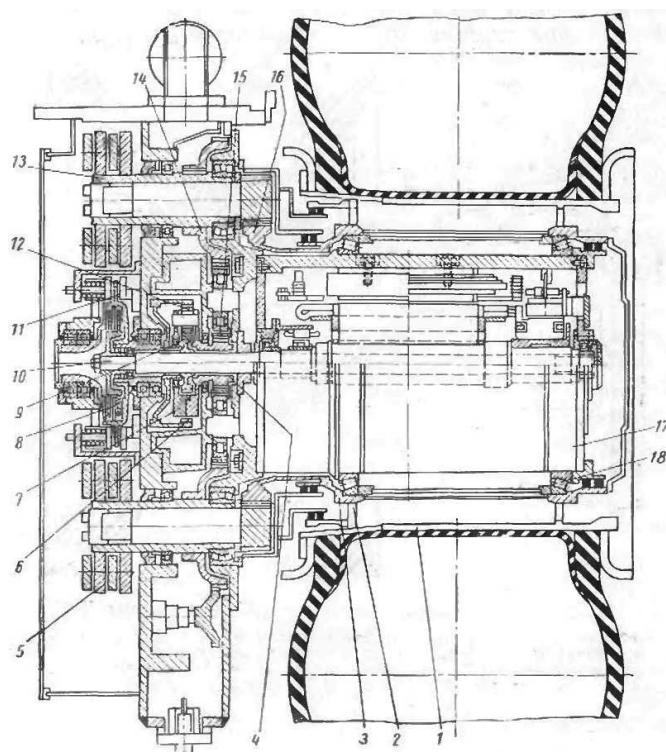
Рисунок 2 – Мотор-колесо фирмы Дженерал Моторс



1 – тормозной диск; 2 – фрикционные колодки; 3 – подшипниковый щит электродвигателя

Рисунок 3 – Мотор-колесо фирмы Дженерал Электрик

«В двухскоростном мотор-колесе, приведенном на рисунке 4, двухступенчатая передача с двумя внешними зацеплениями использована в качестве понижающей нерегулируемой передачи редуктора. Солнечная шестерня 9 планетарного ряда, соединенная с валом электродвигателя 17 торсионным валом 10, зацепляется с сателлитами 12, которые связаны с коронной шестерней 6. Водилом 7 планетарного ряда мощность тремя параллельными потоками передается на двухступенчатую передачу. Мощность поступает через шестерню 4 и промежуточные шестерни 15 к шестерням 14, которые установлены на валу 13. На одном конце вала располагаются шлицы для установки дисков 5 тормозных механизмов, а на другом нарезаны зубья, входящие в зацепление с шестерней 16» [17].



1 – замочная часть обода; 2 – диск; 3 – ступица; 4 – ведущая шестерня первой ступени передачи; 5 – диски тормозных механизмов; 6 – коронная шестерня планетарного ряда; 7 – водило; 8 – фрикционная муфта механизма переключения передач; 9 – солнечная шестерня планетарного ряда; 10 – торсионный вал; 11 – тормоз механизма переключения передач; 12 – сателлиты планетарного ряда; 13 – вал шестерен; 14 – ведомая шестерня первой ступени; 15 – промежуточная шестерня; 16 – шестерня, соединенная со ступицей колеса; 17 – электродвигатель; 18 – подшипники колеса

Рисунок 4 – Двухскоростное мотор-колесо фирмы Берлие

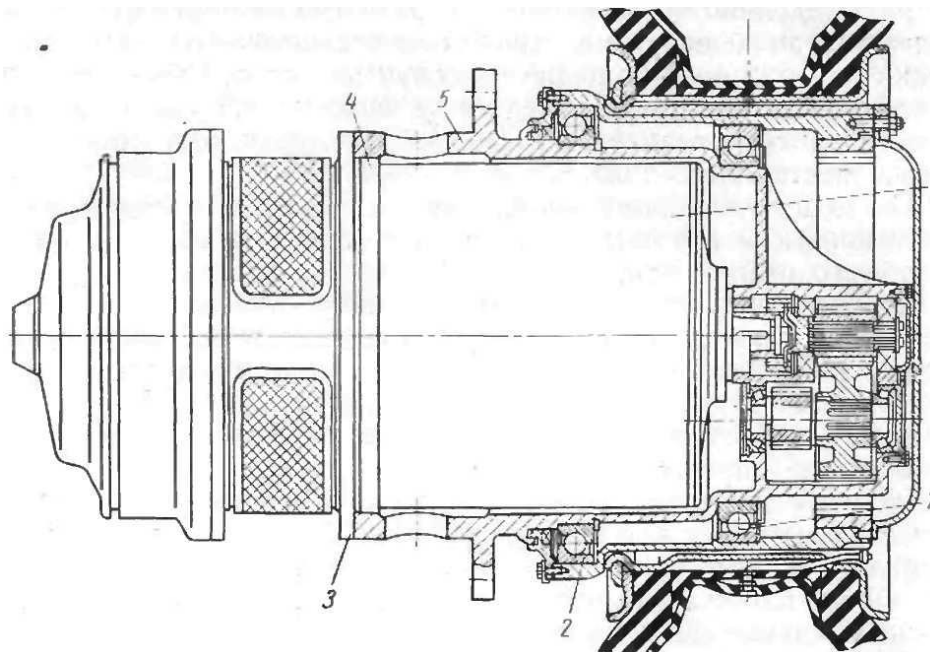
«Двухступенчатые редукторы с передачей мощности тремя параллельными потоками нашли широкое применение в мотор-колесах, причем для более нагруженной второй ступени часто используется внутреннее зацепление. К числу положительных качеств таких редукторов относится достаточно высокий КПД, простота изготовления шестерен, имеющих прямой зуб с эвольвентным зацеплением, и надежность в эксплуатации.

Вместе с тем использование равномерно расположенных по окружности двухвенечных промежуточных шестерен требует высокой точности взаимного расположения зубьев на обоих их венцах. Условия сборки в этом случае несколько ограничивают выбор передаточных чисел. Однако основной недостаток двухступенчатых редукторов это то, что целесообразная величина их передаточного числа меньше 25. При осуществлении большего передаточного числа диаметральный размер редуктора сильно увеличивается; это делает более приемлемым повышение числа ступеней до трех, что позволяет довести передаточное число до значения до 35. Но трехступенчатые редукторы имеют худший КПД, чем двухступенчатые, а недостатки двухвенечных промежуточных шестерен в этом случае сказываются особенно заметно» [17].

«Трехступенчатый редуктор с передачей мощности тремя параллельными потоками имеет мотор-колесо, изображенное на рисунке 5. Здесь центральная шестерня первой ступени соединена с валом электродвигателя посредством зубчатой муфты. От шестерни момент передается на первую промежуточную двухвенечную шестерню, а затем на вторую двухвенечную шестерню (на разрезе не показана). Ведущая шестерня третьей ступени находится в зацеплении с ведомой венечной шестерней третьей ступени, которая запрессована в ступицу колеса.

Недостатки двух- и трехступенчатых редукторов с неподвижными осями валов, затрудняющие компоновку редуктора с относительно большим передаточным числом в ограниченном монтажном объеме внутри обода

колеса, приводят к необходимости использования передач с большей нагрузочной способностью, чем рассмотренные. К таким передачам относятся планетарные передачи некоторых типов» [17].



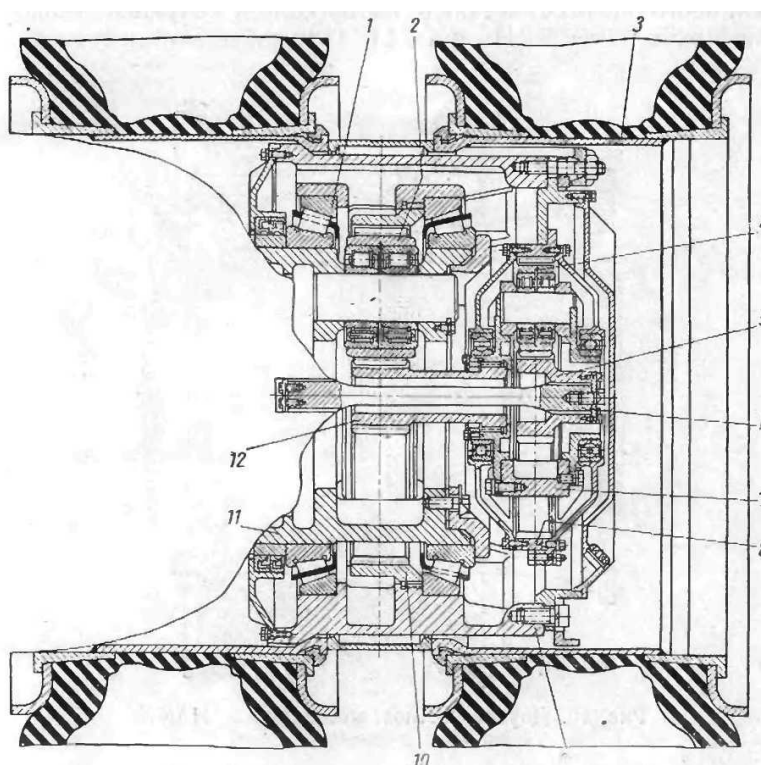
1 – электродвигатель; 2 – подшипники колеса; 3 – фланец подвески мотор-колеса;
4 – прилив для фиксации электродвигателя; 5 – опорный цилиндр

Рисунок 5 – Мотор-колесо, разработанное ВНИИСтройдормашем и заводом «Динамо»

«Редуктор мотор-колеса, показанного на рисунке 6, состоит из двух рядов, причем первый ряд имеет вращающиеся, а второй – остановленное водило. Момент от электродвигателя передается на солнечную шестерню 5 первого ряда и через сателлиты 4 на коронную шестерню 8. С центральной шестерней 12 второго ряда зацепляются промежуточные шестерни 2, которые, в свою очередь, связаны с венечной шестерней 10. Для установки промежуточных шестерен 2 служат специальные приливы опорного цилиндра 11. Центральная шестерня 12 второго ряда соединена с водилом 7 первого ряда, а коронная 8 и венечная 10 шестерни соединены со ступицей 9 колеса.

Особенностью конструкции редуктора данного мотор-колеса является

расположение второго ряда шестерен между подшипниками колеса, что позволило применить опорные подшипники небольшого диаметра» [17].



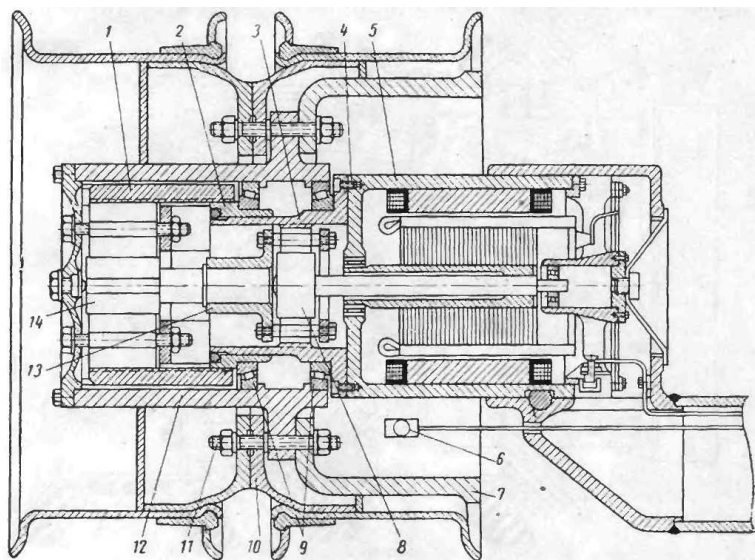
1 – подшипники колеса; 2 – промежуточная шестерня второго ряда; 3 – обод; 4 – сателлит первого ряда; 5 – солнечная шестерня первого ряда; 6 – короткий торсионный вал; 7 – водило первого ряда; 8 – коронная шестерня первого ряда; 9 – ступица; 10 – венечная шестерня второго ряда; 11 – опорный цилиндр; 12 – центральная шестерня второго ряда

Рисунок 6 – Мотор-колесо дизель-троллейвоза БелАЗа

«В мотор-колесе, изображенном на рисунке 7, редуктор выполнен из двух планетарных рядов, соединенных последовательно. Передаточное число двухрядного редуктора $i_p < 36$. Редукторы подобного типа используют в широком диапазоне мощности при достаточно высоких значениях КПД. Они просты в изготовлении и надежны в эксплуатации.

Редуктор мотор-колеса, показанного на рисунке 7, интересен также тем, что некоторые его неподвижные детали выполняют ряд дополнительных функций. Так, корпус 3 первого ряда редуктора, неподвижно закрепленный на корпусе 5 электродвигателя, выполняет функции коронной шестерни первого ряда и вместе с тем используется для монтажа опорных

подшипников 9 колеса. Втулка 2, установленная на корпусе 3, служит непосредственной опорой наружного подшипника и используется для крепления коронной шестерни 1 второго ряда» [17].



1 – коронная шестерня второго ряда; 2 – опорная втулка подшипника; 3 – корпус редуктора; 4 – винт; 5 – корпус электродвигателя; 6 – тормозная тяга; 7 – тормозной барабан; 8, 14 – солнечная шестерня первого и второго ряда; 9 – подшипники колеса; 10 – внутренний диск обода; 11 – шпилька; 12 – ступица колеса; 13 – водило первого ряда

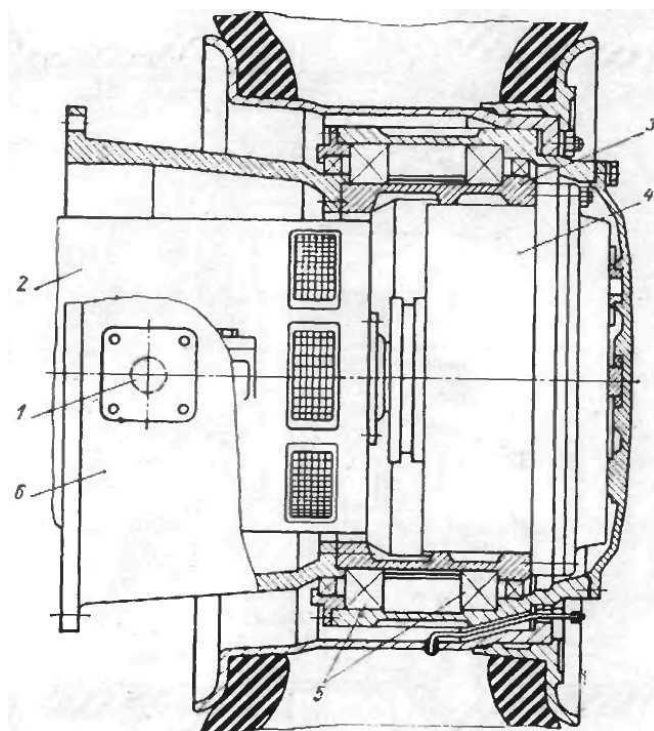
Рисунок 7 – Мотор-колесо автобуса

«Корпус 12 второго ряда редуктора выполняет функции ступицы колеса и используется для монтажа и фиксации наружных обойм подшипников колеса. Диски сдвоенных колес крепятся к фланцу корпуса 12 редуктора шпильками 11, используемыми для крепления тормозного барабана 7, который опирается на фланец корпуса 12.

Солнечная шестерня 8 первого ряда редуктора устанавливается на шлицах торсионного вала. Водилом 13 первого ряда служит втулка с внутренними шлицами, необходимыми для установки хвостовика солнечной шестерни 14 второго ряда. Функции водила второго ряда выполняет крышка корпуса редуктора, соединенная болтами с корпусом 12. Весьма рациональная конструкция редуктора и его небольшой диаметральный размер обеспечивают простоту монтажа мотор-колеса и допускают

размещение колесного колодочного тормоза.

В двухскоростных мотор-колесах применение планетарных передач позволяет поочередным затормаживанием двух выбранных звеньев разных рядов изменять передаточное число редуктора. Так выполнен редуктор мотор-колеса, изображенного на рисунке 8. На первой передаче редуктор передает мощность по двум параллельным кинематическим цепям, причем обеспечивается весьма рациональное использование элементов передачи, лучшее, чем у планетарных редукторов, имеющих последовательное соединение рядов. Благодаря разветвлению передаваемой мощности по двум параллельным кинематическим цепям размеры и вес деталей, а следовательно, и редуктора в целом уменьшаются» [17].



