

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)

13.03.03 Энергетическое машиностроение
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Проектирование и эксплуатация автомобилей с гибридными силовыми установками
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Усовершенствование конструкции автомобиля Газель NEXT ЦМФ путем
установки гибридного привода

Обучающийся

Д.С. Козырев
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.В. Зотов

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

Консультант

канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

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

Тольятти 2025

Аннотация

Бакалаврская работа выполнена на тему: «Усовершенствование конструкции автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ путём установки гибридного привода».

Цель работы: модернизация конструкции автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ за счёт интеграции гибридной силовой установки для повышения топливной экономичности, снижения вредных выбросов и улучшения эксплуатационных характеристик.

Основные задачи работы:

- анализ существующих конструкций гибридных приводов и их применимости к коммерческим автомобилям;
- обоснование выбора типа гибридной силовой установки (последовательная, параллельная или комбинированная схема);
- разработка компоновочного решения гибридного привода в конструкции ГАЗель NEXT ЦМФ.

Объект работы: конструкция автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ с гибридной силовой установкой.

Методы исследования:

- анализ технической и патентной документации,
- компьютерное моделирование (CAD/CAE-системы).

Практическая значимость: Результаты работы могут быть использованы для разработки экологичных модификаций коммерческого транспорта, соответствующих современным требованиям по энергоэффективности и экологичности.

Структура работы включает введение, пять разделов основного содержания, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложение.

В первом разделе проведён анализ конструктивных решений мотор-редукторов, исследованы различные варианты их компоновки, а также

выполнен сравнительный обзор современных электромотор-колёс. Особое внимание уделено изучению принципов работы мотор-колеса и его интеграции в транспортные системы.

Во втором разделе представлена оригинальная конструкторская разработка мотор-редуктора, адаптированного для гибридной модификации автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ. Рассмотрены ключевые особенности гибридных силовых установок, разработана принципиальная схема трансмиссии.

В третьем разделе предложена усовершенствованная технология технического обслуживания и ремонта трансмиссии с учётом внедрения гибридного привода. Разработаны рекомендации по диагностике, эксплуатации и восстановлению элементов модернизированной силовой передачи.

В четвертом разделе проведен комплексный анализ безопасности и экологичности технического объекта, оценены потенциальные риски для персонала и окружающей среды, разработаны инженерные и организационные меры по их минимизации, предложены решения, обеспечивающие соответствие проекта действующим нормам охраны труда и экологическим стандартам.

Abstract

The topic of the given graduation project is: «The improvement of the GAZelle NEXT CMF vehicle design by installing a hybrid drive».

The aim of the project is to develop and analyze a hybrid drive system for the GAZelle NEXT CMF, focusing on the integration of motor-reducers (in-wheel motors) to enhance fuel efficiency, reduce emissions, and improve overall vehicle performance.

The graduation project may be divided into several logically connected parts: an introduction, four general parts, a conclusion, a list of references, appendices, and a graphic part.

The graphic part is presented on 6 A1 sheets, which performed in the engineering software «KOMPAS-3D». The graduation work fully complies with the approved assignment.

In the first part of the graduation project, the state of motor-reducer and in-wheel motor technologies is examined, including design features, development criteria, layout challenges, and future prospects for such systems in automotive applications.

In the second part, the development of a motor-reducer for the GAZelle NEXT CMF is presented, covering the structure of hybrid vehicles, the proposed transmission layout, kinematic design of the motor-reducer, and strength and kinematic calculations.

The third section discusses the technological process of implementing the hybrid drive system, including manufacturing and assembly considerations.

The fourth section deals with the issues related to ensuring safety, environmental friendliness of the object of the graduation project.

This research contributes to the advancement of hybrid vehicle technology, offering a practical solution for modernizing commercial vehicles with improved energy efficiency and reduced environmental impact.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	9
2 Конструкторская часть	14
2.1 Устройство гибридных автомобилей.....	17
2.2 Разработка схемы трансмиссии автомобиля Газель NEXT ЦМФ	22
2.3 Разработка кинематической схемы мотор-редуктора	25
2.4 Прочностные и кинематические расчеты.....	27
3 Технологический процесс	39
4 Безопасность и экологичность технического объекта	43
4.1 Структурно-функциональный анализ	45
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	46
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	49
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	55
4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса демонтажа мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ	60
Заключение	64
Список используемой литературы и используемых источников.....	65
Приложение А. Спецификация.....	69

Введение

Современные тенденции в автомобилестроении направлены на снижение вредных выбросов, повышение энергоэффективности и внедрение альтернативных силовых установок. Одним из перспективных направлений является гибридизация транспортных средств, сочетающая преимущества двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и электрической тяги. В этом контексте особый интерес представляют мотор-колеса, которые позволяют упростить конструкцию трансмиссии, повысить КПД и улучшить управляемость автомобиля [18].

Грузопассажирский автомобиль ГАЗель NEXT ЦМФ широко используется в коммерческом транспорте, однако его традиционная компоновка с ДВС имеет ограничения по топливной экономичности и экологичности. Установка гибридного привода на базе мотор-колес может стать эффективным решением для снижения расхода топлива, уменьшения выбросов CO₂ и повышения динамических характеристик.

Концепция мотор-колеса не нова – первые патенты на подобные системы были зарегистрированы еще в конце XIX века (Веллингтон Адамс, 1884, Альберт Парселл, 1890) [27].

Однако практическое применение технологии началось в 1900 году, когда Фердинанд Порше представил электромобиль Lohner-Porsche с передними ведущими мотор-колесами. Впоследствии разработки в этой области велись в разных странах, но массового распространения они не получили из-за ограничений технологий того времени.

В СССР мотор-колеса нашли применение в космической программе – в 1960-х годах ВНИИтрансмаш разработал шасси для лунохода с электромеханическим приводом. Позднее, в 1970-х, в Новосибирске и на Волжском автозаводе были созданы прототипы мотор-колес для автомобилей. В 1990-х российские инженеры Александр Пунтиков и Борис Маслов запатентовали инновационную конструкцию адаптивного

электромотора, а Владимир Шкондин разработал компактное мотор-колесо, защищенное патентами в 28 странах [13].

Рассмотрим преимущества и недостатки мотор-колес.

Ключевые преимущества мотор-колес включают:

- отсутствие сложной трансмиссии – нет необходимости в коробке передач, карданах, дифференциале, что снижает массу и потери энергии;
- высокий крутящий момент на низких оборотах – электродвигатели обеспечивают отличную динамику разгона;
- улучшенная управляемость – независимое управление каждым колесом позволяет реализовать поворот на месте, адаптацию к дорожным условиям и продвинутые системы стабилизации;
- эффективная рекуперация энергии – упрощенная система регенеративного торможения повышает КПД гибридной установки.

Однако у технологии есть и недостатки:

- увеличенная неподрессоренная масса, что ухудшает плавность хода и долговечность подвески;
- сложность обслуживания и ремонта – мотор-колесо требует специализированных сервисных центров;
- высокая стоимость – производство и замена таких узлов дороже традиционных решений.