1 – сферические опоры; 2 – электродвигатель; 3 – опорный стакан; 4 – редуктор;
5 – подшипниковые опоры; 6 – конус монтажный

Рисунок 8 – Двухскоростное мотор-колесо НАМИ

«Редуктор этого мотор-колеса состоит из трех планетарных рядов. С внешней стороны мотор-колеса редуктор ограничен крышкой 4, выполняющей функции водила третьего ряда, на которой установлены

сателлиты 5 третьего ряда. С внутренней стороны редуктор ограничен задней крышкой 24. Коронная шестерня 3 третьего ряда, монтажный диск 13 и корпус 14 редуктора жестко закреплены на опорном стакане 27 шпильками 2.

Вал 21 электродвигателя соединен с солнечной шестерней 20 первого ряда через роликовую муфту 22. Шестерня 20 через сателлиты первого ряда 23 связана с коронной шестерней 19 первого ряда, которая соединена с солнечной шестерней 8 второго ряда. Водило первого ряда соединено промежуточным валом 6 со ступицей коронной шестерни 10 второго ряда, а шестерня 10 зацеплена через сателлиты 5 с солнечной шестерней первого ряда. Солнечная шестерня 7 третьего ряда, сцепленная с сателлитами 5 третьего ряда, установлена на шлицах промежуточного вала. Тормозными звеньями редуктора являются коронная шестерня первого ряда, которая тормозными дисками 16 может быть заблокирована с корпусом 14 редуктора, и водило 9 второго ряда, которое затормаживается дисками 15» [17].

«Работа на первой передаче осуществляется при заторможенном водиле второго ряда и расторможенной коронной шестерне первого ряда. Для включения второй передачи следует затормозить коронную шестерню и растормозить водило. В конструкции рассматриваемого мотор-колеса отметим также следующие элементы: тормозные цилиндры 18 первого и 11 второго ряда, кольцевые поршни 12 первого и 25 второго ряда, штуцеры цилиндра 17 первого и 26 второго ряда, воздушный канал 28 и пружинные толкатели 29» [1].

Следующий редуктор мотор-колеса образован из планетарных передач двух типов: передачи ЗК и простого планетарного ряда. Поперечный разрез такого редуктора показан на рисунке 9.

«Внутренняя полость редуктора образована кольцевым цилиндром 1, крышкой 12 и частью ступицы 2 колеса. Солнечная шестерня 14 выполнена как одно целое с торсионным валом. Она сцеплена с коронной шестерней 7 двухвенечными сателлитами 8, установленными на водиле 11. Шестерня 7 жестко связана с солнечной шестерней 9 шлицевыми зубьями вала 10.

Сателлиты 13 установлены на крышке 12, выполняющей функции водила, которое закреплено на ступице колеса. Коронная шестерня 5 закреплена на корпусе 3 редуктора» [17].

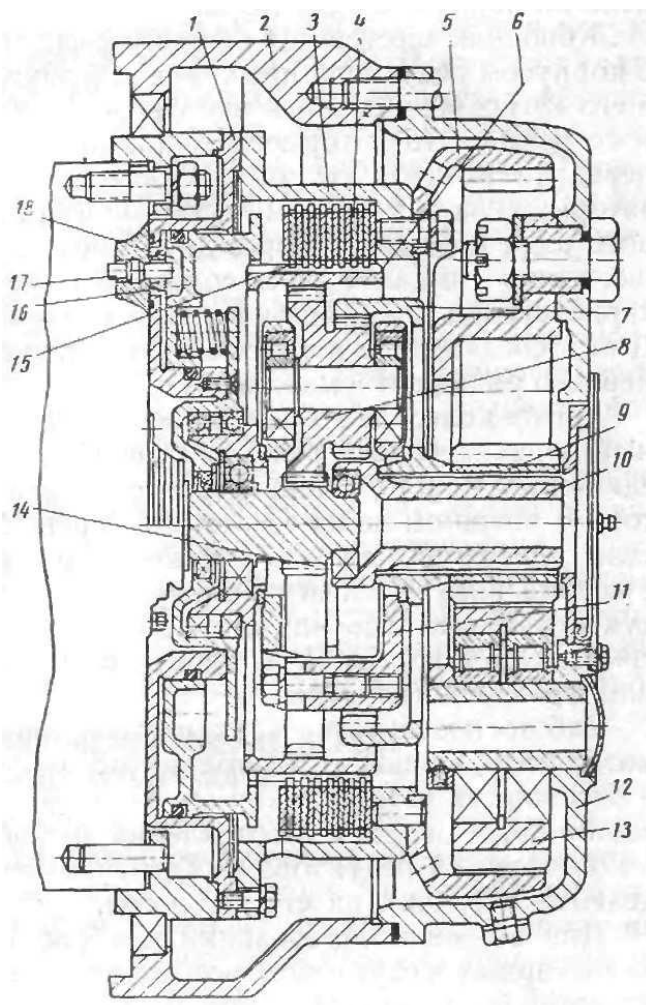
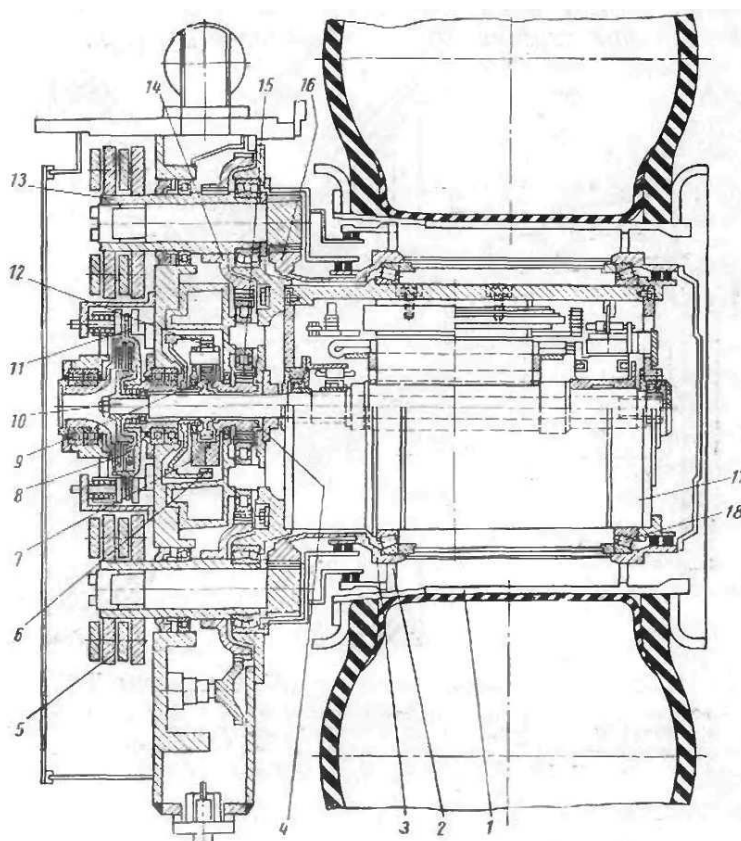


Рисунок 9 – Редуктор мотор-колеса периодического действия

«Коронная шестерня 6 первого ряда может быть заблокирована с корпусом редуктора при помощи фрикционного тормоза, состоящего из подвижных 15 и неподвижных 4 дисков, а также кольцевого поршня 16 и тормозного цилиндра 18 со штуцером 17. Для передачи момента от электродвигателя на ступицу шестерня 6 затормаживается. В этом случае момент с солнечной шестерни первого ряда передается через двухвенечные сателлиты на коронную шестерню 7 и далее через солнечную шестерню и сателлит планетарного ряда на крышку-водило, связанную со ступицей

колеса. Для отсоединения электродвигателя от колеса коронная шестерня первого ряда растормаживается» [17].

«Мотор-колесо, изображенное на рисунке 10, имеет комбинированный переключаемый редуктор. Он образован последовательным соединением простого планетарного ряда и двухступенчатого редуктора с внешним зацеплением шестерен. Момент от электродвигателя передается на солнечную шестерню планетарного ряда, а с водила ряда – на центральную шестерню двухступенчатого редуктора, изменяясь или оставаясь прежним по величине в зависимости от того, какой из элементов управления включен: тормоз или фрикционная муфта.



«1 – замочная часть обода; 2 – диск; 3 – ступица; 4 – ведущая шестерня первой ступени передачи; 5 – диски тормозных механизмов; 6 – коронная шестерня планетарного ряда; 7 – водило; 8 – фрикционная муфта механизма переключения передач; 9 – солнечная шестерня планетарного ряда; 10 – торсионный вал; 11 – тормоз механизма переключения передач; 12 – сателлиты планетарного ряда; 13 – вал шестерен; 14 – ведомая шестерня первой ступени; 15 – промежуточная шестерня; 16 – шестерня, соединенная со ступицей колеса; 17 – электродвигатель; 18 – подшипники колеса» [17].

Рисунок 10 – Двухскоростное мотор-колесо фирмы Берлие

Работоспособность и эксплуатационные свойства редуктора мотор-колеса зависят не только от принятого типа передачи, но и от точности изготовления его деталей, а также способов компенсации погрешностей изготовления и монтажа, предусмотренных в конструкции редуктора и обеспечивающих равномерное распределение нагрузки на его элементы» [17].

1.3 Постановка цели и задач проектирования

В связи с вышеперечисленным целью дипломного проекта является модернизация автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес.

Для достижения данной цели необходимо решить следующие задачи:

- произвести анализ существующих конструкций мотор-редукторов;
- выбрать базовый автомобиль и привязать к нему разрабатываемую конструкцию;
- разработать структурную схему проектируемой конструкции;
- произвести прочностные расчеты наиболее нагружаемых элементов конструкции;
- разработать сборочные и рабочие чертежи разрабатываемой конструкции;
- разработать операционно-технологическую карту на монтаж или демонтаж проектируемого мотор-редуктора;
- предоставить мероприятия БЖД;
- сосчитать технико-экономические показатели проекта;
- сделать выводы и предложения по проекту в целом.

Выводы по разделу.

В разделе рассмотрены конструктивные особенности, виды компоновки мотор-редукторов, выполнен обзор основных конструкций существующих электромотор-колес, изучен принцип работы мотор-колеса.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

В таблице 1 представлена техническая характеристика ГАЗель NEXT.

Таблица – 1 Техническая характеристика аналогов [5]

Параметр	Значение параметра
«Пассажировместимость автомобиля, чел.	3
Полная масса автомобиля, кг:	3500
– на переднюю ось	1310
– на заднюю ось	2190
Максимальная скорость движения автомобиля, км/ч	130
Объем двигателя, см ³	2781
Контрольный расход топлива при 80 км/ч, л/100км	10,3
Высота автомобиля, мм	2137
Колея автомобиля, мм	1750
База автомобиля, мм	3145
Номинальная мощность двигателя, кВт	88,3
Частота вращения коленчатого вала двигателя при номинальной мощности, об/мин	3600
Максимальный крутящий момент двигателя, Н·м	270
Частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальном моменте, об/мин	1400-3000
Тип шин	185/75 R16C
Колесная формула	4x2» [5]

2.1 Расчет максимальной мощности двигателя

«Эффективная мощность двигателя при максимальной скорости определяется выражением:

$$N_{ev} = \frac{M \cdot g \cdot \psi_v \cdot v_{max} + K_6 \cdot F \cdot v_{max}^3}{\eta \cdot 10^3}, \quad (2)$$

где η – коэффициент полезного действия трансмиссии. Для автомобилей с колесной формулой 4x2 КПД принимается в диапазоне от 0,8 до 0,9. Принимаем $\eta=0,9$;

M – полная масса автомобиля, кг;

ψ_v – коэффициент дорожного сопротивления, лежащий в пределах от 0,011 до 0,033. Принимаем равным 0,018;

K_s – коэффициент сопротивления воздуха, принимаем 0,6;

F – площадь лобового сопротивления, определяется по формуле 2.

U_{max} – максимальная скорость движения, м/с.

$$F = B \cdot H, \quad (2)$$

где B – колея передних колес автомобиля, м;

H – высота автомобиля, м» [19].

$$F = 1,75 \cdot 2,127 = 3,74 \text{ м}^2.$$

Следовательно, эффективная мощность двигателя при максимальной скорости движения автомобиля равна:

$$N_{ev} = \frac{3500 \cdot 9,81 \cdot 0,018 \cdot 31,39 + 0,6 \cdot 3,74 \cdot 31,39^3}{0,9 \cdot 10^3} = 98,66 \text{ кВт}.$$

Для дизельного двигателя максимальная мощность двигателя равна эффективной мощности двигателя при максимальной скорости движения автомобиля.

$$N_{e \max} = N_{ev} = 98,66 \text{ кВт}.$$

2.2 Внешняя скоростная характеристика двигателя

«Зависимость текущих значений эффективности мощности двигателя от угловой скорости вращения коленчатого вала устанавливается формулой

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

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

Для дизельного двигателя $a = 0,53$; $b = 1,56$; $c = 1,09$.

ω_e – угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя, для угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя $\omega_e = 0,2 \cdot \omega_n = 75,36$ рад/с » [19].

$$N_e = 98,66 \cdot \left[0,53 \frac{75,36}{376,8} + 1,56 \left(\frac{75,36}{376,8} \right)^2 - 1,09 \left(\frac{75,36}{376,8} \right)^3 \right] = 15,75 \text{ кВт}.$$

«Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя значения эффективной мощности рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2.

Текущее значение крутящего момента определяется выражением

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \cdot 10^3, \quad (4)$$

Для угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя $\omega_e = 0,2 \cdot \omega_n = 75,36$ рад/с получаем

$$M_e = \frac{15,75}{75,36} \cdot 10^3 = 0,209 \text{ кН} \cdot \text{м},$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя значения крутящего момента рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 2» [19].

Таблица 2 – Результаты расчета внешней скоростной характеристики двигателя

Параметр	Размерность	Значения параметров				
		75,36	150,72	226,08	301,44	376,80
ω_e	c^{-1}	75,36	150,72	226,08	301,44	376,80
N_e	кВт	15,75	38,66	63,55	85,27	98,66
M_e	Н·м	0,2090	0,2565	0,2811	0,2829	0,2618

По полученным значениям эффективной мощности и крутящего момента строим внешнюю скоростную характеристику двигателя.

2.3 Расчет передаточных чисел трансмиссии

«Передаточное число главной передачи определяется выражением

$$u_0 = \frac{\omega_{ev} \cdot r_k}{u_{кпв} \cdot v_{max}}, \quad (5)$$

где ω_{ev} – угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя при максимальной скорости, c^{-1} . Принимаем $\omega_{ev} = \omega_{max} = 376,8$ рад/с ;

$u_{кпв}$ – передаточное число высшей ступени. Принимаем $u_{кпв} = 0,794$;

r_k – радиус качения колеса.

$$r_k = \lambda \cdot r_n, \quad (6)$$

где λ – коэффициент деформации шины. Принимаем $\lambda = 0,945$;

r_n – номинальный радиус колеса. Определяется по формуле (7).

$$r_n = (0,5 \cdot d + h), \quad (7)$$

где d – диаметр обода, равен 2,51 м;

h – высота профиля» [19].

$$r_n = (0,5 \cdot 16 \cdot 2,51 + 185 \cdot 0,75) = 368 \text{ мм}.$$

$$r_k = 0,945 \cdot 368 = 347,76 \text{ мм.}$$

Следовательно, передаточное число главной передачи равно

$$u_0 = \frac{376,8 \cdot 0,34776}{0,794 \cdot 31,39} = 5,26.$$

«Передаточное число первой передачи, необходимое по условию преодоления максимального дорожного сопротивления определяется выражением:

$$u_{1\psi} = \frac{M \cdot g \cdot \psi_{\max} \cdot r_k}{M_{\max} \cdot u_0 \cdot \eta}, \quad (8)$$

где M_{\max} – максимальный крутящий момент;

ψ_{\max} – максимальный коэффициент дорожного сопротивления,

Принимаем равным 0,3» [19].

Следовательно, передаточное число первой передачи из условия преодоления максимального дорожного сопротивления равно:

$$u_{1\psi} = \frac{3500 \cdot 9,81 \cdot 0,3 \cdot 0,34776}{282,9 \cdot 5,26 \cdot 0,9} = 2,68.$$

«Передаточное число первой передачи, определяемое из условия отсутствия буксования ведущих колес, определяется выражением

$$u_{1\varphi} = \frac{G_\varphi \cdot \varphi_{\max} \cdot r_k \cdot m_i}{M_{\max} \cdot u_0 \cdot \eta}, \quad (9)$$

где G_φ – сцепной вес автомобиля, для заднепроедных автомобилей определяется по формуле (10):

$$G_{\phi} = M_2 \cdot g, \quad (10)$$

где M_2 – масса, приходящаяся на заднюю ось автомобиля» [19].