Целью данной работы является усовершенствование конструкции автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ путем интеграции гибридного привода на основе мотор-колес.

Основные задачи:

- анализ существующих конструкций мотор-колес и выбор оптимального варианта для коммерческого автомобиля;
- разработка схемы гибридной силовой установки с учетом компоновочных решений.

Результаты работы могут быть использованы при модернизации других моделей коммерческого транспорта, что соответствует глобальным тенденциям развития автотранспортной отрасли.

Таким образом, разработка гибридного привода для ГАЗели NEXT ЦМФ является актуальной задачей, способствующей повышению конкурентоспособности отечественных автомобилей в условиях ужесточающихся экологических норм и роста требований к энергоэффективности.

Внедрение гибридной силовой установки на базе мотор-колес открывает новые возможности для модернизации коммерческого транспорта, в частности автомобилей семейства ГАЗель NEXT. Учитывая растущие требования к экологичности и экономичности грузопассажирских перевозок, данное решение может стать конкурентным преимуществом для отечественного автопрома [22].

Переход на гибридную схему позволит:

- снизить эксплуатационные расходы за счет уменьшения расхода топлива и сокращения нагрузки на ДВС;
- увеличить ресурс двигателя, поскольку часть нагрузки в городском цикле будет перераспределяться на электропривод;
- сократить затраты на техобслуживание благодаря отсутствию сложной механической трансмиссии.;
- уменьшить выбросы CO₂ и вредных веществ (NO_x, CO, сажи) в соответствии с перспективными экологическими стандартами (Евро-6 и выше);
- снизить шумовое воздействие в городской среде за счет работы в режиме электропривода на низких скоростях.

1 Состояние вопроса

«Электромотор-колесо (ЭМК) представляет собой интегрированный агрегат, объединяющий в единой конструкции все элементы силового привода транспортного средства.

В состав ЭМК входят следующие основные компоненты:

- тяговый электродвигатель (постоянного или переменного тока);
- механическая передача, включающая редуктор, механизмы соединения вала двигателя с ведущим звеном редуктора, а также системы переключения передач и сцепления (для многоскоростных и периодически работающих ЭМК);
- система охлаждения (воздушная или жидкостная);
- колесо в сборе (шина, обод, ступица);
- опорные подшипники;
- механический тормоз с приводом;
- уплотнительные элементы;
- элементы подвески для крепления к несущей системе ТС;
- механизмы управления поворотом (для управляемых колес);
- система централизованной подкачки шин (для машин повышенной проходимости)» [2].

«В зависимости от режима работы различают три типа ЭМК:

- постоянного действия с ограниченным диапазоном регулирования – работают в фиксированном диапазоне скоростей и крутящего момента, определяемом характеристиками односкоростного редуктора и двигателя;
- постоянного действия с расширенным диапазоном регулирования – оснащены двухскоростным редуктором, что позволяет увеличить диапазон рабочих режимов;
- периодического действия – применяются в системах с непостоянной нагрузкой (в гибридных схемах с ДВС)» [3].

При разработке ЭМК необходимо учитывать следующие ключевые аспекты:

- компактность и минимизация осевых габаритов – ограниченный монтажный объем, определяемый посадочным диаметром шины, требует оптимизации компоновки всех узлов;
- обеспечение доступа к коллектору и щеткам (для двигателей постоянного тока) – необходимо предусмотреть возможность обслуживания без сложного демонтажа;
- рациональное размещение механического тормоза – выбор оптимального места установки (вал двигателя, промежуточные звенья редуктора или выходной вал);
- эффективная система охлаждения – минимизация аэродинамических потерь при воздушном охлаждении или организация замкнутого жидкостного контура;
- удобство подвода электропитания и управляющих сигналов – расположение электрических выводов должно минимизировать помехи и упрощать монтаж;
- минимизация числа уплотнений – снижение риска утечек масла и повышение надежности;
- эргономические критерии: уровень шума и вибраций, соответствующий санитарным нормам; контроль температуры критических узлов; электромагнитная совместимость – отсутствие помех для электронных систем автомобиля [25].

Приоритетность указанных критериев может варьироваться в зависимости от конкретных условий эксплуатации и требований к транспортному средству. Для коммерческого транспорта, такого как ГАЗель NEXT ЦМФ, особое значение приобретают критерии надежности, ремонтпригодности и экономической эффективности, в то время как для специализированной техники могут быть более важны тягово-динамические характеристики.

Рассмотрим особенности компоновки электромотор-колес по разным критериям.

Размещение электродвигателя.

Основная сложность при проектировании ЭМК – компактное размещение электродвигателя в ограниченном объеме. Для двигателей постоянного тока критически важны:

- коммутация – необходимо обеспечить доступ к коллектору и щеткам для обслуживания;
- тепловой режим – требуется эффективное охлаждение для предотвращения перегрева [10].

«В отличие от двигателей постоянного тока, асинхронные двигатели проще в компоновке благодаря отсутствию коллекторно-щеточного узла, меньшим габаритам при той же мощности и возможности использования жидкостного охлаждения.

Выбор опоры подшипников колеса.

Подшипники колеса могут устанавливаться на:

- корпус электродвигателя,
- монтажный цилиндр (при использовании стандартных двигателей),
- корпус редуктора,
- отдельную опорную деталь между двигателем и редуктором» [1].

Оптимальное решение – крепление подшипников на корпусе электродвигателя или редуктора, так как это исключает необходимость в дополнительных массивных деталях.

Уплотнения и их надежность.

Число уплотнений в ЭМК варьируется от 2 до 4.

Основные требования:

- минимизация количества,
- оптимальный выбор размера и места установки (крупные уплотнения могут быть более надежными, но сложны в изготовлении).

Размещение механического тормоза.

Возможные варианты установки тормоза:

- на валу электродвигателя – компактность, но низкая надежность из-за перегрева и износа;
- на промежуточных звеньях редуктора – компромисс между габаритами и надежностью;
- на выходном валу редуктора – высокая надежность, но увеличенные размеры и масса [20].

Наиболее распространены дисковые тормоза, связанные с выходным валом редуктора, так как они обеспечивают прямую передачу тормозного усилия на колесо.

Проблемы и перспективы развития мотор-колес.

Основные технические сложности:

- большая неподдрессоренная масса – ухудшает плавность хода и увеличивает нагрузки на подвеску;
- ограниченный ресурс уплотнений и подшипников – требует применения высококачественных материалов;
- сложность обслуживания – демонтаж узлов для ремонта часто трудоемок.

Направления совершенствования:

- использование бесщеточных двигателей и редукторов с высоким КПД;
- внедрение комбинированных систем охлаждения;
- применение легких материалов (алюминиевые сплавы, композиты) для снижения массы;
- разработка модульных конструкций для упрощения обслуживания.