«Сцепной вес равен

$$G_{\phi} = 3500 \cdot 9,81 = 34335 \text{ Н},$$

где ϕ_{max} – максимальный коэффициент сцепления с дорогой. Для асфальтобетонное покрытия коэффициент принимается в диапазоне от 0,7 до 0,8. Принимаем равным 0,8;

m_i – коэффициент перераспределения реакций. Для задней оси принимается от 1,2 до 1,3. Принимаем равным 1,25» [19].

Следовательно, передаточное число первой передачи из условия отсутствия буксования ведущих колес автомобиля равно

$$u_{1\phi} = \frac{34335 \cdot 0,8 \cdot 0,34776 \cdot 1,25}{282,9 \cdot 5,26 \cdot 0,9} = 8,92.$$

«Передаточное число первой передачи, определенное из условия обеспечения минимальной устойчивой скорости, определяется выражением:

$$u_{1v} = \frac{\omega_{min} \cdot r_k}{u_0 \cdot v_{min}}, \quad (11)$$

где ω_{min} – минимальная устойчивая угловая скорость коленчатого вала двигателя;

v_{min} – минимально устойчивая скорость движения автомобиля. Принимают то 1,0 до 1,4 м/с. Принимаем равным 1,2 м/с» [19].

Следовательно, передаточное число первой передачи из условия обеспечения минимальной устойчивой скорости движения автомобиля принимаем равным:

$$u_{1v} = \frac{75,36 \cdot 0,34776}{5,26 \cdot 1,2} = 4,15.$$

Так как $u_{1v} < u_{1\varphi}$, то, следовательно, принимаем передаточное отношение первой передачи равным 4,15.

«Передаточное отношение четвертой передачи принимаем равным единице, то есть 1» [19].

Тогда передаточное отношение второй передачи определяется выражением

$$u_2 = \sqrt[3]{u_1^2}, \quad (12)$$
$$u_2 = \sqrt[3]{4,15^2} = 2,58.$$

Передаточное отношение третьей передачи определяется выражением

$$u_3 = \sqrt[3]{u_1^1}, \quad (13)$$
$$u_3 = \sqrt[3]{4,15^1} = 1,61.$$

Пятая передача принимается из расчета максимальной мощности.

$$u_5 = 0,794.$$

2.4 Проверочный тяговый расчет автомобиля

Расчет кинематической скорости автомобиля по передачам.

Кинематическая скорость автомобиля в функции угловой скорости коленчатого вала двигателя определяется выражением

$$v_i = \frac{\omega_e \cdot r_k}{u_0 \cdot u_i} \quad (14)$$

Для первой передачи при частоте вращения коленчатого вала $\omega_e = 75,36$ рад/с находим кинематическую скорость движения автомобиля

$$v_1 = \frac{75,36 \cdot 0,34776}{5,25 \cdot 4,15} = 1,20 \text{ м/с} .$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя и высших передач значения кинематической скорости движения автомобиля рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты расчета внешней скоростной характеристики двигателя, скоростной, тяговой и динамической характеристик и графиков ускорений автомобиля

Параметр		Размерность	Значения параметров				
ω_e		с^{-1}	75,36	150,72	226,08	301,44	376,80
N_e		кВт	15,75	38,66	63,55	85,27	98,66
M_e		кН·м	0,2090	0,2565	0,2811	0,2829	0,2618
Первая передача	v_1	м/с	1,20	2,40	3,60	4,80	6,00
	P_{T1}	кН	11,82	14,50	15,89	15,99	14,80
	P_{B1}	кН	0,00	0,01	0,03	0,05	0,08
	P_{C1}	кН	11,81	14,48	15,86	15,94	14,72
	D_1	-	0,34	0,42	0,46	0,46	0,43
	j_1	м/с^2	1,68	2,08	2,29	2,30	2,12
	$1/j_1$	$\text{с}^2/\text{м}$	0,59	0,48	0,44	0,43	0,47

Продолжение таблицы 3

Параметр		Размерность	Значения параметров				
Вторая передача	v_2	м/с	1,93	3,86	5,79	7,72	9,64
	P_{T2}	кН	7,35	9,02	9,88	9,95	9,21
	P_{B2}	кН	0,01	0,03	0,08	0,13	0,21
	P_{C2}	кН	7,34	8,98	9,81	9,81	9,00
	D_2	-	0,21	0,26	0,29	0,29	0,26
	j_2	м/с ²	1,40	1,74	1,91	1,91	1,74
	$1/j_2$	с ² /м	0,72	0,57	0,52	0,52	0,57
Третья передача	v_3	м/с	3,10	6,20	9,30	12,40	15,50
	P_{T3}	кН	4,57	5,61	6,15	6,19	5,73
	P_{B3}	кН	0,02	0,09	0,19	0,35	0,54
	P_{C3}	кН	4,55	5,52	5,95	5,84	5,19
	D_3	-	0,13	0,16	0,17	0,17	0,15
	j_3	м/с ²	0,96	1,20	1,30	1,28	1,12
	$1/j_3$	с ² /м	1,04	0,83	0,77	0,78	0,90
Четвертая передача	v_4	м/с	4,98	9,97	14,95	19,94	24,92
	P_{T4}	кН	2,84	3,49	3,82	3,85	3,56
	P_{B4}	кН	0,06	0,22	0,50	0,89	1,39
	P_{C4}	кН	2,79	3,27	3,32	2,96	2,17
	D_4	-	0,08	0,10	0,10	0,09	0,06
	j_4	м/с ²	0,57	0,69	0,71	0,61	0,41
	$1/j_4$	с ² /м	1,76	1,44	1,41	1,63	2,46
Пятая передача	v_5	м/с	6,28	12,56	18,83	25,11	31,39
	P_{T5}	кН	2,26	2,77	3,04	3,06	2,83
	P_{B5}	кН	0,09	0,35	0,80	1,41	2,21
	P_{C5}	кН	2,17	2,42	2,24	1,64	0,62
	D_5	-	0,06	0,07	0,07	0,05	0,018
	J_5	м/с ²	0,41	0,48	0,43	0,27	0,00
	$1/j_5$	с ² /м	2,42	2,08	2,31	3,66	-

По полученным значениям строим график зависимости кинематической скорости автомобиля от угловой скорости коленчатого вала двигателя

2.5 Тяговая характеристика автомобиля

Касательная сила тяги на ведущих колесах автомобиля определяется выражением

$$P_T = \frac{M_e \cdot u_i \cdot u_0 \cdot \eta}{r_k} . \quad (15)$$

Для движения автомобиля на первой передаче при скорости вращения коленчатого вала двигателя 75,36 рад/с определяем значение касательной силы тяги на ведущих колесах

$$P_T = \frac{0,209 \cdot 5,25 \cdot 4,15 \cdot 0,9}{0,34776} = 11,82 \text{ кН} .$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала и высших передач значения касательной силы тяги на ведущих колесах автомобиля рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 3.

Сила сопротивления воздуха при движении автомобиля определяется выражением

$$P_B = K_g \cdot F \cdot v^2 \cdot 10^{-3} . \quad (16)$$

Для движения автомобиля со скоростью 1 м/с сила сопротивления воздуха равна

$$P_B = 0,6 \cdot 3,74 \cdot 1,2^2 \cdot 10^{-3} = 0,0032 \text{ кН} .$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя и высших передач значения силы сопротивления воздуха рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 3.

Свободная сила тяги автомобиля определяется выражением

$$P_C = P_T - P_B . \quad (17)$$

Для соответствующих значений касательной силы тяги на ведущих колесах автомобиля и силы сопротивления воздуха определяем свободную силу тяги

$$P_c = 11,82 - 0,0032 = 11,81 \text{ кН} .$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя и высших передач значения свободной силы тяги рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 3. По полученным значениям строим тяговую характеристику автомобиля.

2.6 Динамическая характеристика автомобиля

Динамический фактор автомобиля определяется выражением:

$$D = \frac{P_c \cdot 10^3}{Mg} . \quad (18)$$

Для соответствующего значения свободной силы тяги определяем значение динамического фактора автомобиля

$$D = \frac{11,81 \cdot 10^3}{3500 \cdot 9,81} = 0,34 .$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя и высших передач значения динамического фактора автомобиля рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 3.

По полученным значениям строим динамическую характеристику автомобиля.

2.7 Характеристики разгона автомобиля

«Ускорение автомобиля во время разгона определяется выражением

$$j_i = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{D_i - \psi_v}{\delta_i} \cdot g, \quad (19)$$

где δ_i – коэффициент учета вращающихся масс, определяется по формуле (20).

$$\delta_i = 1 + \sigma_1 + \sigma_2 u_i^2, \quad (20)$$

где σ_1 , σ_2 – для автомобиля при номинальной мощности σ_1 принимается в диапазоне от 0,03 до 0,05, σ_2 – от 0,04 до 0,06. Принимаем σ_1 равной 0,04, $\sigma_2 = 0,05$ » [19].

Следовательно, коэффициент учета вращающихся масс для первой передачи равен

$$\delta_1 = 1 + 0,04 + 0,05 \cdot 4,15^2 = 1,90.$$

Следовательно, для движения автомобиля на первой передаче при угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя 75,36 рад/с ускорение автомобиля равно:

$$j_i = \frac{0,34 - 0,018}{1,90} \cdot 9,81 = 1,68 \text{ м/с}^2.$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя и высших передач значения ускорения автомобиля рассчитываем аналогично, и результаты сводим в таблицу 3. По полученным значениям строим график ускорений автомобиля.

«Вычисление времени разгона осуществляем с использованием графика обратных ускорений, для построения которого по данным ускорений j_i в таблице 3 вычислим обратные ускорения $1/j_i$ до скорости 0,9 от максимальной скорости. Данные вычисления обратных ускорений сводим в таблицу 3 и строим график обратных ускорений. Площадь на графике обратных ускорений, ограниченная сверху кривыми $1/j_i$, осью скоростей снизу и прямыми $v = v_0$ и $v = 0,9v_{\max}$, представляет собой время разгона автомобиля от начальной до скорости 0,9 от максимальной скорости. Для его определения весь диапазон скорости разбиваем на пять интервалов» [19].

«Считая, что в каждом интервале скорости разгон автомобиля происходит с обратным ускорением, определенным выражением

$$\frac{1}{j_{cp}} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{j_{i-1}} + \frac{1}{j_i} \right). \quad (21)$$

Следовательно, время разгона автомобиля от начальной скорости до скорости 0,9 от максимальной скорости рассчитываем по выражению

$$t_i = \frac{1}{j_{cp}} (v_i - v_{i-1}). \quad (22)$$

Для соответствующих значений ускорений j_{i-1} и j_i получаем среднее обратное ускорение равно

$$\frac{1}{j_{cp}} = \frac{1}{2} \cdot (0,59 + 0,44) = 0,52 \text{ с}^2/\text{м},$$

$$t_1 = 0,52 \cdot (3,6 - 1,2) = 1,24 \text{ с}.$$

Для остальных интервалов разгона автомобиля среднее обратное ускорение в интервале и время разгона автомобиля в интервале вычисляем аналогично» [19].

Результаты вычислений сводим в таблицу 4.

Полное время разгона автомобиля от начальной до 0,9 от максимальной скорости определяется выражением:

$$T = \sum_{i=1}^5 t_i, \quad (23)$$

$$T = 1,24 + 1,09 + 1,99 + 4,85 + 18,27 + 19,10 = 46,55 \text{ с.}$$

Считая, что в каждом интервале времени разгона, соответствующим интервалам скорости, движение автомобиля происходит со средней скоростью, определенной по формуле:

$$v_{cp} = 0,5 \cdot (v_{i-1} + v_i), \quad (24)$$

$$v_{cp} = 0,5 \cdot (1,20 + 3,6) = 2,40 \text{ м/с}^2.$$

Путь его разгона в интервале равен:

$$S_i = v_{cp} \cdot t_i, \quad (25)$$

$$S_i = 2,4 \cdot 1,24 = 2,97 \text{ м.}$$

Таблица 4 – Результаты расчета времени и пути разгона автомобиля

Номер интервала разгона	Единица измерений	1	2	3	4	5	6
Скорость в начале интервала	м/с	1,20	3,60	6,00	9,64	15,50	24,92
Скорость в конце интервала	м/с	3,60	6,00	9,64	15,50	24,92	28,25
Обратное ускорение в начале интервала	с ² /м	0,59	0,44	0,52	0,76	1,42	3,58
Обратное ускорение в конце интервала	с ² /м	0,44	0,47	0,57	0,90	2,46	7,90
Среднее обратное ускорение	с ² /м	0,52	0,45	0,55	0,83	1,94	5,74
Время разгона в интервале	с	1,24	1,09	1,99	4,85	18,27	19,10
Полное время разгона	с	1,24	2,33	4,32	9,17	27,44	46,55
Средняя скорость в интервале	м/с	2,40	4,80	7,82	12,57	20,21	26,59
Путь разгона в интервале	м	2,97	5,24	15,59	60,99	369,3	507,9
Полный путь разгона	м	2,97	8,21	23,80	84,79	454,1	962,0

Для остальных интервалов разгона автомобиля среднюю скорость движения в интервале и путь разгона автомобиля в интервале вычисляем аналогично, и результаты вычислений сводим в таблицу 4.

По данным таблицы 4 строим график времени и пути разгона автомобиля

2.8 Топливо-экономический расчет автомобиля

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

При установившемся движении путевой расход топлива определяется выражением

$$Q_s = 100 \cdot \frac{g_e \cdot N_3}{3,6 \cdot \rho \cdot v \cdot \eta}, \quad (26)$$

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

N_3 – мощность, затрачиваемая на движение автомобиля, кВт;

ρ – плотность топлива, для ДТ принимаем равной 860 кг/м^3 »
[19].

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

2.9 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

принятых в тягово-динамическом расчете и соответствующих им значениях скорости автомобиля вычисляются мощность, подводимая к ведущим колесам автомобиля; мощность, необходимая для преодоления дорожного сопротивления и мощность, необходимая для преодоления сопротивления воздуха» [19].

«Мощность, подводимая к ведущим колесам автомобиля, определяется выражением:

$$N_T = N_e \cdot \eta. \quad (27)$$

Для угловой скорости коленчатого вала двигателя 60 рад/с и соответствующему ей значению эффективной мощности находим значение мощности, подводимой к ведущим колесам:

$$N_T = 15,75 \cdot 0,9 = 14,18 \text{ кВт}.$$

Мощность, необходимая для преодоления сопротивления воздуха, определяется выражением

$$N_B = P_B \cdot v. \quad (28)$$

Для угловой скорости коленчатого вала двигателя 75,36 рад/с и соответствующему ей значению силы сопротивления воздуха находим значение мощности, идущей на преодоление сопротивления воздуха

$$N_B = 0,09 \cdot 6,28 = 0,56 \text{ кВт}.$$

Мощность, необходимая для преодоления дорожного сопротивления, определяется выражением:

$$N_D = P_D \cdot v = M \cdot g \cdot \psi \cdot v \cdot 10^{-3}. \quad (29)$$

Расчет мощности, необходимой для преодоления дорожного сопротивления выполним для двух значений коэффициента дорожного сопротивления:

$$\begin{aligned} \psi &= \psi_V = 0,018, \\ \psi' &= \psi_V + 0,005 = 0,03 + 0,005 = 0,023. \end{aligned}$$

Для скорости движения автомобиля 6,28 м/с и коэффициента дорожного сопротивления 0,018 мощность, необходимая для преодоления дорожного сопротивления равна

$$N_D = 3500 \cdot 9,81 \cdot 0,018 \cdot 6,28 \cdot 10^{-3} = 3,88 \text{ кВт}.$$

Мощность, затрачиваемая на движение автомобиля

$$N_3 = N_B + N_D. \quad (30)$$

Для соответствующих значений мощностей, затрачиваемых на преодоление сопротивления воздуха и дорожного сопротивления, мощность, затрачиваемая на движение автомобиля равна

$$N_3 = 0,55 + 3,88 = 4,44 \text{ кВт}.$$

Для остальных значений скорости вращения коленчатого вала двигателя (скорости движения автомобиля) значения мощности, подводимой к ведущим колесам автомобиля, мощностей, идущих на преодоление сопротивления воздуха и дорожного сопротивления, а так же мощности,

затрачиваемой на движение автомобиля, находим аналогично, результат вычислений сводим в таблицу 5 и строим графики мощностного баланса.