В связи с вышеперечисленным целью бакалаврской работы 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» [9].

Выводы по разделу.

Анализ существующих конструкций ЭМК показывает, что их внедрение в гибридные силовые установки коммерческих автомобилей, таких как ГАЗель NEXT ЦМФ, является перспективным направлением.

Однако для успешной реализации проекта необходимо решить ряд инженерных задач, связанных с оптимизацией компоновки, снижением массы и повышением надежности. Дальнейшие исследования должны быть направлены на выбор оптимального типа двигателя, редуктора и системы торможения, а также на проведение испытаний опытных образцов.

2 Конструкторская часть

ГАЗель NEXT ЦМФ – современный малотоннажный коммерческий автомобиль российской разработки, выпускаемый Горьковским автомобильным заводом (ГАЗ). Модель относится к категории грузопассажирского транспорта и предназначена для перевозки грузов в условиях города и междугородных маршрутов. Благодаря экономичности, надежности и адаптации к российским дорожным условиям, ГАЗель NEXT широко используется в логистике, торговле и сфере услуг [15].

Модель ГАЗель NEXT в кузове цельнометаллического фургона сочетает в себе продуманную конструкцию и современные инженерные решения. Автомобиль демонстрирует отличные эксплуатационные характеристики, включая маневренность, долговечность и комфорт для водителя. Производитель предлагает две основные модификации – грузовую и грузопассажирскую, а также автобусную версию на той же платформе.

Кабина автомобиля создана с учетом потребностей водителя, проводящего за рулем много часов. Эргономичное сиденье с поясничной поддержкой и подогревом регулируется в пяти положениях. Электрические стеклоподъемники и зеркала с подогревом повышают удобство управления. Климатическая система с кондиционером поддерживает комфортную температуру в салоне в любую погоду.

Современная приборная панель включает многофункциональный бортовой компьютер, а мультимедийная система с возможностью подключения внешних устройств делает поездки приятнее. Дополнительным преимуществом стала камера заднего вида, облегчающая парковку и движение задним ходом [11].

Под капотом ГАЗели NEXT устанавливается турбодизельный двигатель Cummins (2,8 л, 149 л.с.), отличающийся высокой надежностью и экономичностью. При движении со скоростью 80–85 км/ч расход топлива

составляет всего 10,2 л/100 км, а максимальная скорость ограничена 130 км/ч.

Задняя подвеска усиленного типа обеспечивает устойчивость даже при полной загрузке за счет прогрессивных амортизаторов и усовершенствованной конструкции рессор.

Передняя независимая подвеска гарантирует плавность хода порожнего автомобиля и рассчитана на высокие нагрузки.

Стабилизаторы поперечной устойчивости улучшают управляемость в поворотах.

Рулевое управление с гидроусилителем реечного типа обеспечивает точность и легкость маневрирования.

Пол фургона защищен 9-миллиметровой фанерной настилкой, а стенки усилены ДВП-покрытием для предотвращения повреждений. Конструкция предусматривает специальный люк под пассажирским сиденьем, позволяющий перевозить длинномерные грузы (до 5 м). Для надежного крепления предусмотрены 10 такелажных петель.

«Техническая характеристика автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ:

- 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 (до модернизации, после модернизации – задние тормозные механизмы ленточные с пневматическим приводом).
- 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;
- габаритные размеры – 5607×2513×2753 мм» [1].

Общий вид автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ представлен на рисунке 1.

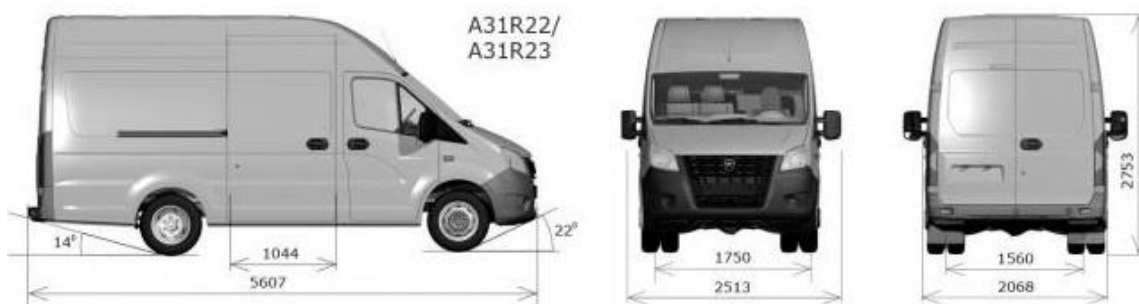


Рисунок 1 – Вид общий автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ

Установка мотор-колес на заднюю ось ГАЗели NEXT ЦМФ позволяет создать полноценный гибридный автомобиль, сочетающий:

- дизельный двигатель (Cummins 2.8 л, 149 л.с.) – для движения по трассе и подзарядки;
- электрическую тягу (мотор-колеса) – для городского режима, старта с места и рекуперации энергии.

Преимущества решения:

- снижение расхода топлива (до 20-30% в городском цикле за счет электротяги);
- улучшенная динамика – мгновенный крутящий момент мотор-колес;
- режим нулевых выбросов – возможность движения только на электротяге (до 50-70 км);
- рекуперативное торможение – зарядка АКБ при замедлении [19].

2.1 Устройство гибридных автомобилей

Современные гибридные транспортные средства используют три фундаментальные схемы организации силовой передачи: последовательную, параллельную и комбинированную (смешанную).

Родоначальником гибридных технологий стала именно последовательная схема (рисунок 2), разработанная Фердинандом Порше

еще в 1899 году. Однако в сегменте легкового транспорта она применяется ограниченно, находя основное применение в тяжелой технике - карьерных самосвалах, городских автобусах и железнодорожных локомотивах.

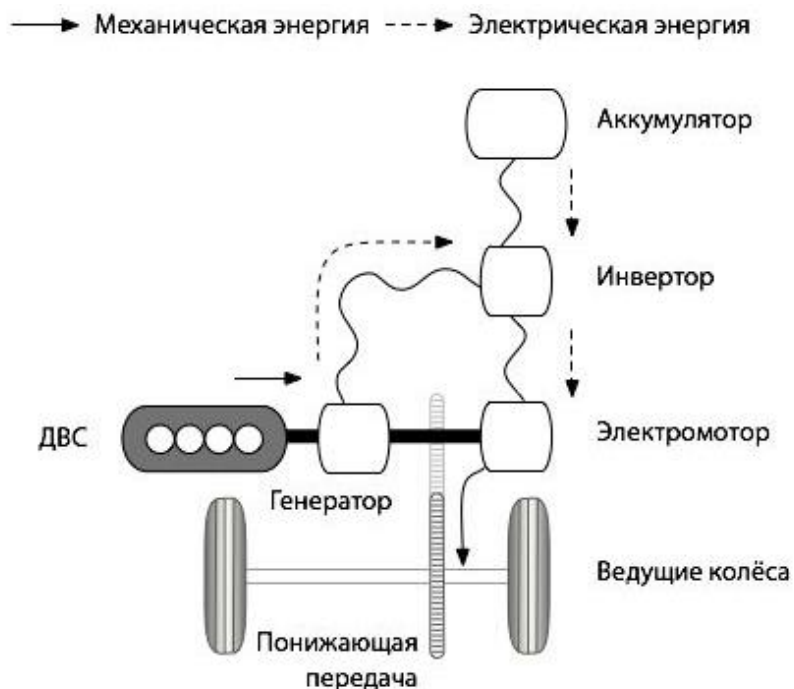


Рисунок 2 – Последовательная гибридная схема

Принцип работы последовательной схемы основан на разделении функций:

- электродвигатель выполняет роль единственного движителя, непосредственно вращая колеса;
- компактный ДВС работает в оптимальном режиме исключительно как привод генератора;
- электроэнергия может поступать либо напрямую к электромотору, либо накапливаться в батареях.