Степень использования мощности определяется выражением:

$$I = \frac{N_3}{N_T}, \quad (31)$$

$$I = \frac{4,44}{14,17} = 0,313.$$

Степень использования угловой скорости коленчатого вала двигателя определяется выражением

$$E = \frac{v_i}{v_{max}} = \frac{\omega_{ei}}{\omega_N} = 0,2. \quad (32)$$

Для остальных значений угловой скорости вращения коленчатого вала двигателя значения степеней использования мощности и угловой скорости коленчатого вала двигателя находим аналогично» [19].

результаты вычислений сводим в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты расчета баланса мощности и расхода топлива

Параметр	Размерность	Значения параметров					
ω_e	c^{-1}	75,36	150,72	226,08	301,44	376,80	
v_5	м/с	6,28	12,56	18,83	25,11	31,39	
N_e	кВт	15,75	38,66	63,55	85,27	98,66	
N_T	кВт	14,18	34,79	57,20	76,75	88,79	
N_B	кВт	0,56	4,44	14,99	35,53	69,39	
$\psi = \psi_V = 0,018$	N_D	кВт	3,88	7,76	11,64	15,52	19,40
	N_3	кВт	4,44	12,20	26,63	51,05	88,79
	I	–	0,31	0,35	0,47	0,67	1,00
	K_{II}	–	1,11	1,09	1,02	0,93	1,00
	E	–	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
	K_E	–	1,09	1,00	0,96	0,96	1,00
	g_e	г/(кВт·ч)	260,51	233,43	210,35	191,67	215,00
	Q_s	л/100км	6,60	8,14	10,67	13,98	21,83

Продолжение таблицы 5

Параметр	Размерность	Значения параметров					
$\psi = \psi_N + 0,005$	N_D	кВт	4,96	9,92	14,87	19,83	24,79
	N_3	кВт	5,51	14,36	29,86	55,36	94,18
	I	–	0,39	0,41	0,52	0,72	1,06
	K_I	–	1,07	1,05	0,99	0,91	1,07
	E	–	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00
	K_E	–	1,09	1,00	0,96	0,96	1,00
	g_e	г/(кВт·ч)	250,15	225,55	203,74	188,77	229,12
	Q_s	л/100км	7,88	9,26	11,59	14,94	24,67

2.10 Расчет расхода топлива

«Удельный расход топлива определяется выражением:

$$g_e = g_{eN} \cdot K_I \cdot K_E, \quad (33)$$

где g_{eN} – удельный расход топлива при максимальной мощности, принимаемый на 5...10% больше минимального удельного расхода;

K_I – коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива в зависимости от степени использования мощности, определяемый по формуле (34);

K_E – коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива в зависимости от степени использования угловой скорости коленчатого вала двигателя, определяемый по формуле (35)» [19].

$$K_I = 1,2 + 0,14 \cdot I - 1,8 \cdot I^2 + 1,46 \cdot I^3, \quad (34)$$

$$K_E = 1,25 - 0,99 \cdot E + 0,98 \cdot E^2 - 0,24 \cdot E^3. \quad (35)$$

Для соответствующих значений степени использования мощности и степени использования угловой скорости коленчатого вала двигателя находим значение коэффициентов.

$$K_H = 1,2 + 0,14 \cdot 0,31 - 1,8 \cdot 0,31^2 + 1,46 \cdot 0,31^3 = 1,11,$$

$$K_E = 1,25 - 0,99 \cdot 0,2 + 0,98 \cdot 0,2^2 - 0,24 \cdot 0,2^3 = 1,0893.$$

Удельный расход топлива будет равен:

$$g_e = 215 \cdot 1,019 \cdot 1,0893 = 260,51 \text{ г/(кВт} \cdot \text{ч)}.$$

Остальные значения удельного расхода топлива находим аналогично и результаты вычислений сводим в таблицу 5.

$$Q_s = 100 \cdot \frac{260,51 \cdot 4,44}{3,6 \cdot 860 \cdot 6,28 \cdot 0,9} = 6,6 \text{ л/100 км}.$$

Остальные значения путевого расхода топлива при различных скоростях движения находим аналогично, результат вычислений сводим в таблицу 5, а также строим топливно-экономическую характеристику автомобиля.

Выводы по разделу.

В данном разделе произведен тягово-динамический расчет, построена внешняя скоростная характеристика, проведен расчет передаточных чисел трансмиссии, определены тяговые, динамические характеристики, а также характеристики разгона автомобиля.

Определены топливно-экономические параметры автомобиля.

3 Конструкторская часть

3.1 Выбор базового автомобиля и привязка разрабатываемой конструкции к нему

Цельнометаллический фургон ГАЗель NEXT характеризуется высоким качеством изготовления и отличной управляемостью. Передовые технические решения, вложенные в машину, обеспечили ей высокую надежность и комфортную внутреннюю обстановку. Есть два вида фургона: грузопассажирская; грузовая. Также на базе цельнометаллического фургона разработан автобус.

Кабина отличается высокой эргономичностью и舒适ностью. Для удобства водителя сиденье имеет поясничный подпор, подогрев, 5 видов регулировки. Стеклоподъемник, зеркала обладают электроприводом. У зеркал еще есть и электроподогрев. В салон встроена климатическая система с кондиционером. Продвинутой и удобный в использовании бортовой компьютер. Для поднятия настроения и отдыха есть мультимедийный развлекательный центр. Многим водителям понравится, что появилась камера заднего вида. В машинах на базе «ГАЗель Next» применяется дизельный двигатель Cummins мощностью 149 л.с., объемом 2,8 л. При скорости машины в 80 - 85 километров в час расходуется 10,2 л топлива на 100 километров пробега. Максимальная скорость этой модели в пределах 130 км в час.

На машину установлена задняя подвеска с отличными характеристиками, которые достигаются применением амортизаторов с оригинальной схемой крепления и современным подрессорником. Она даже при полной загрузке автомобиля дает высокую устойчивость на дороге. Быстрое реагирование в дорожных ситуациях осуществляется с помощью реечного рулевого механизма (в нем встроено гидроусилитель дающий лучшую управляемость).

Для плавности движения незагруженного автомобиля применяется независимая передняя подвеска. Сконструирована в расчете на огромные перегрузки. Для хорошей управляемости автомобиля на поворотах применяются стабилизаторы поперечной устойчивости.

Пол кузова для защиты от повреждений покрыт фанерным настилом толщиной 9 мм. Бока кузова защищены покрытием из ДВП материала. В этой машине, проблема перевозки грузов большой длины решена легко и изящно. Под пассажирским сиденьем находится особый люк, дающий возможность вместить в кузов, грузы длиной до 5 метров. Для прочной фиксации груза применяются такелажные петли (в наличии 10 штук).

«Техническая характеристика автомобиля категории М2 [4]:

- общее описание транспортного средства – Автомобиль цельнометаллический;
- колесная формула – 4×2;
- количество мест в кабине – 3 человека;
- масса снаряженного автомобиля – 1850 кг;
- полная масса автомобиля – 3500 кг;
- грузоподъемность – 1500 кг;
- минимальный радиус поворота по оси следа переднего внешнего колеса – 5,50 м;
- шины – 215/75 R17,5;
- сцепление – однодисковое, сухое с гидравлическим приводом (с изменением трансмиссии сцепление и КПП могут быть демонтированы);
- коробка перемены передач – механическая пятиступенчатая (с изменением трансмиссии сцепление и КПП могут быть демонтированы);
- главная передача – одинарная, гипоидная (до модернизации – после модернизации устанавливаем по одному мотор-колесу на каждую сторону задней оси);

- подвеска: передних колес – зависимая рессорная, задних колес – зависимая рессорная;
- рулевое управление с гидроусилителем – рулевой механизм типа «винт-шариковая гайка» с встроенным гидроусилителем. Рулевая колонка с двухшарнирным рулевым валом и компенсатором, с механизмом регулировки положения рулевого колеса;
- тормозная система рабочая – передние и задние тормозные механизмы – дисковые. Привод пневматический, двухконтурный, с АБС;
- тормозная система запасная – каждый контур рабочей тормозной системы;
- тормозная система стояночная – тормозной привод – пневматический на заднюю ось, действует от ручного крана, снабжен сигнализатором на щитке приборов, тормозные механизмы – с пневматическим цилиндром с пружинными аккумуляторами» [4].

Общий вид проектируемого автомобиля категории М2 можно представить в виде рисунка 11.

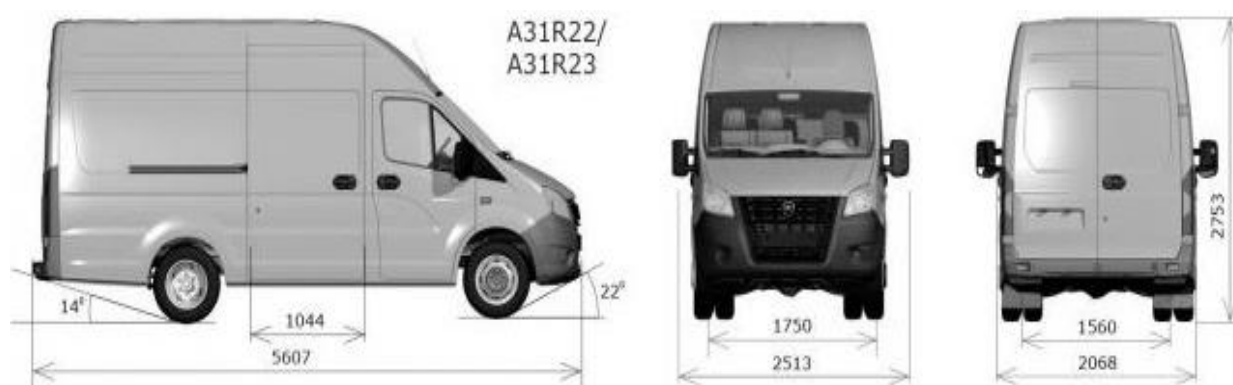


Рисунок 11 – Вид общий автомобиля категории М₂

3.2 Устройство гибридных автомобилей

«Существует три основные схемы устройства гибридных силовых установок: последовательная, параллельная и смешанная. Последовательная гибридная схема появилась первой (ее придумал в 1899 году сам Фердинанд Порше), но в легковых автомобилях распространена меньше (рисунок 12). По ней, например, построены силовые агрегаты карьерных самосвалов, некоторых автобусов и локомотивов. В последовательной схеме колеса приводит в движение электромотор, а малолитражный ДВС крутит генератор, вырабатывающий электроэнергию. Тут отсутствует необходимость в коробке передач и мощном двигателе внутреннего сгорания, однако требуются аккумуляторы большой емкости» [6].

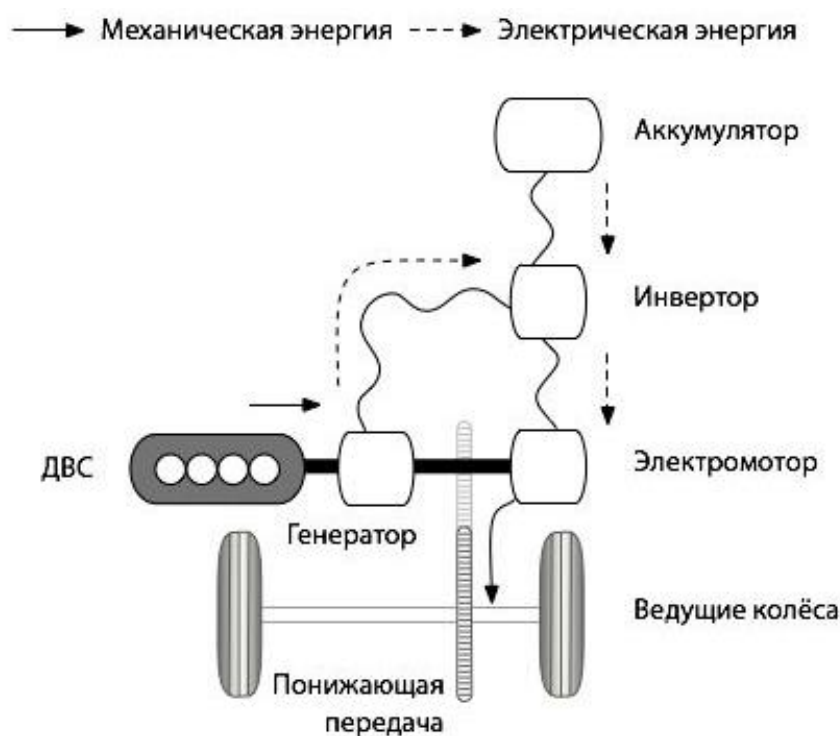


Рисунок 12 – Последовательная гибридная схема

«Самая распространенная сейчас схема – параллельная (рисунок 13). Она запатентована еще в 1905 году немцем Генри Питером. Ей отвечают почти все умеренные гибриды. Они оснащаются мощным электромотором

(от 10 до 15 кВт), который помогает двигателю внутреннего сгорания при разгоне, а при торможении запасает рекуперативную энергию. В качестве трансмиссии, как правило, используются вариатор или планетарная передача» [6].

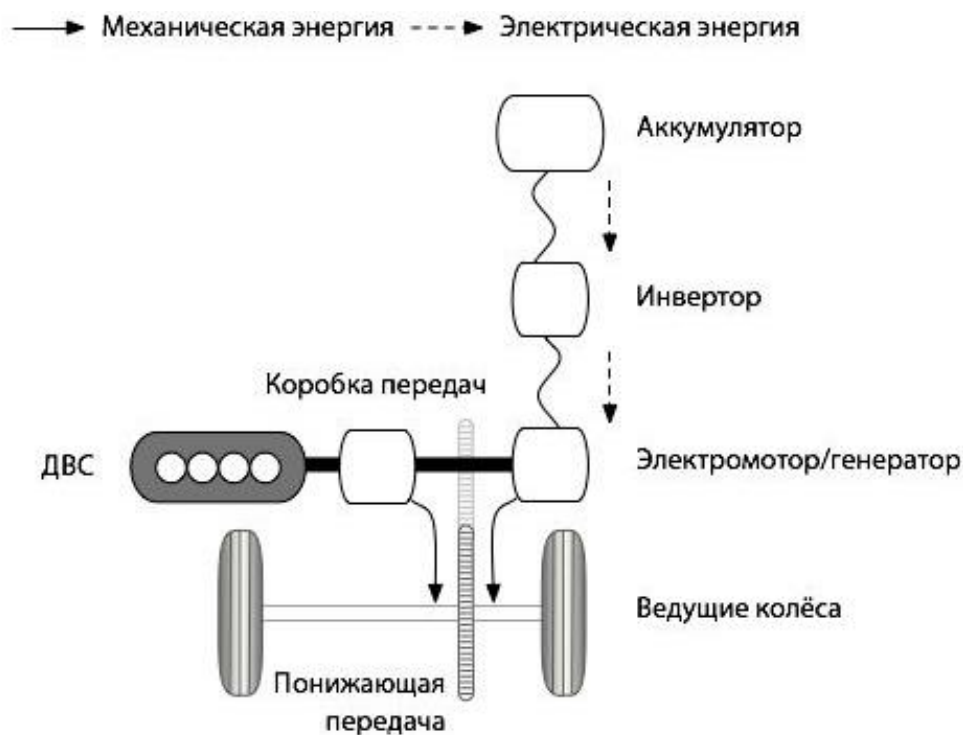


Рисунок 13 – Параллельная гибридная схема

«Распространены также смешанные, или, как их еще называют, последовательно-параллельные гибриды. Классические представители этого семейства – хэтчбек Toyota Prius и Лексусы с индексом h, оснащенные фирменным «синергитическим» приводом HSD (Hybrid Synergy Drive). Чтобы объяснить принцип его работы ниже размещены иллюстрации. Благодаря планетарной передаче и возникает синергия – взаимодействие двигателя внутреннего сгорания и электромотора (рисунок 14). Тут ДВС крутит колеса в паре с электромотором, одновременно вращая генератор. В традиционной коробке передач нет необходимости: электроника регулирует обороты моторов и генератора, превращая такую систему в бесступенчатую трансмиссию ECVT» [18].

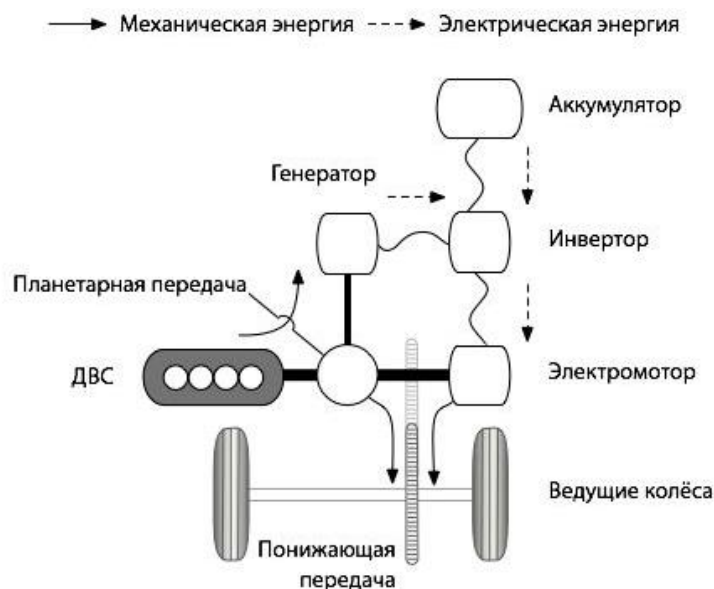


Рисунок 14 – Последовательно-параллельная гибридная схема

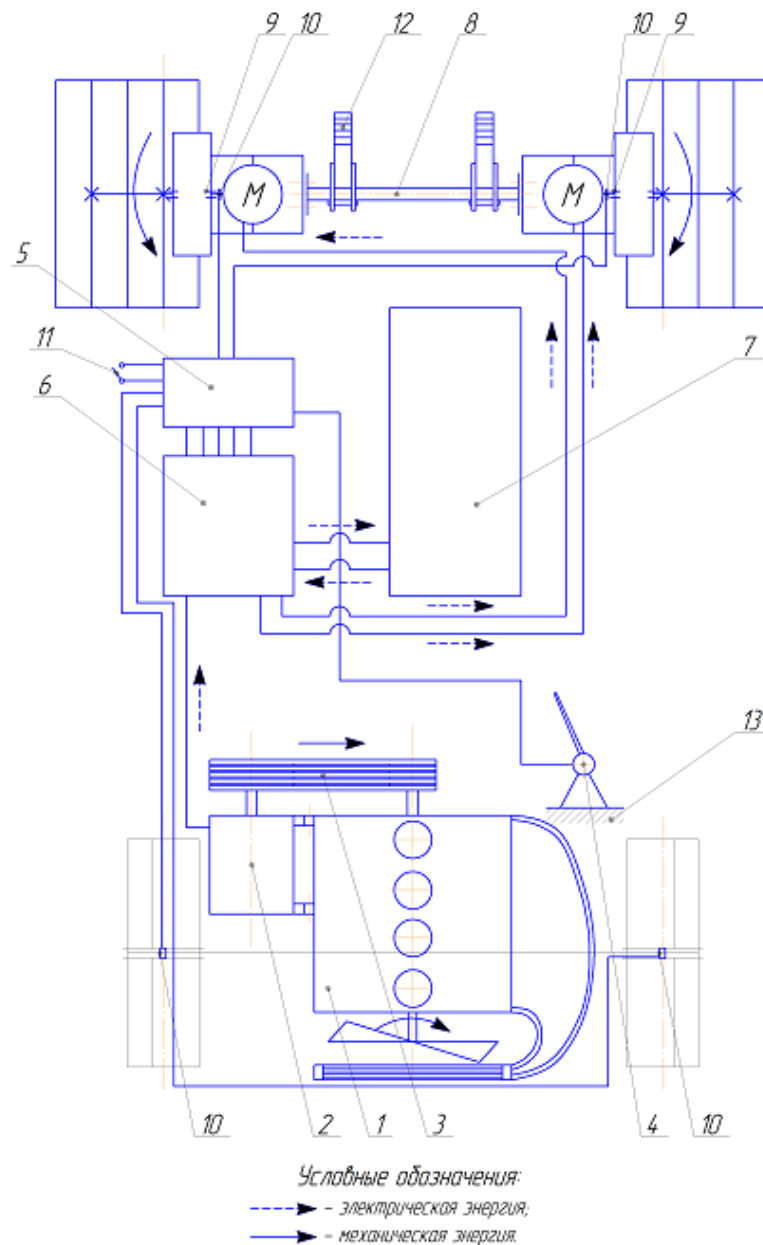
«Большинство двигателей, установленных на гибридах, – бензиновые. Многие работают по циклу Аткинсона с более коротким тактом сжатия и более эффективным рабочим процессом. Это обеспечивает лучшие экологические и экономические показатели.

Также необходимо учитывать, что дизельный мотор дороже бензинового, а это лишь увеличивает немалую цену гибрида. Как уже говорилось ранее, на грузовых автомобилях чаще всего используют последовательную гибридную схему. Далее разработаем собственную структурную схему трансмиссии с мотор-колесами вместо заднего моста и карданной передачи с коробкой» [13].

3.3 Разработка схемы трансмиссии автомобиля Газель NEXT

Как уже говорилось ранее, схема последовательная, гибридная достаточно проста и практична (рисунок 15).

«В имеющейся штатной схеме полностью исключаем задний мост (устанавливаем вместо заднего моста балку 8 с мотор-редукторами и колесами 9), карданную передачу, КПП и сцепление.



1 – ДВС; 2 – генератор; 3 – клиноременная передача; 4 – педаль имитации газа;
 5 – блок управления; 6 – инвертор; 7 – блок аккумуляторных батарей;
 8 – балка заднего моста; 9 – мотор-редуктор (мотор-колесо); 10 – датчики частоты вращения колес; 11 – кнопка включения режима имитации блокировки межосевого дифференциала; 12 – подвеска заднего моста; 13 – кузов автомобиля

Рисунок 15 – Структурная схема разрабатываемой трансмиссии

«На ДВС 1 устанавливаем мощный генератор 2, который в свою очередь будет заряжать аккумуляторные батареи 7 через инвертор 6, либо так же через инвертор давать электрический ток на мотор-редукторы 9. Мотор-редукторы 9 с переменной частотой вращения могут вращать колеса. Всем

процессом управляет электронный блок управления 5 через инвертор 6. При нажатии на педаль 4, имитирующую педаль газа блок управления 5 посылает необходимые сигналы на инвертор 6 и нужная сила тока поступает на мотор-редукторы 9» [8].

«На штатном автомобиле устанавливается двигатель Cummins, дизельный, 4-тактный, с турбонаддувом, охлаждением наддувочного воздуха, жидкостного охлаждения, цилиндры расположены в ряд. Как уже говорилось ранее сцепление, КПП, карданную передачу и всю конструкцию заднего моста полностью исключаем. На имеющуюся заднюю подвеску устанавливаем вместо заднего моста балку 8 с расположенными по концам мотор-редукторами с колесами 9.

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

Для принудительной блокировки задних колес (имитация блокировки межосевого дифференциала) нами предложена кнопка 11. При нажатии этой кнопки мотор редукторы начинают работать синхронно» [8].

«На сегодняшний день в России основным поставщиком и разработчиком мотор-колес является компания «Центр исследования силовых и энергетических установок». Их мотор-колесо 415 НИЛД предназначено для применения в качестве тягового привода перспективных гибридных грузовых автомобилей, автобусов, тягачей и вездеходов» [4].

Мотор-колесо может использоваться в двух опциях в качестве поворотного и неповоротного колеса (рисунок 16).

«Мотор-колесо 415 НИЛД – это герметичная, маслозаполненная, глубоко интегрированная конструкция, объединяющая, функции колеса, тягового электродвигателя, планетарного редуктора и ленточного тормоза с гидроприводом. Питание осуществляется переменным электротоком от вентильного источника тока» [5].

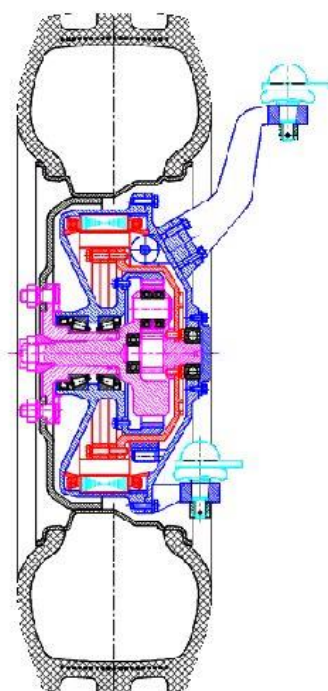


Рисунок 16 – Мотор-колесо 415 НИЛД

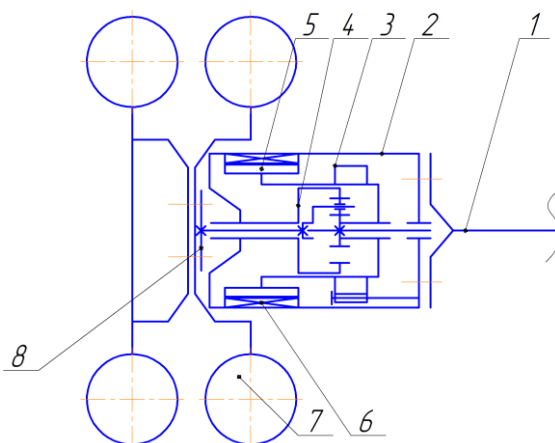
«Алгоритм управления поддерживает следующие основные режимы:

- движение вперед с регулированием мощности,
- движение назад с регулированием мощности,
- рекуперативное торможение,
- основное торможение электродвигателем,
- резервное торможение ленточным тормозом,
- движение накатом,
- движение вперед с заданной постоянной частотой вращения,
- движение назад с заданной постоянной частотой вращения» [5].

«Задание режимов работы осуществляется альтернативно от бортового компьютера или органов управления. Номинальная мощность 30 кВт, КПД 90%. Диапазон частот вращения находится в пределах от 0 до 3000 мин⁻¹, максимальный крутящий момент 2570 Н·м, крутящий момент электродвигателя 500 Н·м, питающее напряжение 300 В, масса 60 кг, диапазон рабочих температур от минус 50°С до плюс 50°С» [5].

3.4 Разработка кинематической схемы мотор-редуктора

На основании ранее проведенных исследований структурную схему проектируемого мотор-редуктора представим в виде рисунка 17 (за аналог возьмем перспективную разработку мотор-колеса 415 НИЛД).



1 – балка заднего моста; 2 – корпус мотор-редуктора; 3 – ленточный тормоз; 4 – редуктор одноступенчатый; 5 – ротор электродвигателя; 6 – статор электродвигателя; 7 – колеса; 8 – ступица колеса

Рисунок 17 – Кинематическая схема разрабатываемого мотор-редуктора

Предлагаемая конструкция достаточно проста и практична. Так что далее занимаемся ею.

При подаче напряжения на статор 6 возникает магнитное поле, которое начинает вращать ротор 5. При вращении ротора начинает работать редуктор 4, ведущие колеса 7 получают возможность вращаться.

3.5 Прочностные и кинематические расчеты

3.5.1 Кинематические расчеты мотор-редуктора

Для модернизации ранее нами был выбран серийный автомобиль категории М2 – ГАЗель NEXТ. На автомобиле установлен двигатель Cummins. Мощность двигателя – 88,3 кВт. Максимальная возможная скорость при полной массе 3500,0 до модернизации трансмиссии – 95,0 км/ч.

На стадии проектирования предполагаем, что КПД трансмиссии до модернизации составлял 0,85, тогда на одно колесо приходилось бы:

$$N_{КОЛЕСО} = \frac{N_{ДВ} \cdot \eta_{ТР}}{2}, \quad (36)$$

$$N_{КОЛЕСО} = \frac{87,5 \cdot 0,85}{2} = 37,19 \text{ кВт}.$$

Итак, глядя на структурную схему разрабатываемой конструкции, можно сделать вывод, что на ступице колеса должна быть мощность не менее 40,0 кВт.

«Далее рассмотрим частоту вращения колеса:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n, \quad (37)$$

где n – частота вращения приводного колеса, мин^{-1} .

$$\omega = \frac{V}{r}, \quad (38)$$

где V – максимальная линейная скорость движения автомобиля, принимаем $95,0 \text{ км/ч} = 26,39 \text{ м/с}$;

r – радиус колеса, $0,38 \text{ м}$ » [6].

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = \frac{V}{r} \Rightarrow n = \frac{V}{2 \cdot r \cdot \pi}. \quad (39)$$

Тогда максимально-возможная частота вращения колес определяется:

$$n = \frac{26,39 \cdot 60}{2 \cdot 0,38 \cdot 3,14} = 665,51 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда крутящий момент на ступице колеса можно сосчитать по выражению:

$$M_e = 9554 \cdot \frac{N}{n_i}, \quad (40)$$

Тогда при максимальной скорости движения:

$$M_{e(\max v)} = 9554 \cdot \frac{40,0}{663,51} = 575,97 \text{ Нм}.$$

При минимальной скорости движения, данная величина будет значительно выше. То есть при движении автомобиля со скоростью 5 км/ч=1,39 м/с, частота вращения составит:

$$n = \frac{1,39 \cdot 60}{2 \cdot 0,38 \cdot 3,14} = 34,95 \text{ мин}^{-1}.$$

Тогда крутящий момент на ступице колеса составит (при условии, что мощность на модельном автомобиле меняется в зависимости от частоты вращения ДВС) при минимальной скорости движения:

$$M_{e(\min v)} = 9554 \cdot \frac{10,0}{34,95} = 2732,47 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Далее необходимо определиться с передаточными числами редуктора и частотой вращения ротора мотор-редуктора.

Электродвигатель в проектируемом мотор-редукторе может изменять свою частоту от нуля до величины, рассчитанной ниже.

За аналог конструкции была взята ранее конструкция мотор-редуктора (мотор-колеса) 415 НИЛД. В данной конструкции следующие передаточные

числа: $U_{\text{БЫСТР.ЦИЛ.}} = 1,60$; $U_{\text{ТИХ.ЦИЛ.}} = 2,60$. Сейчас просчитаем нашу конструкцию с данными передаточными числами и проверим, подходят ли они нам:

$$n_{\text{ЭЛ.МАХ}} = n_{\text{КОЛЕСАМАХ}} \cdot U_{\text{БЫСТР.ЦИЛ.}} \cdot U_{\text{ТИХ.ЦИЛ.}}, \quad (41)$$

$$n_{\text{ЭЛ.МАХ}} = 663,51 \cdot 1,6 \cdot 2,6 = 2760,2 \text{ мин}^{-1}.$$

«Итак, нам необходима конструкция электродвигателя со следующими параметрами:

- номинальная мощность – 40,0 кВт;
- КПД – 90%;
- диапазон частот вращения от 0 до 3000 мин^{-1} ;
- максимальный крутящий момент – 2750 Н·м;
- крутящий момент электродвигателя – 114,65 Н·м,
- питающее напряжение – 300 В,
- масса конструкции – 75,0 кг,
- диапазон рабочих температур от минус 50°С до плюс 50°С» [12].

Все последующие расчеты, для упрощения поведем по максимальной частоте вращения электродвигателя 3000 мин^{-1} , тогда:

$$n_{\text{ЭЛ.МАХ}} = n_1 = 3000,0 \text{ мин}^{-1}, \quad (42)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{U_{\text{БЫСТР.ЦИЛ.}}} = \frac{3000,0}{1,6} = 1875,0 \text{ мин}^{-1}, \quad (43)$$

$$n_3 = \frac{n_2}{U_{\text{ТИХ.ЦИЛ.}}} = \frac{1875,0}{2,6} = 721,15 \text{ мин}^{-1}.$$

Определяем мощность:

$$N_1 = N_e \cdot \eta, \quad (44)$$

$$N_1 = 40,0 \cdot 0,9 = 36,0 \text{ кВт},$$

$$N_2 = 36,0 \cdot 0,97 = 34,92 \text{ кВт},$$

$$N_3 = 34,92 \cdot 0,97 = 33,87 \text{ кВт}.$$

Крутящие моменты на валах:

$$M_{e1} = 9554 \cdot \frac{36,0}{3000,0} = 114,65 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (45)$$

$$M_{e2} = 9554 \cdot \frac{34,92}{1875,0} = 177,83 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{e3} = 9554 \cdot \frac{33,87}{721,15} = 448,71 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результаты вычислений сводим в таблицу 6.

Таблица 6 – Результаты вычислений

Валы	Мощности на валах, кВт	Частоты вращения валов, мин ⁻¹	Крутящие моменты на валах, Н·м	Передаточные числа передач
I	36,0	3000,0	114,65	$U_{Б.} = 1,60$ $U_{Т.} = 2,60$
II	34,92	1875,0	177,83	
III	33,87	721,15	448,71	

Все последующие расчеты ведутся на основании таблицы 1.