Ключевые особенности данной архитектуры:

- отсутствие традиционной КПП - упрощает трансмиссию;
- возможность использования маломощного ДВС - снижает массу и расход топлива;

- повышенные требования к емкости тяговых аккумуляторов - увеличивает стоимость системы;
- идеальная эффективность в режиме частых остановок (городской цикл) [27].

Такая схема особенно востребована для транспортных средств, работающих в режиме постоянных старт-стопных циклов, где важна рекуперация энергии при торможении.

Наиболее востребованной в современном автомобилестроении стала параллельная гибридная архитектура (рисунок 3), концепция которой была впервые запатентована немецким инженером Генри Пипером еще в 1905 году. Эта схема доминирует в сегменте так называемых «умеренных гибридов» (mild hybrid), занимая промежуточное положение между традиционными ДВС и полноценными электромобилями.

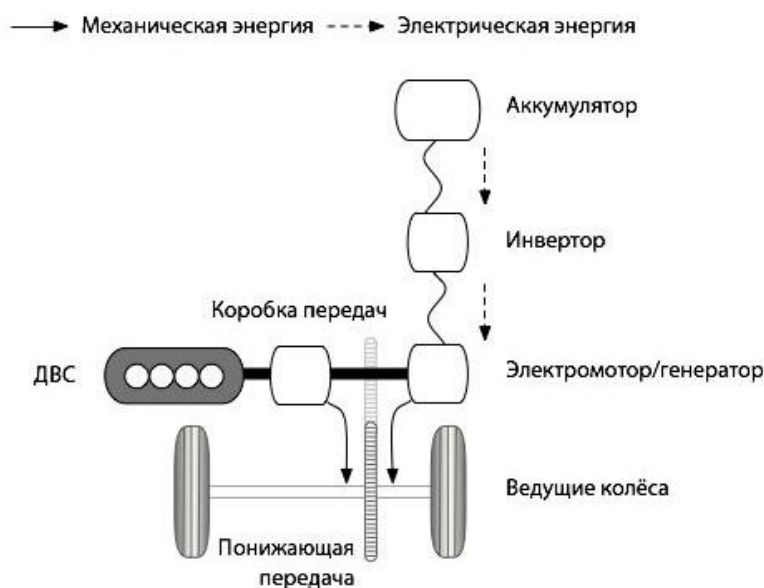


Рисунок 3 – Параллельная гибридная схема

Ключевые особенности параллельной схемы:

- совместная работа силовых агрегатов – и ДВС, и электромотор могут независимо или совместно приводить колеса в движение;

- компактный электродвигатель мощностью 10-15 кВт выполняет вспомогательные функции: поддержка ДВС при интенсивном разгоне; реализация рекуперативного торможения; обеспечение движения на малых скоростях;
- гибкая трансмиссия обычно включает: вариатор (бесступенчатая передача), планетарные редукторы, интеллектуальные муфты сцепления.

Преимущества архитектуры:

- сохранение традиционной компоновки автомобиля,
- относительно невысокая стоимость модернизации,
- эффективное использование рекуперации,
- возможность движения только на ДВС при разряженных батареях,
- улучшенные динамические характеристики за счет суммарного момента [23].

В отличие от последовательной схемы, параллельная архитектура не требует мощных аккумуляторов, но нуждается в сложной системе управления, которая оптимально распределяет мощность между двумя источниками тяги.

Современные реализации часто используют:

- двойное сцепление,
- модульные силовые блоки,
- адаптивные алгоритмы управления.

Эта схема представляет собой оптимальный баланс между стоимостью, сложностью и эффективностью, что объясняет ее доминирование на современном рынке гибридных транспортных средств.

Современный автопром все чаще обращается к комбинированным (последовательно-параллельным) гибридным системам (рисунок 4), которые объединяют преимущества обеих архитектур. Эталонным таким подходом стали модели Toyota Prius и Lexus с индексом h, использующие революционную систему Hybrid Synergy Drive (HSD).

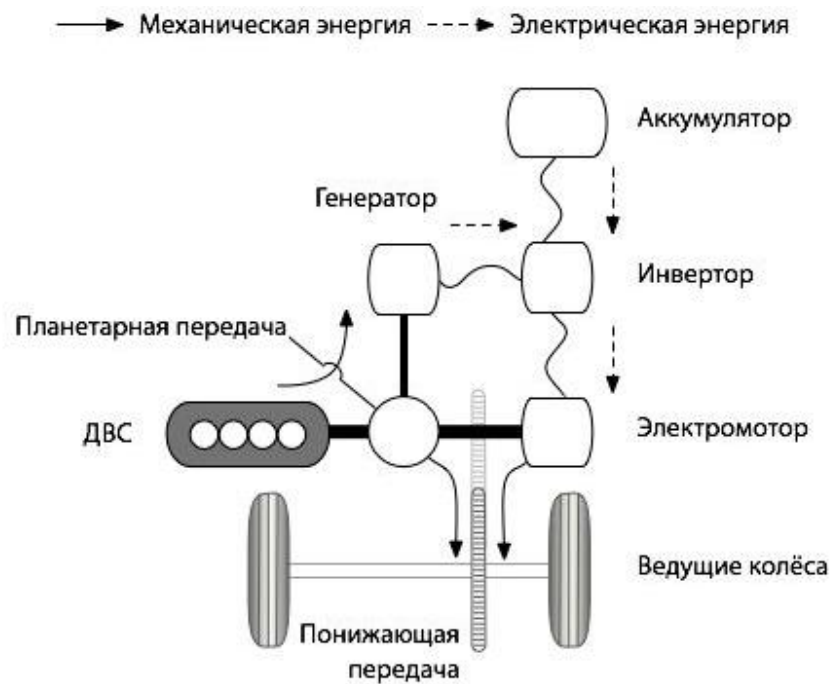


Рисунок 4 – Последовательно-параллельная гибридная схема

Принцип работы синергетического» привода:

- «планетарный механизм выступает в роли «энергетического дирижера», интеллектуально распределяя мощность между: двигателем внутреннего сгорания, тяговым электромотором, генератором» [6];
- многофункциональность ДВС: непосредственный привод колес, привод генератора для зарядки батарей, оптимальный режим работы благодаря ЭБУ;
- электронная бесступенчатая трансмиссия (eCVT) заменяет традиционную КПП, плавно регулируя передаточное отношение через: управление оборотами генератора, координацию работы электромотора, автоматическую балансировку энергопотоков.