3.5.2 Прочностной расчет тихоходной цилиндрической ступени

Выбор материала и термообработка.

Шестерня: сталь 40Х, термообработка – улучшение, 269...302 НВ, принимаем 285,5.

Колесо: сталь 40Х, термообработка – улучшение, 235...262 НВ, принимаем 248,5.

«Допускаемые напряжения определяем для шестерни и колеса отдельно:

$$[\sigma]_H = [\sigma]_{HO} \cdot Z_N, \quad (46)$$

где $[\sigma]_{HO}$ – базовое допускаемое напряжение, которое определяется по формуле (47);

Z_N – коэффициент долговечности, который определяется по формуле (48).

$$[\sigma]_{HO} = \frac{\sigma_{Hlim} \cdot Z_R \cdot Z_V}{S_H}, \quad (47)$$

где σ_{Hlim} – длительный предел контактной выносливости, МПа;

Z_R – коэффициент, учитывающий шероховатость сопряженных поверхностей;

Z_V – коэффициент, учитывающий влияние скорости;

S_H – коэффициент запаса прочности.

$$[\sigma]_{HO1} = \frac{641,0 \cdot 0,95 \cdot 1}{1,2} = 507,46 \text{ МПа},$$

$$[\sigma]_{HO2} = \frac{567,0 \cdot 0,95 \cdot 1}{1,2} = 448,88 \text{ МПа},$$

$$Z_N = \sqrt[m]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} \geq 1, \quad (48)$$

где N_{HO} – базовое число циклов нагружения;

N_{HE} – эквивалентное число циклов нагружения;

m – показатель степени кривой усталости поверхностных слоев зубьев, принимаем показатель равным 6» [6].

$$N_{HO} \cong (HB)^3 \leq 12 \cdot 10^7, \quad (49)$$

$$N_{HO1} = (285,5)^3 = 2,33 \cdot 10^7 \leq 12 \cdot 10^7,$$

$$N_{HO1} = (248,5)^3 = 1,53 \cdot 10^7 \leq 12 \cdot 10^7$$

Отсюда следует, что:

$$Z_{N1} = Z_{N2} = 1,2,$$

$$[\sigma]_{H1} = 507,46 \cdot 1,4 = 710,44 \text{ МПа},$$

$$[\sigma]_{H2} = 448,88 \cdot 1,4 = 628,43 \text{ МПа}.$$

За расчетное допускаемое напряжение для прямозубых передач принимается меньшее из полученных 628,43 МПа.

«Определение допускаемых напряжений при расчете зубьев на изгиб:

$$[\sigma]_F = [\sigma]_{FO} \cdot Y_A \cdot Y_N, \quad (50)$$

где $[\sigma]_{FO}$ – базовое допускаемое напряжение изгиба при нереверсивной нагрузке, которое определяется по формуле (16);

Y_A – коэффициент, вводимый при двустороннем приложении нагрузки;

Y_N – коэффициент долговечности, принимаем равным 1.

$$[\sigma]_{FO} = \frac{\sigma_{F\text{lim}} \cdot Y_R \cdot Y_X \cdot Y_\delta}{S_F}, \quad (51)$$

где $\sigma_{F\text{lim}}$ – предел выносливости, определяемый на зубьях при нулевом цикле, МПа;

Y_R – коэффициент, учитывающий шероховатость переходной поверхности, принимаем равным 1;

Y_X – коэффициент размеров, принимаем равным 1;

Y_δ – коэффициент, учитывающий чувствительность материала к концентрации материала, принимаем равным 1;

S_F – коэффициент запаса прочности, принимаем равным 1,7» [6].

$$\sigma_{F\text{liml}} = 1,75 \cdot HB = 1,75 \cdot 285,5 = 499,63 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{F\text{lim}2} = 1,75 \cdot HB = 1,75 \cdot 248,5 = 434,88 \text{ МПа} .$$

«Тогда получаем:

$$[\sigma]_{FO1} = \frac{499,63 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,7} = 293,9 \text{ МПа} ,$$

$$[\sigma]_{FO2} = \frac{434,88 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1}{1,7} = 255,81 \text{ МПа} ,$$

$$Y_N = \sqrt[m]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} \geq 1, \quad (52)$$

где N_{FO} – базовое число циклов нагружения, $N_{FO} = 4 \cdot 10^6$ [7];

N_{FE} – эквивалентное число циклов нагружения, равняется 6» [6].

«Определение межосевого расстояния:

$$a_w = K_a \cdot (U - 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot T_1}{\psi_a \cdot U \cdot [\sigma]_H^2}}, \quad (53)$$

где a_w – межцентровое расстояние, мм;

K_a – вспомогательный коэффициент, для прямозубых колес – 450,0;

K_H – коэффициент нагрузки, при не консольном и не симметричном расположении колес относительно опор – 1,4;

ψ_a – коэффициент ширины из улучшенных сталей (принимается 0,6 для удачной компоновки)» [6].

$$a_w = 450,0 \cdot (2,6 - 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{1,4 \cdot 177,83}{0,6 \cdot 2,6 \cdot 638,43^2}} = 52,37 \text{ мм} .$$

Полученное межосевое расстояние согласуют со значением из нормального ряда чисел (ближайшее): $a_w = 50,0$ мм.

Определение модуля передачи.

Для зубчатых колес при твердости зубьев $\leq 350HB$:

$$m = (0,01 \dots 0,02) \cdot a_w = 0,5 \dots 1,0 \text{ мм} . \quad (54)$$

«Полученное значение модуля согласуют со стандартным значением (ГОСТ 9563-80): 2,5 мм (модуль менее 1,50 мм в силовых передачах не назначают)» [6].

Определение суммарного числа зубьев для прямозубых передач:

$$Z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot a_w}{m}, \quad (55)$$

$$Z_{\Sigma} = \frac{2 \cdot 50,0}{2,50} = 40,0.$$

Определение числа зубьев шестерни:

$$Z_1 = \frac{Z_{\Sigma}}{U - 1}, \quad (56)$$

$$Z_1 = \frac{40}{2,6 - 1} = 25,0.$$

Принимаем число зубьев колес 25.

Определение числа зубьев колеса.

$$Z_2 = Z_{\Sigma} + Z_1 = 40 + 25 = 65. \quad (57)$$

Определение геометрических размеров колес.

Делительные диаметры определяются по формуле:

$$d_i = \frac{m_n \cdot Z_i}{\cos \beta}, \quad (58)$$

$$d_1 = \frac{m_n \cdot Z_1}{\cos \beta} = \frac{2,5 \cdot 25}{\cos 0^\circ} = 62,5 \text{ мм},$$

$$d_2 = \frac{m_n \cdot Z_2}{\cos \beta} = \frac{2,5 \cdot 65}{\cos 0^\circ} = 162,5 \text{ мм}.$$

Диаметры вершин зубьев внутреннего зацепления:

$$d_{ai} = d_i + 2 \cdot m_n, \quad (59)$$

$$d_{a1} = 62,5 + 2 \cdot 2,5 = 67,5 \text{ мм},$$

$$d_{a2} = 162,5 - 2 \cdot 2,5 = 157,5 \text{ мм}.$$

Диаметры впадин зубьев внутреннего зацепления:

$$d_{fi} = d_i - 2,5 \cdot m_n, \quad (60)$$

$$d_{f1} = 62,5 - 2,5 \cdot 2,5 = 56,25 \text{ мм},$$

$$d_{fi} = 2 \cdot 50,0 + 67,5 + 0,5 \cdot 2,5 = 168,75 \text{ мм}.$$

Ширина колеса:

$$b_2 = \psi_a \cdot a_w, \quad (61)$$

$$d_{fi} = 0,6 \cdot 50 = 30,0 \text{ мм}.$$

Ширина шестерни:

$$b_1 = b_2 = 30 \text{ мм}. \quad (62)$$

Определение усилий в зацеплении:

$$F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_1}, \quad (63)$$

$$F_i = \frac{2 \cdot 177,83}{0,0625} = 5690,56 \text{ Н},$$

$$F_r = F_i \cdot \operatorname{tg} \alpha_w, \quad (64)$$

$$F_r = 5690,56 \cdot \operatorname{tg} 20^\circ = 2071,19 \text{ Н}.$$

Проверка зубьев колес по напряжениям изгиба:

$$\frac{[\sigma]_{F_1}}{Y_{F_1}} \text{ и } \frac{[\sigma]_{F_2}}{Y_{F_2}},$$

$$Z_1 = 25 \text{ и } Z_2 = 65,$$

$$Y_{F_1} = 3,79 \text{ и } Y_{F_2} = 3,75 [1],$$

$$\frac{293,90}{3,79} = 77,55 \text{ и } \frac{255,81}{3,75} = 68,22,$$

$$77,55 > 68,22.$$

«Проверочный расчет на изгиб ведем по колесу:

$$\sigma_{F_2} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot Y_{F_2} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \cdot T_2}{m^2 \cdot Z_2 \cdot b_2} \leq [\sigma]_{F_2}, \quad (65)$$

где σ_{F_2} – рабочее напряжение изгиба по колесу, МПа;

$K_{F\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки, при постоянной нагрузке, твердости меньше 350 НВ и скорости меньше 15 м/с коэффициент принимается равным 1;

K_{FV} – коэффициент динамической нагрузки, по скорости назначают 8 степень точности передачи и коэффициент динамичности 1,18» [6].

$$V = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{6 \cdot 10^4}, \quad (66)$$

$$V = \frac{3,14 \cdot 162,5 \cdot 721,15}{6 \cdot 10^4} = 6,13 \text{ м/с}.$$

Подставляем значения в формулу (65) и получаем:

$$\sigma_{F_2} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 3,75 \cdot 1 \cdot 1,18 \cdot 448,71}{2,5^2 \cdot 65,0 \cdot 30,0} = 225,83 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{F_2} = 225,83 \text{ МПа} < [\sigma_{F_2}] = 255,81 \text{ МПа}.$$

Прочность зубьев на изгиб обеспечена.

«Проверка зубьев колес на контактную прочность:

$$\sigma_H = K \cdot \sqrt{\frac{K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV} \cdot F_t \cdot (U-1)}{d_1 \cdot b_2 \cdot U}} \leq [\sigma]_H, \quad (67)$$

где K – вспомогательный коэффициент, для прямозубых передач принимаем 428,0;

$K_{H\alpha}$ – коэффициент распределения нагрузки между зубьями, принимаем равным 1;

$K_{H\beta}$ – коэффициент концентрации нагрузки, принимаем 1,03;

K_{HV} – коэффициент динамичности нагрузки, принимаем 1,06» [6].

$$\sigma_H = 428,0 \cdot \sqrt{\frac{1 \cdot 1,03 \cdot 1,06 \cdot 5690,56 \cdot (2,6-1)}{62,5 \cdot 30,0 \cdot 2,6}} = 611,17 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_H < [\sigma_H] = 611,17 \text{ МПа}$$

$$\sigma_H < [\sigma_H] = 611,17 \text{ МПа} < 638,43 \text{ МПа}$$

Условие контактной прочности выполняется.

Спецификация на мотор-колесо представлена в Приложении А (рисунки А.1, А.2).

Выводы по разделу.

В данном раздел был проведен выбор автомобиля, служащего в качестве базы, и сопоставление разрабатываемой установки (мотор-колес). Также в данном разделе были разработаны схемы трансмиссии и построена кинематическая схема мотор-редуктора. В заключительной части проведены прочностные и кинематические расчеты.

4 Технологический раздел

Сборочный процесс в автомобиле- и тракторостроении представляет собой совокупность операций по соединению деталей в определенной последовательности для получения узлов, механизмов или законченного автомобиля (трактора), полностью отвечающих установленным техническим требованиям.

При производстве автомобилей и тракторов их собирают либо на том же заводе, где изготавливаются детали этого изделия, либо на специализированном сборочном предприятии. Первый вид организации производства в настоящее время преобладает в отечественном автотракторостроении.

Трудоемкость сборочных работ больше трудоемкости литейных, сварочных, кузнечно-прессовых и ряда других работ. Реальная возможность снижения трудоемкости сборки прежде всего путем ее механизации – это один из важных резервов производства.

В автотракторостроении преобладает массовое и крупносерийное производство. По сравнению с другими отраслями машиностроения здесь имеются более благоприятные условия для механизации и автоматизации процессов сборки и сокращения на этой основе ручного труда. Между тем, трудоемкость работ в заготовительных и обрабатывающих цехах большинства автомобильных и тракторных заводов снижается более быстрыми темпами, чем в сборочных. В связи с этим относительное значение трудоемкости сборки очень часто не сокращается, а растет.

Удельный вес сборочных работ в общей трудоемкости изготовления автомобилей и тракторов составляет в настоящее время 25-30%.

Исходными данными для проектирования технологического процесса сборки являются:

- сборочные чертежи (изделия, узла или машины);
- технические условия на сборку;

- рабочие чертежи деталей, входящих в изделие;
- заданная годовая программа или общая программа выпуска.

Также при проектировании технологического процесса сборки необходимо пользоваться вспомогательными материалами, такими как: каталоги, паспорта, характеристики сборочного оборудования и механизированного сборочного инструмента; ГОСТ и нормы на немеханизированный сборочный инструмент, технологические процессы сборки типовых узлов.

4.1 Обоснование выбора технологического процесса

Выбор технологического процесса сборки зависит от различных факторов, таких как тип изделия, его размеры, количество производимой продукции, требования к качеству и степени автоматизации процесса.

Одним из основных факторов является тип изделия. Например, для изделий, требующих высокой точности и мелких деталей, лучше использовать автоматизированный технологический процесс, чтобы уменьшить ошибки человеческого фактора и обеспечить повышенную точность.

Кроме того, размеры изделия могут определять, какой технологический процесс выбрать. Для производства больших изделий может потребоваться использование кранов и других тяжелых механизмов, а для мелких изделий могут использоваться автоматические линии сборки.

Ввиду того, что модернизация заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес не будет иметь большого спроса сборку мотор-колеса можно осуществлять методом мелкосерийной сборки.

«В мелкосерийном производстве используют форму стационарной непоточной сборки с дифференциацией процесса на узловую и общую сборку. Процесс сборки осуществляется бригадами рабочих, имеющих профильную специальность по каждому виду сборочных работ» [10].

«Рассчитаем такт выпуска по формуле:

$$T_{д} = \frac{F_{д} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (68)$$

где $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным 2070 ч. для стационарной сборки на необорудованном оборудовании;

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 120 шт» [14].

$$T_{д} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{120} = 1035 \text{ ч.}$$

Далее составляем технологическую схему сборки.

Технологическая схема сборки – это графическое представление последовательности операций, необходимых для производства конечного продукта. Она описывает порядок выполнения всех этапов производства, начиная с получения исходных материалов и заканчивая готовым изделием.

Основные элементы технологической схемы сборки:

- получение исходных материалов;
- подготовительные операции – разметка материалов, нарезка, обработка и так далее;
- сборочные операции – сборка изделия из отдельных деталей;
- окончательная обработка – шлифовка, полировка, окраска и так далее;
- контроль качества – проверка соответствия готового изделия заданным требованиям;
- упаковка и хранение готового изделия.

Перечень сборочных работ узловой и общей сборки представлен в таблице 7.