Ключевые преимущества системы:

- максимальная топливная эффективность (до 30% экономии),
- полный отказ от механического сцепления,
- «адаптация к любым режимам движения: городской цикл с частыми остановками, трассовые условия, энергосберегающий режим.

- улучшенная динамика за счет совместной работы ДВС и электромотора» [12].

«Большинство двигателей, установленных на гибридах, – бензиновые. Многие работают по циклу Атkinsona с более коротким тактом сжатия и более эффективным рабочим процессом. Это обеспечивает лучшие экологические и экономические показатели. Распространение, казалось бы, более экономичных дизельэлектрических силовых установок сдерживает прежде всего то, что большинство гибридов продаются в незнакомой с дизелем Америке. Кроме того, дизельный мотор дороже бензинового, а это лишь увеличивает немалую цену гибрида.

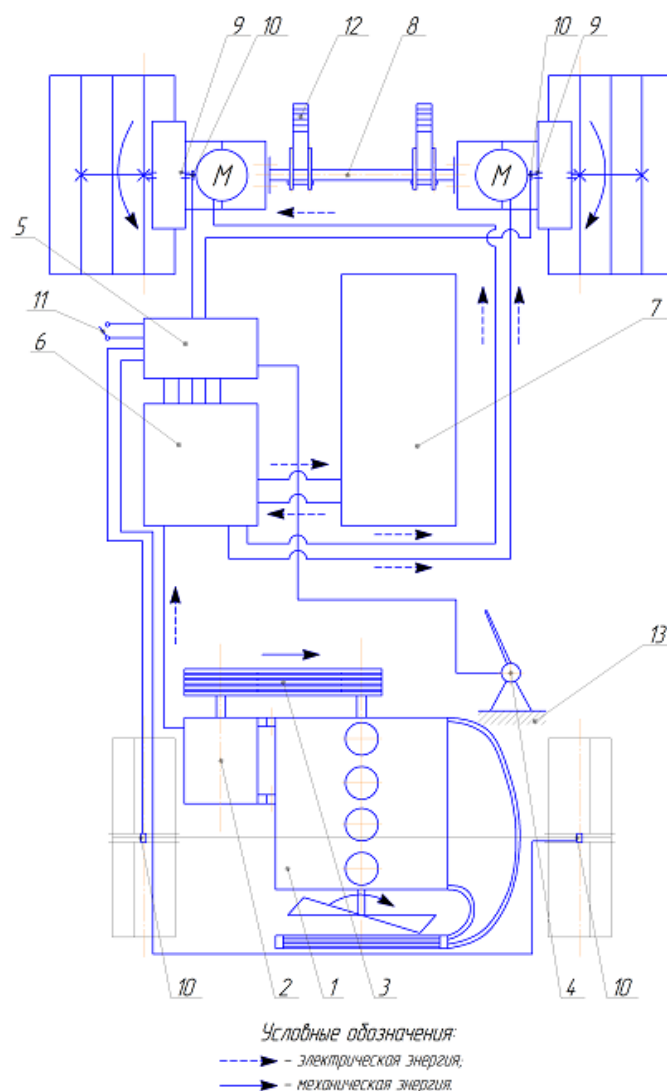
Как уже говорилось ранее, на грузовых автомобилях чаще всего используют последовательную гибридную схему» [3].

Далее разработаем собственную структурную схему трансмиссии с мотор-колесами вместо заднего моста и карданной передачи с коробкой.

2.2 Разработка схемы трансмиссии автомобиля Газель NEXT ЦМФ

Как уже говорилось ранее, схема последовательная, гибридная достаточно проста и практична (рисунок 5).

«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. 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» [4].



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 5 – Структурная схема разрабатываемой трансмиссии

«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» [5].

«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. Мотор-колесо может использоваться в двух опциях в качестве поворотного и неповоротного колеса (рисунок 6)» [6].

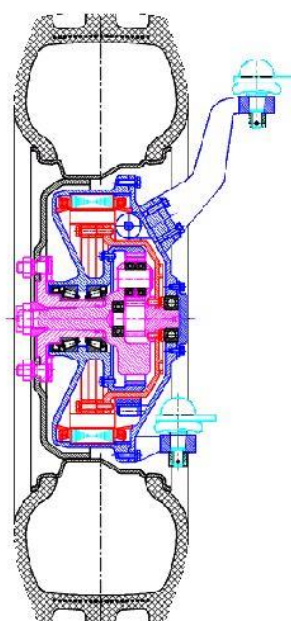


Рисунок 6 – Управляемое мотор-колесо 415 НИЛД

«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.

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 [24].

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» [7].

Спецификация на ГАЗель NEXT ЦМФ с гибридным приводом представлена в Приложении А (рисунок А.1).

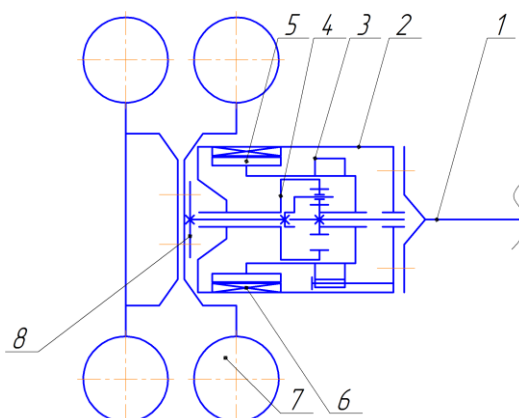
2.3 Разработка кинематической схемы мотор-редуктора

На основании ранее проведенных исследований структурную схему проектируемого мотор-редуктора представим в виде рисунка 7 (за аналог возьмем перспективную разработку мотор-колеса 415 НИЛД).

При активации системы электрическое напряжение поступает на статор (6), создавая мощное вращающееся магнитное поле. Это поле взаимодействует с ротором (5), приводя его в движение. Вращательный момент от ротора передается через редуктор (4), который выполняет две ключевые функции:

- оптимизирует частоту вращения (повышает крутящий момент при снижении оборотов);

- согласует работу электродвигателя с колесной парой.



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 7 – Кинематическая схема разрабатываемого мотор-редуктора

В результате ведущие колеса (7) получают необходимую для движения энергию, обеспечивая:

- плавный старт транспортного средства,
- точное управление скоростью вращения,
- эффективное использование электроэнергии.