Таблица 7 – Перечень сборочных работ

Содержание основного и вспомогательного перехода	Время на выполнение операции, мин.
Осмотреть кузов автомобиля на наличие повреждений и дефектов	15
Выполнить демонтаж штатного генератора	20
Взять генератор в сборе	0,5
Осмотреть генератор в сборе на наличие повреждений и дефектов	2
Установить генератор в сборе на предусмотренное для крепления место	30
Демонтировать задний мост, карданную передачу, КПП и сцепление	120
Демонтировать штатную педаль газа	15
Взять педаль имитации газа	0,5
Осмотреть педаль имитации газа на наличие повреждений и дефектов	1
Установить педаль имитации газа на место штатной педали	20
Взять блок управления	0,5
Осмотреть блок управления на наличие повреждений и дефектов	1
Выполнить установку блока управления в кузове автомобиля	5
Взять инвертор	0,5
Осмотреть инвертор на наличие повреждений и дефектов	2
Установить инвертор в кузове автомобиля	6
Взять блок аккумуляторных батарей	1
Осмотреть блок аккумуляторных батарей на наличие повреждений и дефектов	8
Установить блок аккумуляторных батарей в кузове автомобиля	25
Взять балку заднего моста при помощи грузоподъемного приспособления	3
Осмотреть балку заднего моста на наличие повреждений и дефектов	10
Установить балку заднего моста на место штатного заднего моста	60
Взять мотор-колесо (2 шт.)	4
Осмотреть мотор-колесо на наличие повреждений и дефектов	2
Выполнить установку мотор-колес на балку заднего моста	40
Взять датчики частоты вращения колес (4 шт.)	0,5
Осмотреть датчики частоты вращения колес на наличие повреждений и дефектов	4
Установить датчики частоты вращения колес на все 4 колеса	60
Взять кнопку включения режима имитации блокировки межосевого дифференциала	0,3
Установить кнопку включения режима имитации блокировки межосевого дифференциала на панель приборов	7
Взять электрические провода	1
Выполнить соединение электрических частей проектируемой трансмиссии	90
Провести регулировочные операции и испытание	90
Устранить выявленные замечания в ходе испытания	60
Итого:	704,8

«Рассчитаем общее оперативное время на все виды работ по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}, \quad (69)$$

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}$$

Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{ум}^{общ} = t_{on}^{общ} + t_{on}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (70)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 3%;
 β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 5%» [11].

$$t_{ум}^{общ} = 704,8 + 704,8 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 761,18 \text{ мин.}$$

4.2 Проектирование технологического процесса сборки проектируемой трансмиссии с мотор-колесами для заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT

Составим последовательность технологических операций с указанием приспособлений и затрачиваемого на выполнение операций времени заносим в таблицу 8.

Таблица 8 – Технологический процесс сборки проектируемой трансмиссии с мотор-колесами для заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
005	Сборочная	1	Осмотреть кузов	Приспособление	554,8

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			автомобиля на наличие повреждений и дефектов	грузоподъемное, набор головок, рожковые ключи, отвертка, молоток, плоскогубцы, вороток, динамометрический ключ	
		2	Выполнить демонтаж штатного генератора		
		3	Взять генератор в сборе		
		4	Осмотреть генератор в сборе на наличие повреждений и дефектов		
		5	Установить генератор в сборе на предусмотренное для крепления место		
		6	Демонтировать задний мост, карданную передачу, КПП и сцепление		
		7	Демонтировать штатную педаль газа		
		8	Взять педаль имитации газа		
		9	Осмотреть педаль имитации газа на наличие повреждений и дефектов		
		10	Установить педаль имитации газа на место штатной педали		
		11	Взять блок управления		
		12	Осмотреть блок управления на наличие повреждений и дефектов		
		13	Выполнить установку блока управления в кузове автомобиля		
		14	Взять инвертор		
		15	Осмотреть инвертор на наличие повреждений и дефектов		
		16	Установить инвертор в кузове автомобиля		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		17	Взять блок аккумуляторных батарей		
		18	Осмотреть блок аккумуляторных батарей на наличие повреждений и дефектов		
		19	Установить блок аккумуляторных батарей в кузове автомобиля		
		20	Взять балку заднего моста при помощи грузоподъемного приспособления		
		21	Осмотреть балку заднего моста на наличие повреждений и дефектов		
		22	Установить балку заднего моста на место штатного заднего моста		
		23	Взять мотор-колесо (2 шт.)		
		24	Осмотреть мотор-колесо на наличие повреждений и дефектов		
		25	Выполнить установку мотор-колес на балку заднего моста		
		26	Взять датчики частоты вращения колес (4 шт.)		
		27	Осмотреть датчики частоты вращения колес на наличие повреждений и дефектов		
		28	Установить датчики частоты вращения колес на все 4 колеса		
		29	Взять кнопку включения режима		

Продолжение таблицы 8

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			имитации блокировки межосевого дифференциала		
		30	Установить кнопку включения режима имитации блокировки межосевого дифференциала на панель приборов		
		31	Взять электрические провода		
		32	Выполнить соединение электрических частей проектируемой трансмиссии		
010	Регулировочная	1	Провести регулировочные операции и испытание	Набор головок, рожковые ключи, отвертка, динамометрический ключ, мультиметр	150
		2	Устранить выявленные замечания в ходе испытания		

Технологическая схема сборки проектируемой трансмиссии с мотор-колесами для заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT представлена в графической части ВКР.

Выводы по разделу.

В разделе выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, спроектирован технологический процесс сборки проектируемой трансмиссии с мотор-колесами для заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT и представлен в графической части ВКР.

5 Производственная и экологическая безопасность проекта

В настоящее время возрос интерес к человеческим ресурсам, улучшились условия и качественные меры по охране труда на рабочем месте. В долгосрочной перспективе благополучие человеческих ресурсов является источником стабильности, процветания и производительности.

Стоимость несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в странах колеблется от 2,6% до 3,8% валового национального продукта.

Работники должны активно участвовать в процессе управления охраной труда и рисками для здоровья, так как это позволяет повысить эффективность мер по защите от опасностей на рабочем месте.

Участие работников в процессе управления охраной труда подразумевает:

- информирование сотрудников о возможных опасностях, связанных с работой и оказании первой помощи в случае необходимости;
- оценка рисков и выработка предложений по принятию мер по уменьшению их воздействия на работников;
- проведение обучения и тренингов по охране труда, продуктивному использованию рабочего времени и управлению стрессом;
- участие в разработке и контроле соблюдения инструкций по безопасности, а также в работе комиссии по охране труда.

Риск для здоровья работников может возникнуть в случае невнимательного отношения к охране труда, а также при недостаточной осведомленности о возможных опасностях и оказанию первой помощи в случае необходимости. Поэтому, активное участие работников в процессе управления охраной труда и рисками для здоровья является необходимым условием для создания безопасной и здоровой рабочей среды.

Работники должны иметь возможность выражать свое мнение и предлагать свои идеи по улучшению охраны труда в организации. Это

позволит улучшить культуру безопасности и создать атмосферу ответственности и заботы о здоровье друг друга.

5.1 Характеристика технологического процесса демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT с конструктивно-технологической и организационно-технической стороны

В целях наиболее полного рассмотрения характеристики технологического процесса демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT с конструктивно-технологической и организационно-технической стороны необходимо составить технологический паспорт (таблица 9).

Таблица 9 – Технологический паспорт технологического процесса демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
«Демонтаж мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT» [7].	1 Установить автомобиль на пост. 2 Открутить гайки крепления колёс. 3 Снять колёса. 4 Открутить болты крепления мотор-редукторов. 5 Снять мотор-редукторы	«Слесарь по ремонту автомобилей четвертого разряда	Ключ балонный, рожковые ключи, специальный ключ	Перчатки» [7].

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Важным аспектом является необходимость идентификации риска в организации, чтобы поддерживать или улучшать правильное и всестороннее определение эффективности охраны труда.

Оценка профессионального риска представляет собой подробное изучение всех возможных происшествий, потенциально вредных действий, которые допустимы или недопустимы в организации. Одним из наиболее важных аспектов является то, что каждая организация должна определить и выбрать риски, которые находятся на пределе мер предосторожности, которые должны быть проанализированы и пересмотрены. Тяжесть последствий отражает серьезность результата, который может быть вызван нежелательным и неожиданным событием. Вероятность возникновения события следует оценивать с учетом наличия или отсутствия систем управления.

Деятельность по идентификации рисков включает:

- выявление опасностей, присутствующих на рабочем месте и в рабочей среде;
- выявление опасностей, обнаруженных в ходе предыдущего управления рисками;
- выявление потенциальных последствий признанных опасностей – рисков, то есть потенциальных причин травматизма работников, несчастного случая на производстве, профессионального заболевания или профессионального заболевания.

Работодатель также должен заменять опасные элементы на менее опасные или совсем неопасные, а также организовывать работу и условия труда таким образом, чтобы создать безопасную атмосферу на рабочем месте.

Еще один важный аспект – это адаптация работы к личности работника. Каждый человек уникален и его индивидуальные потребности и возможности должны учитываться при создании рабочего места и установки задач.

Таблица 10 содержит результаты идентификации профессиональных рисков в процессе демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT.

Таблица 10 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
<ul style="list-style-type: none"> - установить автомобиль на пост; - открутить гайки крепления колёс; - Снять колёса; - открутить болты крепления мотор-редукторов; - снять мотор-редукторы. 	«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей автомобиля»	Элементы конструкции автомобиля
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, транспорта» [7]
	«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	Электроинструмент
	Возможность поражения электрическим током	Электроинструмент» [7]
	«Отсутствие или недостаток естественного света»	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [16].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой»	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [7].
	«Напряжение зрительных анализаторов»	
Монотонность труда, вызывающая монотонию» [7].		

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Основой снижения профессиональных рисков является подготовка и обучение сотрудников. Это поможет им понимать процессы своей работы и принимать правильные решения.

Правильное планирование задач поможет снизить риски и уменьшить вероятность возникновения проблем в работе.

Использование защитной экипировки и оборудования – в некоторых профессиях защитная экипировка необходима для снижения рисков. Например, обязательное использование шлемов и защитных очков в строительстве.

Регулярные проверки оборудования и обслуживание позволят выявлять и устранять возможные проблемы до их возникновения.

Правильное распределение нагрузки – риск травм и ранений может быть снижен.

«В обязанности работодателя входит обеспечение мероприятий, направленных на улучшение условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки условий труда (Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ). Работодатель должен направлять на эти цели, согласно статье 226 «Финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда» Трудового кодекса РФ, не менее 0,2% суммы затрат на производство продукции (работ, услуг)» [15].

Специальная оценка условий труда (далее – СОУТ) – это процесс анализа рабочей среды и рабочих операций с целью определения возможных рисков и определения мер по их устранению или снижению.

СОУТ проводится специалистами по охране труда и имеет законодательную базу во многих странах. Она является обязательной для всех организаций, где работники подвергаются воздействию вредных факторов, таких как шум, вибрация, химические вещества, пыль, излучения и другое.

Оценка проводится на основе измерений и анализа данных, полученных на рабочих местах. После проведения оценки, специалисты определяют уровень риска и рекомендуют меры по его снижению.

«Основные мероприятия:

- а) проведение специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) позволяет оценить условия труда на рабочих местах и выявить О и ВПФ и тем самым выполнить некоторые обязанности работодателя, предусмотренные Трудовым кодексом РФ:
- 1) информировать работников об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске повреждения здоровья, предоставляемых им гарантиях, полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты;
 - 2) разработать и реализовать мероприятия по приведению условий труда в соответствие с государственными нормативными требованиями охраны труда;
 - 3) установить компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда» [15].
- б) «обеспечение работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых температурных и климатических условиях или связанных с загрязнением, средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
- в) устройство новых и (или) модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;
- г) приведение уровней естественного и искусственного освещения на рабочих местах, в бытовых помещениях, местах прохода работников в соответствие с действующими нормами;
- д) устройство новых и (или) реконструкция имеющихся мест организованного отдыха, помещений и комнат релаксации, психологической разгрузки, мест обогрева работников, а также укрытий от солнечных лучей и атмосферных осадков при работах на открытом воздухе; расширение, реконструкция и оснащение санитарно-бытовых помещений;

- е) обеспечение хранения средств индивидуальной защиты, а также ухода за ними (своевременная химчистка, стирка, дегазация, дезактивация, дезинфекция, обезвреживание, обеспыливание, сушка), проведение ремонта и замена СИЗ;
- ж) приобретение стендов, тренажеров, наглядных материалов, научно-технической литературы для проведения инструктажей по охране труда, обучения безопасным приемам и методам выполнения работ, оснащение кабинетов (учебных классов) по охране труда компьютерами, теле-, видео-, аудиоаппаратурой, лицензионными обучающими и тестирующими программами, проведение выставок, конкурсов и смотров по охране труда;
- з) обучение лиц, ответственных за эксплуатацию опасных производственных объектов;
- и) оборудование по установленным нормам помещения для оказания медицинской помощи и (или) создание санитарных постов с аптечками, укомплектованными набором лекарственных средств и препаратов для оказания первой помощи;
- к) и других мероприятий в рамках действующего законодательства (нормативно-правовых актов) РФ» [15].

Для решения выявленных проблем, используем методы и средства, соответствующие действующим нормативным документам. Также предлагаем меры, указанные в таблице 11, для уменьшения профессиональных рисков.

Таблица 11 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда,

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
оборудования	устройств в надлежащем состоянии	средства защиты органов дыхания, зрения, слуха» [20].
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования. – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; – обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [20].
«Повышенный уровень шума	Применение звукоизоляции, звукопоглощения, демпфирования и глушителей шума (активных, резонансных, комбинированных); группировка шумных помещений в одной зоне здания и отделение их коридорами; введение регламентированных дополнительных перерывов; проведение обязательных медосмотров	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].
«Возможность поражения электрическим током	Оформление допуска по электробезопасности, проведение инструктажа по работе с электрическими установками, применение заземляющего устройства	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [15].
«Отсутствие или недостаток естественного света	Устройство дополнительных световых проемов в стенах, фонарей на крыше здания» [16]	–
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение	–

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ;</p> <ul style="list-style-type: none"> – правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащенности средствами комплексной и малой механизации; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [7]. 	
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> – объединение малосодержательных операций в более сложные и разнообразные: 1. длительность объединенных операций не должна превышать 10-12 мин, иначе это повлечет снижение производственных показателей; – чрезмерное укрупнение операций может не соответствовать уровню квалификации работника. При совмещении профессий следует учитывать перенос (положительное) и интерференцию (отрицательное) взаимодействие навыков новой и совмещаемой профессии. Должны загружаться различные психофизиологические функции работника» [7]. – «внедрение научно обоснованных режимов труда и отдыха для предотвращения возникновения у работающих на монотонных работах отрицательных психологических состояний (психологического пресыщения, скуки, сонливости, апатии); 	–

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> – применение методов эстетического воздействия во время работы, что способствует улучшению психологических условий труда и включает озеленение, цветовой интерьер, оптимальную освещенность рабочего места, снижение шума, вибрации, запыленности и загазованности; – отбор работников на основе учета их индивидуальных психофизиологических особенностей; разработку и регулярное применение систем морального и материального стимулирования; – усложнение обязанностей в процессе дежурства, а именно выполнение дополнительных задач по изучению техники, ведение записей в журнале; – выбор компромиссной продолжительности периодического дежурства исходя из назначения системы человек-машина» [20]; – «установление оптимальной длительности ежесуточного пассивного отдыха (сна без перерывов) не менее 7 час (при отсутствии экстренной необходимости его прерывания); – чередование пассивного отдыха с активным» [15]. 	

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Анализируем вероятные источники возможного возникновения пожаров и выявляем опасные факторы, которые могут вызвать их появление (таблица 12).

Таблица 12 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Зона ТО	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [7].

«В статье 42 Федерального закона от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ представлена классификация пожарной техники:

- системы, установки АПС (автоматическая пожарная сигнализация), АУПТ (автоматическая установка пожаротушения), СОУЭ (системы оповещения и управления эвакуацией), пожарной связи, автоматики;
- первичные: мобильные средства пожаротушения (все виды огнетушителей, пожарные краны, пожарный инвентарь);
- пожарное оборудование;
- средства индивидуального/группового самоспасения, защиты органов дыхания;
- ручной, механизированный инструмент» [16].

«Выполним классификацию средств пожаротушения применяемых для данного технического объекта:

- первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1шт.;

- мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);
- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

Разработка мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности является одним из главных этапов обеспечения безопасности в зданиях и сооружениях. Такие мероприятия должны быть разработаны в соответствии с законодательными и нормативными актами и утверждены руководством организации.

Первый шаг при разработке мероприятий – это проведение анализа рисков возможного возникновения пожара в здании или сооружении.

Для этого необходимо провести осмотр помещений, выявить наличие возможных источников возгорания, оценить состояние систем пожарной безопасности.

Выполним разработку мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности при демонтаже мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT (таблица 13.

Таблица 13 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при демонтаже мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]

Продолжение таблицы 13

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [20]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [15]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [16]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143–2009, ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [7]

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса демонтажа мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT

Для обеспечения экологической безопасности технологического процесса необходимо принимать следующие меры:

- использование экологически чистых материалов и ресурсов. Например, замена опасных химических реагентов на более безопасные аналоги;
- минимизация выбросов и отходов. Необходимо использовать эффективные системы очистки выбросов и переработки отходов;

- соблюдение норм и требований экологического законодательства. Технологический процесс должен соответствовать требованиям всех нормативных документов и лицензий;
- обучение и мотивация персонала. Сотрудники должны понимать важность экологической безопасности и использовать соответствующие методы;
- проведение экологической оценки технологического процесса

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при демонтаже мотор-колеса с автомобиля и сведем их в таблицу 14.