Особенности системы:

- отсутствие механического контакта между статором и ротором (бесконтактная передача момента);
- возможность точного регулирования скорости за счет изменения параметров напряжения;
- высокий КПД преобразования электрической энергии в механическую;
- минимальный уровень шума и вибраций по сравнению с традиционными ДВС [17].

Предлагаемая конструкция разрабатываемого мотор-редуктора достаточно проста и практична.

2.4 Прочностные и кинематические расчеты

2.4.1 Кинематические расчеты мотор-редуктора

Для модернизации ранее нами был выбран серийный автомобиль категории М2 – ГАЗель NEXТ ЦМФ. 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:

$$N_{КОЛЕСО} = \frac{N_{ДВ} \cdot \eta_{ТР}}{2}, \quad (1)$$

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

Итак, глядя на структурную схему разрабатываемой конструкции (рисунок 5), можно сделать вывод, что на ступице колеса должна быть мощность не менее 40,0 кВт.

«Далее рассмотрим частоту вращения колеса:

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

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

$$\omega = \frac{V}{r}, \quad (3)$$

где V – максимальная линейная скорость движения автомобиля, принимаем $95,0 \text{ км/ч} = 26,39 \text{ м/с}$;
 r – радиус колеса, $0,38 \text{ м}$ [16].

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n = \frac{V}{r} \Rightarrow n = \frac{V}{2 \cdot r \cdot \pi}. \quad (4)$$

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:

$$M_e = 9554 \cdot \frac{N}{n_i}, \quad (5)$$

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:

$$n_{\text{ЭЛ.МАХ}} = n_{\text{КОЛЕСАМАХ}} \cdot U_{\text{БЫСТР.ЦИЛ.}} \cdot U_{\text{ТИХ.ЦИЛ.}}, \quad (6)$$

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

Итак, 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.

Все последующие расчеты, для упрощения поведем по максимальной частоте вращения электродвигателя 3000 мин⁻¹, тогда:

$$n_{\text{ЭЛ.МАХ}} = n_1 = 3000,0 \text{ мин}^{-1}, \quad (7)$$

$$n_2 = \frac{n_1}{U_{\text{БЫСТР.ЦИЛ.}}} = \frac{3000,0}{1,6} = 1875,0 \text{ мин}^{-1} \quad (8)$$

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

Определяем мощность:

$$N_1 = N_e \cdot \eta, \quad (9)$$

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

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

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

Крутящие моменты на валах:

$$M_{e1} = 9554 \cdot \frac{36,0}{3000,0} = 114,65 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad (10)$$

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

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

Результаты вычислений сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – 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.

2.4.2 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 [14].

«Допускаемые напряжения определяем для шестерни и колеса отдельно:

$$[\sigma]_H = [\sigma]_{HO} \cdot Z_N, \quad (11)$$

где $[\sigma]_{HO}$ – базовое допускаемое напряжение, которое определяется по формуле (12);

Z_N – коэффициент долговечности, который определяется по формуле (13).

$$[\sigma]_{HO} = \frac{\sigma_{H\lim} \cdot Z_R \cdot Z_V}{S_H}, \quad (12)$$

где $\sigma_{H\lim}$ – длительный предел контактной выносливости, МПа;

Z_R – коэффициент, учитывающий шероховатость сопряженных поверхностей;

Z_V – коэффициент, учитывающий влияние скорости;

S_H – коэффициент запаса прочности.

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

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

$$Z_N = \sqrt[m]{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}} \geq 1, \quad (13)$$

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» [7].

$$N_{HO} \cong (HB)^3 \leq 12 \cdot 10^7, \quad (14)$$

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

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

Отсюда следует, что:

$$\begin{aligned}Z_{N1} &= Z_{N2} = 1,2, \\ [\sigma]_{H1} &= 507,46 \cdot 1,4 = 710,44 \text{ МПа}, \\ [\sigma]_{H2} &= 448,88 \cdot 1,4 = 628,43 \text{ МПа}.\end{aligned}$$

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

«Определение допускаемых напряжений при расчете зубьев на изгиб:

$$[\sigma]_F = [\sigma]_{FO} \cdot Y_A \cdot Y_N, \quad (15)$$

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.

$$[\sigma]_{FO} = \frac{\sigma_{F\lim} \cdot Y_R \cdot Y_X \cdot Y_\delta}{S_F}, \quad (16)$$

где $\sigma_{F\lim}$ – 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» [7].

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

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

«Тогда получаем:

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

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

$$Y_N = \sqrt[m]{\frac{N_{FO}}{N_{FE}}} \geq 1, \quad (17)$$

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

N_{FE} – эквивалентное число циклов нагружения, равняется 6» [5].

«Определение межосевого расстояния:

$$a_w = K_a \cdot (U - 1) \cdot \sqrt[3]{\frac{K_H \cdot T_1}{\psi_a \cdot U \cdot [\sigma]_H^2}} , \quad (18)$$

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)» [5].

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

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 $\leq 350 HB$:

$$m = (0,01 \dots 0,02) \cdot a_w = 0,5 \dots 1,0 \text{ мм.} \quad (19)$$

Полученное значение модуля согласуют со стандартным значением (ГОСТ 9563-80): $m = 2,50$ мм (модуль менее 1,50 мм в силовых передачах не назначают).

Определение суммарного числа зубьев для прямозубых передач:

$$Z_\Sigma = \frac{2 \cdot a_w}{m}, \quad (20)$$
$$Z_\Sigma = \frac{2 \cdot 50,0}{2,50} = 40,0.$$

Определение числа зубьев шестерни:

$$Z_1 = \frac{Z_\Sigma}{U - 1}, \quad (21)$$
$$Z_1 = \frac{40}{2,6 - 1} = 25,0.$$

Принимаем число зубьев колес 25.

Определение числа зубьев колеса.

$$Z_2 = Z_\Sigma + Z_1 = 40 + 25 = 65. \quad (22)$$

Определение геометрических размеров колес.

Делительные диаметры определяются по формуле:

$$d_i = \frac{m_n \cdot Z_i}{\cos \beta}, \quad (23)$$
$$d_1 = \frac{m_n \cdot Z_1}{\cos \beta} = \frac{2,5 \cdot 25}{\cos 0^\circ} = 62,5 \text{ мм}$$
$$d_2 = \frac{m_n \cdot Z_2}{\cos \beta} = \frac{2,5 \cdot 65}{\cos 0^\circ} = 162,5 \text{ мм}.$$

Диаметры вершин зубьев внутреннего зацепления:

$$d_{ai} = d_i + 2 \cdot m_n, \quad (24)$$
$$d_{a1} = 62,5 + 2 \cdot 2,5 = 67,5 \text{ мм},$$
$$d_{a2} = 162,5 - 2 \cdot 2,5 = 157,5 \text{ мм}.$$

Диаметры впадин зубьев внутреннего зацепления:

$$d_{fi} = d_i - 2,5 \cdot m_n, \quad (25)$$
$$d_{f1} = 62,5 - 2,5 \cdot 2,5 = 56,25 \text{ мм},$$
$$d_{fi} = 2 \cdot 50,0 + 67,5 + 0,5 \cdot 2,5 = 168,75 \text{ мм}.$$

Ширина колеса:

$$b_2 = \psi_a \cdot a_w, \quad (26)$$
$$d_{fi} = 0,6 \cdot 50 = 30,0 \text{ мм}.$$

Ширина шестерни:

$$b_1 = b_2 = 30 \text{ мм}. \quad (27)$$

Определение усилий в зацеплении:

$$F_t = \frac{2 \cdot T_1}{d_1}, \quad (28)$$

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

$$F_r = F_t \cdot \operatorname{tg} \alpha_w, \quad (29)$$

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

Проверка зубьев колес по напряжениям изгиба:

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

$$Z_1 = 25, \quad Z_2 = 65,$$

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

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

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

«Проверочный расчет на изгиб ведем по колесу:

$$\sigma_{F_2} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot Y_{F_2} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \cdot T_2}{m^2 \cdot Z_2 \cdot b_2} \leq [\sigma]_{F_2}, \quad (30)$$

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 [1];

K_{FV} – коэффициент динамической нагрузки, По скорости назначают 8 степень точности передачи и коэффициент динамичности 1,18» [5].

$$V = \frac{\pi \cdot d_2 \cdot n_2}{6 \cdot 10^4}, \quad (31)$$

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

Подставляем значения в формулу (30) 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:

$$\sigma_H = K \cdot \sqrt{\frac{K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV} \cdot F_t \cdot (U-1)}{d_1 \cdot b_2 \cdot U}} \leq [\sigma]_H, \quad (32)$$

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 равным 1,03 [1];

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

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

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

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

Условие контактной прочности выполняется.

Спецификация на мотор-колесо представлена в Приложении А (рисунки А.2, А.3).

Выводы по разделу.

Анализ устройства гибридных автомобилей позволил определить оптимальную схему силовой установки для коммерческого транспорта. Наибольшую эффективность для данной модели демонстрирует параллельно-последовательная гибридная система, сочетающая преимущества ДВС и электропривода.

Разработанная схема трансмиссии предусматривает интеграцию мотор-колес в заднюю ось с сохранением штатного дизельного двигателя Cummins. Это решение обеспечивает:

- экономию топлива в городском цикле за счет электротяги;
- улучшенную динамику разгона благодаря мгновенному крутящему моменту электромоторов;
- возможность движения в режиме нулевых выбросов на короткие дистанции.

Разработанный гибридный вариант ГАЗели NEXT ЦМФ демонстрирует техническую реализуемость и экономическую целесообразность. Комбинация дизельного двигателя и мотор-колес позволяет снизить эксплуатационные расходы, улучшить экологические показатели и повысить гибкость использования автомобиля в городских условиях.

3 Технологический процесс

Рассмотрим основные виды неисправностей мотор-колеса, их возможные причины и решения (таблица 2).

Таблица 2 – Основные виды неисправностей мотор-колеса, их возможные причины и решения

Неисправность	Возможная причина	Решение
Двигатель не вращается	Нет питания (перегорел предохранитель, обрыв проводов). Неисправность контроллера. Проблемы с датчиками Холла. Механическая блокировка	Проверить предохранители и напряжение на клеммах. Заменить/перепрошить контроллер. Проверить датчики Холла мультиметром. Устранить заклинивание
Двигатель работает рывками	Неисправность датчиков Холла. Износ щёток (в коллекторных моторах). Сбой контроллера	Заменить датчики Холла. Почистить или заменить щётки. Перезагрузить/заменить контроллер
Сильный перегрев мотора	Перегрузка. Плохое охлаждение. Короткое замыкание в обмотках	Снизить нагрузку. Проверить вентиляцию/охлаждение. Заменить обмотки или двигатель
Посторонние шумы (гудение, стук)	Износ подшипников. Дисбаланс ротора. Механические повреждения	Заменить подшипники. Отбалансировать ротор. Устранить трещины/дефекты
Быстрый разряд АКБ	Утечка тока (пробой изоляции). Неправильная работа контроллера	Проверить сопротивление изоляции. Настроить/заменить контроллер
Течь масла (в редукторных моделях)	Износ сальников. Трещина в корпусе	Заменить сальники. Восстановить герметичность корпуса

«Для обеспечения выполнения установленного перечня (объема) работ ТО на данном посту при нормативной затрате рабочего времени и расчетной продолжительности простоя автомобиля на посту используются операционно-технологические карты. Они составляются на основании перечня операции ТО, трудоемкостей отдельных операций для конкретной модели автомобиля согласно второй части, которая является приложением, Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [10].

«Технологический процесс технического обслуживания представляет собой совокупность операций по соответствующим воздействиям, которые выполняются в определенной последовательности с помощью различного инструмента, приспособлений и других средств механизации с соблюдением технических требований (технических условий).

Технологический процесс технического обслуживания оформляется в виде операционно-технологической или постовой технологической карты.

Постовая технологическая карта отражает последовательность операций технического обслуживания по агрегатам, системам, которые выполняются на одном из постов технического обслуживания.

В соответствии с требованиями операционно-технологическая и постовая технологическая карты выполняются по форме 1,1а, 2 и 2а МУ-200 РСФСР-12-0139-81 [7].

Любая технологическая карта является руководящей инструкцией для каждого исполнителя, кроме того, служит документом для технического контроля выполнения технического обслуживания.

Технологические карты составляются на:

- определенный вид работ технического обслуживания;
- специализированный пост зоны технического обслуживания (постовая карта);
- специализированное переходящее звено рабочих при методе универсальных постов;
- операцию технического обслуживания;
- операции, выполняемые одним или несколькими рабочими (карта на рабочее место)» [9].

Операционно-технологическую карту демонтажа мотор-колеса с автомобиля Газель NEXT ЦМФ представим в виде таблицы 3.

Таблица 3 – Операционно-технологическая карта демонтажа мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ

«Наименование и содержание работ (операций)»	Место выполнения операции	Количество мест (точек обслуживания)	Трудоемкость, чел.·ч.	Приборы, инструмент, приспособления	Технические требования и указания
Установка автомобиля на пост	Снизу автомобиля	–	0,09	Подъемник двухстоечный	Установить автомобиль на пост следует сухим и чистым
Отключить высоковольтную систему	Сверху	1	0,01	Ключ сервисного разъема HV	Снять минусовую клемму АКБ 12 В
Ослабить гайки крепления колес	Слева, справа автомобиля	6	0,1	Гайковерт, головка 17-19, ключ-балонник 17-19	–
Вывесить заднюю ось	Снизу	1	0,1	Гидравлический домкрат	Подставить страховочные стойки
Открутить гайки крепления колес	Слева, справа автомобиля	6	0,1	Гайковерт, головка 17-19, ключ-балонник 17-19	–
Снять колесо	Снизу	2	0,3	Вручную снять, но транспортировать далее при помощи тележки	Смотреть визуально сохранность всех резиновых уплотнений
Отсоединить разъемы мотор-колеса: – силовые кабели (3 фазы); – датчики ABS/скорости	Снизу	2	0,04	Отвертка плоская	Маркировать кабели перед отсоединением
Открутить крепление мотор-колеса	Снизу	2	0,2	Динамометрический ключ 50 Н·м	Проверить целостность резьбовых соединений
Снять узел с оси	Слева, справа автомобиля		0,1	Съемник ступицы	Использовать защитные накладки на кузов» [8]
Итого:	–	–	1,04	–	–

На соответствующем листе графического материала представлена операционно-технологическая карта на демонтаж мотор-колеса с автомобиля Газель NEXT ЦМФ.