Таблица 14 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Демонтаж мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [11].

Выполним разработку мероприятий, направленных на снижение негативного антропогенного воздействия при демонтаже мотор-колеса с автомобиля ГАЗель NEXT:

- атмосферу – использование технологий снижения выбросов и загрязнений: установка фильтров на промышленные предприятия, ограничение использования транспорта с высокими выбросами, утилизация отходов, популяризация и переход на использование возобновляемых источников энергии (установка солнечных панелей, ветрогенераторов, гидроэлектростанций и так далее) ;
- «гидросферу – контроль за процессами утилизации и захоронения

выбросов, стоков и осадков сточных вод. Персональная ответственность за охрану окружающей среды» [20];

- литосферу – внедрение программ по сбору и переработке отходов. Это включает создание системы отдельного сбора мусора, развитие рынка вторсырья.

Выводы по разделу.

В разделе:

- разработан паспорт производственно-технологического процесса демонтажа мотор-колеса с легкового автомобиля;
- выявлены профессиональные риски при демонтаже мотор-колеса с легкового автомобиля и определены методы и средства их снижения;
- идентифицирован класс и опасные факторы пожара, разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности при демонтаже мотор-колеса с автомобиля;
- идентифицированы экологические факторы, возникающие при демонтаже мотор-колеса с легкового автомобиля и разработаны мероприятия по их снижению.

6 Экономическая эффективность проекта

Для определения финансовых затрат на модернизацию заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес необходимо учесть следующие факторы:

- стоимость материалов: необходимо определить, какие материалы будут использоваться для создания конструкции, и рассчитать их стоимость;
- трудозатраты: необходимо определить количество человеко-часов, которые будут потрачены на модернизацию подвески, и рассчитать стоимость труда в соответствии с тарифами на работу;
- оборудование: необходимо определить, какое оборудование будет необходимо для создания конструкции (например, инструменты, станки и так далее) и рассчитать их стоимость;
- дополнительные расходы: необходимо учесть все дополнительные расходы, такие как аренда помещения, расходы на транспортировку материалов и оборудования, расходы на электроэнергию и так далее.

После того как все факторы были учтены, можно рассчитать общую сумму финансовых затрат на модернизацию заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес.

«Затраты на изготовление модернизированного заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес определяем по формуле:

$$C_{кон} = C_{к.д} + C_{о.д} + C_{н.д} + C_{сб.н} + C_{о.н}, \quad (71)$$

где $C_{к.д}$ – стоимость изготовления корпусных деталей, р.;

$C_{о.д}$ – затраты на изготовление оригинальных деталей, р.;

$C_{н.д}$ – цена покупных деталей, изделий, агрегатов, р.;

$C_{об.н}$ – полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{о.н}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р» [9].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_k \cdot C_k, \quad (72)$$

где Q_k – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг. В данной конструкции корпусной деталью является корпус мотор-колеса массой 10 кг;

C_k – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 135,0 р./кг» [9].

$$C_{к.д} = 10,0 \cdot 135,0 = 1350,0 \text{ р.}$$

Общая стоимость корпусных деталей составляет 1350,0 р.

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{о.д} = C_{прн} + C_m, \quad (73)$$

где $C_{прн}$ – заработная плата производственных рабочих, занятых на изготовление оригинальных деталей, с учетом дополнительной зарплаты и отчислений, р.;

C_m – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р» [9].

«Зарботную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{np} = t \cdot C_q \cdot \kappa_t, \quad (70)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей (статор – 1 шт.; ротор – 1 шт.) статор 2,5 чел.·ч.; ротор 3,5 чел.·ч.

C_q – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду, р./ч;

κ_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимается равным 1,03» [9].

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 января 2023 года МРОТ составляет 16242 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $16242/(7 \cdot 21) = 110,48$ р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [9].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $110,48 \cdot 1,42 = 156,88$ р./ч.

$$C_{np} = 6 \cdot 156,88 \cdot 1,03 = 969,52 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_o = (5 \dots 12) \cdot C_{np} / 100, \quad (74)$$

$$C_o = 10 \cdot 969,52 / 100 = 96,95 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{соц} = 30 \cdot (C_{np} + C_o) / 100, \quad (75)$$

$$C_{соц} = 30 \cdot (969,52 + 96,95) / 100 = 319,94 \text{ р.,}$$

$$C_{\Sigma np} = 969,52 + 96,95 + 319,94 = 1386,41 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 1386,41 р.

«Стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (76)$$

где C – цена 1 кг материала заготовок, р./кг;

Q_3 – масса заготовки, кг» [9].

$$C_M = 160 \cdot 10 = 1600 \text{ р.}$$

$$C_{o.d} = 1600 + 1386,41 = 2986,41 \text{ р.}$$

Таким образом, затраты на изготовление оригинальных деталей составляют 2986,41 р.

«Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определяется по формуле:

$$C_{сб.п} = C_{сб} + C_{д.сб} + C_{соц.сб}, \quad (77)$$

где $C_{сб}$ – основная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{д.сб}$ – дополнительная заработная плата рабочих, занятых на сборке, р.;

$C_{соц.сб}$ – страховые взносы в фонды, р» [9].

«Основная заработная плата рабочих, занятых на сборке рассчитывается по формуле:

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_1, \quad (78)$$

где $T_{сб}$ – нормативная трудоемкость на сборку конструкции, чел.-ч.

$$T_{сб} = k_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (79)$$

где $t_{сб}$ – трудоемкость сборки составных частей, чел.-ч ;

k_c – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [9].

По справочным данным принимаем $t_{сб}$ равную 7,0 чел.-ч.

$$T_{сб} = 1,25 \cdot 7 = 8,75 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{сб} = 8,75 \cdot 156,88 \cdot 1,03 = 1413,88 \text{ р.},$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 1413,88 = 141,38 \text{ р.},$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (1413,88 + 141,38) = 466,57 \text{ р.}$$

$$C_{сб.п} = 1413,88 + 141,38 + 466,57 = 2021,83 \text{ р.}$$

Таким образом, полная заработная плата производственных рабочих занятых на сборке составит 2021,83 р.

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{он} = \frac{(C'_{np} \cdot R_{он})}{100}, \quad (80)$$

где C'_{np} – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

$R_{он}$ – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [9].

$$C'_{np} = (C_{np} + C_{сб}), \quad (81)$$

$$C'_{np} = 969,52 + 1413,88 = 2383,4 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(2383,4 \cdot 15)}{100} = 357,51 \text{ р.}$$

Стоимость покупных деталей, изделий, агрегатов представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Числовое значение, руб.
Прокладки	250
Электрооборудование (генератор, аккумуляторные батареи, инвертор, электронный блок управления)	42000
Герметик	300
Крепежные изделия	300
Итого:	42850

$$C_{но} = 250 + 42000 + 300 + 300 = 42850 \text{ р.}$$

Далее рассчитаем годовую экономию, годовой экономический эффект и срок окупаемости нашей разработки.

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 1350 + 2986,41 + 42850 + 2021,83 + 357,51 = 49565,75 \text{ р.}$$

Затраты на модернизацию заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес сведем в таблицу 15.

Таблица 15 – Затраты на изготовление конструкторской разработки модернизированного заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	1350

Продолжение таблицы 15

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления оригинальных деталей	2986,41
Общая заработная плата на сборку	2021,83
Общепроизводственные накладные расходы	357,51
Стоимость покупных изделий	42850
Итого:	49565,75

Общие затраты на изготовление модернизированного заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес равны 49565,75 р. Это для одной стороны, стоимость комплекта составит (две стороны): $49565,75 \cdot 2 \cdot 1,125$ (коэффициент, учитывающий монтаж) 111522,93 р.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{ПР} - C_{КОН}, \quad (82)$$

где $C_{ПР}$ – стоимость прототипа, р.» [9].

$$\mathcal{E}_Г = 130000 - 111522,93 = 18477,07 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{OK} = \frac{C_{КОН}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (83)$$

$$O_{OK} = \frac{111522,93}{18477,07} = 6,03 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{КОН}, \quad (81)$$

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = 18477,07 - 0,15 \cdot 111522,93 = 1748,63 \text{ р.}$$

В таблице 16 представлены основные показатели проекта.

Таблица 16 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	130000	111522,93
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	18477,07
Экономический эффект	р.	–	1748,63
Срок окупаемости	год	–	6,03

Выводы по разделу.

В разделе определена эффективность модернизации заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес с экономической стороны.

Стоимость модернизации заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес с учетом установки составляет 111522,93 р., срок окупаемости равен 6,03 года, что является допустимым для данной конструкции.

Заключение

В соответствии с утвержденной темой дипломного проекта была проведена модернизация заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с разработкой мотор-колес.

Ключевым вопросом дипломной работы является проектирование мотор-колес для заднеприводного автомобиля ГАЗель NEXT с целью улучшения технико-экономических свойств автомобиля, снижения вредных выбросов в атмосферу, уменьшения потребления горючего, как в автономном, так и в комбинированном режиме работы.

В работе мы затрагиваем проблему совершенствования и упрощения конструкции автомобильной трансмиссии. Применение мотор-колес и последовательного гибрида позволяет передать на колеса мощное тяговое усилие при этом полностью избавиться от механической трансмиссии: карданных валов, коробок передач, дифференциалов, раздаточных коробок.

В ходе выполнения дипломного проекта было сделано следующее:

- рассмотрены конструктивные особенности, виды компоновки мотор-редукторов, выполнен обзор основных конструкций существующих электромотор-колес, изучен принцип работы мотор-колеса;
- выполнен тягово-динамический расчёт автомобиля ГАЗель NEXT;
- выполнена конструкторская разработка мотор-редуктора для автомобиля категории М2, рассмотрено устройство гибридных автомобилей, разработана схема трансмиссии и кинематическая схема мотор-редуктора, выполнены прочностные и кинематические расчеты;
- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс мотор-колеса;
- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
- определена целесообразность модернизации заднеприводного автомобиля разработкой мотор-колес с экономической стороны.

Список используемой литературы и используемых источников

1 Ашмаров А. В. Автомобили ГАЗ-33021 и ГАЗ-2705 "Газель" : Руководство по ремонту, эксплуатации и техническому обслуживанию автомобилей. - Москва : Третий Рим, 2003 (Твер. полигр. комб. дет. лит.). - 182 с.

2 Беляев В. П. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для самостоятельной работы студентов : для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автомобиле- и тракторостроение" / В. П. Беляев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Автомобили". - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2010. - 74, [1] с

3 Вахламов В. А. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (Автомобильный транспорт)" направления подготовки "Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования" / В. К. Вахламов. - 2-е изд., стер. - Москва : Академия, 2009. - 556, [1] с.

4 Войнаш А. С. Конструкция, теория и расчет малогабаритных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / А. С. Войнаш, С. А. Войнаш, Т. А. Жарикова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова", Рубцовский индустриальный институт. - Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. - 132 с.

5 Гаврилов М. С. Программы расчета элементов деталей машин (в помощь конструктору) [Текст] / М. С. Гаврилов. - Москва : Спутник+, 2015. - 118 с.

6 Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства по дисциплине "Конструкции подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования" : [практикум] / М. Д. Герасимов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. - 115 с.

7 Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. - 22 с.

8 Губарев А. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие : для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / А. В. Губарев, А. Г. Уланов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Колесные, гусеничные машины и автомобили". - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2015. - 564, [1] с.

9 Демура Н. А. Экономика предприятия [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства и направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. - 124 с.

10 Дубинин Н. Н. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 190109 - Наземные транспортно-технологические средства специализации "Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях / Н. Н. Дубинин ; М-во образования и науки

Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород : Изд-во БГТУ, 2014. - 258 с.

11 Зузов В. Н. Механика наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие / В. Н. Зузов ; Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана. - Москва : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. - 185, [1] с

12 Кондратьева-Бейер М. В. Automobil und traktor [Текст] = Автомобиль и трактор : Немецкая хрестоматия / М. В. Кондратьева-Бейер, Ю. В. Бейер. - Москва ; Ленинград : Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933 (М. : 17 тип. треста "Полиграфкнига"). - Обл., 179 с.

13 Кротов С. В. Расчеты на прочность и жесткость элементов конструкций и сооружений с применением ANSYS : учебное пособие / С. В. Кротов ; Росжелдор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Ростовский государственный университет путей сообщения" (ФГБОУ ВО РГУПС). - Ростов-на-Дону : РГУПС, 2022. - 95 с.

14 Лебедев В. А. Технология машиностроения: проектирование технологии сборки изделий : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" / В. А. Лебедев ; Федер. агентство по образованию, Гос. образоват. учреждение высш. проф. образования Дон. гос. техн. ун-т, Азов. технол. ин-т. - Ростов-на-Дону : Изд. центр ДГТУ, 2005. - 161 с.

15 Митрохин Н. Н. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств : учебник : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 23.03.03 "Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", 15.03.01 "Машиностроение" (квалификация (степень) "бакалавр") / Н. Н. Митрохин, А. П. Павлов. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 262, [1] с.

16 Михайлов В. А. Экологичные системы защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / В. А. Михайлов, Е. В. Сотникова, Н. Ю. Калпина. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : ИНФРА-М, 2022. - 213 с.

17 Поливаев О. И. Тракторы и автомобили. Конструкция [Текст] : учебное пособие для вузов / О. И. Поливаев [и др.] ; под общ. ред. О. И. Поливаева. - Москва : КноРус, 2016. - 251 с.

18 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 "Наземные транспортно-технологические средства" / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 211 с.

19 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта : электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. - Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

20 Школьников А. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие / А. И. Школьников ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. радиотехнических систем. - Челябинск : ЮУрГУ, 2009. - 63, [3] с.

21 Garrett T.K. The Motor Vehicle / T.K Garrett, K. Newton, W. Steeds. 13th ed. - Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. - 1214 p.

22 Heisler H. Advanced vehicle technology / Heinz Heisler. - 2. ed. - Oxford [etc.] : Butterworth - Heinemann, 2002. - IX, 654, [1] p.

23 Pacejka H. B. Tyre and vehicle dynamics / Hans B. Pacejka. - Oxford [etc.] : Butterworth - Heinemann, 2002. - XIII, 627, [1] p.

24 Regan F. J. Re-entry vehicle dynamics / Frank J. Regan. - New York : Amer. inst. of aeronautics a. astronautics, 1984. - X, 414 p.

25 Zanten A., Erhardt R., Pfaff G. An Introduction to Modern Vehicle Design /Edited by Julian Happian-Smith. Reed Educational and Professional Publishing Ltd 2012. - 600 p.

Приложение А
Спецификации

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
<i>Документация</i>						
A1			23.ДП.01.123.61.05.000.СБ	Сборочный чертёж	2	
<i>Сборочные единицы</i>						
1			23.ДП.01.123.61.01.000	Диск колеса	2	
2			23.ДП.01.123.61.02.000	Ротор	1	
3			23.ДП.01.123.61.03.000	Статор	1	
4			23.ДП.01.123.61.04.000	Тормозная лента	1	
<i>Детали</i>						
5			23.ДП.01.123.61.05.005	Корпус	1	
6			23.ДП.01.123.61.05.006	Крышка	1	
A3			7 23.ДП.01.123.61.05.007	Ступица	1	
8			23.ДП.01.123.61.05.008	Крышка	1	
9			23.ДП.01.123.61.05.009	Барабан	1	
10			23.ДП.01.123.61.05.010	Манжета	4	
A3			11 23.ДП.01.123.61.05.011	Колесо зубчатое	1	
12			23.ДП.01.123.61.05.012	Втулка	1	
A3			13 23.ДП.01.123.61.05.013	Вал-шестерня	1	
14			23.ДП.01.123.61.05.014	Валик	3	
15			23.ДП.01.123.61.05.015	Кольцо стопорное	6	
16			23.ДП.01.123.61.05.016	Пробка	1	
17			23.ДП.01.123.61.05.017	Прокладка	1	
18			23.ДП.01.123.61.05.018	Прокладка	1	
A3			19 23.ДП.01.123.61.05.019	Шестерня	3	
23.ДП.01.123.61.05.000						
Изм.		Лист		№ докум.		Подп.
Изм.		Лист		№ докум.		Дата
Разраб.		Контроль		В.Е.		
Пров.		Турбин		И.В.		
Консул.		Турбин		И.В.		
Н.контр.		Турбин		И.В.		
Утв.		Бабровский		А.В.		
Мотор-редуктор					ТГУ, АТс-1801б	

Копировал

Формат А4

Рисунок А.1 – Спецификация на мотор редуктор