Выводы по разделу.

В разделе разработана операционно-технологическая карта демонтажа мотор-редукторов на автомобиль Газель NEXT ЦМФ, которая включает:

- четкую последовательность операций – от подготовки автомобиля до снятия узла, что обеспечивает безопасность и эффективность работ;
- учет особенностей конструкции;
- графическое сопровождение;
- соблюдение требований безопасности – указаны меры предосторожности при работе с тяжелыми узлами и техническими жидкостями.

Разработанная технологическая карта может быть использована в сервисных центрах и автотранспортных предприятиях для стандартизации процесса обслуживания и ремонта мотор-редукторов ГАЗель NEXT.

4 Безопасность и экологичность технического объекта

Автомобилестроение – сложная отрасль с многоэтапным производственным циклом, требующая комплексного подхода к вопросам безопасности.

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

- ежегодно происходит 2,78 миллионов смертей из-за профессиональных заболеваний;
- 374 миллиона несчастных случаев на производстве с потерей трудоспособности;
- экономические потери достигают 3,94% мирового ВВП.

Структура отраслевых рисков:

- травмы при работе с прессами (42% случаев),
- отравления парами красок (23%),
- поражения током (15%),
- падения с высоты (12%) [21].

В таблице 4 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 4 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

Страна	Затраты (% ВВП)	Особенности регулирования
Германия	2,8-3,2%	Система обязательного страхования Berufsgenossenschaften
США	3,1-3,5%	Workers' compensation + судебные иски
Япония	2,6-2,9%	Пожизненные компенсации при профзаболеваниях
Россия	3,5-4,1%	Высокий уровень скрытого травматизма
Бразилия	4,2-4,8%	Неформальный сектор до 35% занятости

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

- Европа: 250000-400000 евро;
- США: 500000-1200000 долларов (с учетом судебных исков);
- Китай: 800000-1500000 йен.

В бакалаврской работе необходимо учитывать специфические риски и современные тенденции отрасли.

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

- работа с прессовым оборудованием (риск травматизма),
- сварочные операции (опасность возгораний, поражения током),
- окрасочные работы (взрывоопасность, токсичные испарения),
- конвейерные линии (движущиеся механизмы).

К мерам обеспечения безопасности относятся:

- автоматизация опасных процессов (роботизированная сварка и покраска; автоматические прессы с оптической защитой; конвейеры с датчиками присутствия персонала);
- системы контроля (мониторинг концентрации ЛВЖ в окрасочных цехах; термоконтроль электрооборудования; видеонаблюдение за опасными зонами);
- защита персонала (специальные СИЗ для разных участков (термостойкая одежда для сварщиков, респираторы для маляров); антистатические комплекты для работы с электроникой; системы принудительной вентиляции).

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

- выбросы лакокрасочных материалов,
- сточные воды гальванических производств,
- отходы полимерных материалов,
- шумовое воздействие испытательных стендов [26].

Таким образом, современное автомобилестроение требует интегрированного подхода к безопасности, сочетающего технические инновации, экологическую ответственность и экономическую эффективность.

В долгосрочной перспективе каждый рубль, вложенный в профилактику профессиональных рисков, приносит предприятию ориентировочно 3-5 рублей совокупной выгоды за счет синергетического эффекта от улучшения всех ключевых показателей деятельности.

4.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 5).

Таблица 5 – Технологический паспорт технологического процесса демонтажа мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Демонтаж мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ	Установка автомобиля на пост. Отключить высоковольтную систему. Ослабить гайки крепления колес. Вывесить заднюю ось. Открутить гайки крепления колес. Снять колесо. Отсоединить разъемы мотор-колеса. Открутить крепление мотор-колеса Снять узел с оси	Слесарь по ремонту автомобилей 4 разряда	Подъемник двухстоечный, ключ сервисного разъема HV, гайковерт, головка 17-19, ключ-балонник 17-19, гидравлический домкрат, отвертка плоская	Защитные хлопчатобумажные перчатки, спецодежда, протирочная ветошь

Данный документ является обязательным требованием для:

- технически сложных изделий,
- продукции, подлежащей обязательной сертификации,
- оборудования с повышенными требованиями безопасности.

Функциональное назначение технологического паспорта:

- систематизация производственных данных – фиксация ключевых параметров сборки;
- обеспечение контроля качества – регламентация технологических норм и допусков;
- оптимизация технического обслуживания – упрощение диагностики и ремонта;
- повышение безопасности эксплуатации – четкие инструкции по монтажу и обслуживанию

Преимущества оформления паспорта:

- упрощение процедур сертификации и аудита,
- снижение рисков производственного брака,
- повышение прозрачности технологических процессов,
- обеспечение соответствия международным стандартам (ISO, ГОСТ, ТР ТС).

Таким образом, технологический паспорт служит не только формальным требованием, но и практическим инструментом управления качеством на всех этапах жизненного цикла изделия.

4.2 Идентификация профессиональных рисков

Комплексная оценка производственных угроз является ключевым элементом системы охраны труда, направленной на сохранение здоровья персонала и устойчивую работу предприятия.

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

- выявление потенциальных угроз: комплексное обследование рабочих мест на предмет наличия физических факторов (шум, вибрация, излучение), химических агентов (токсичные вещества, аэрозоли), биологических опасностей (микроорганизмы, аллергены), психофизиологических нагрузок (стресс, монотонность операций), эргономических проблем (неудобные позы, чрезмерные нагрузки);
- количественная и качественная оценка угроз: расчет вероятности возникновения опасных ситуаций; прогнозирование возможного ущерба здоровью сотрудников; ранжирование рисков по степени значимости;
- разработка защитных мер: внедрение многоуровневой системы защиты, включающей технические усовершенствования (модернизация оборудования); организационные изменения (оптимизация рабочих процессов); средства индивидуальной защиты; целевые программы обучения персонала; периодические контрольные проверки;
- динамический контроль и совершенствование: регулярный аудит условий труда; анализ эффективности принятых мер; своевременная корректировка защитных мероприятий.

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

- создании безопасной рабочей среды,
- предупреждении профессиональных заболеваний,
- снижении экономических потерь от несчастных случаев,
- повышении производственной дисциплины,
- обеспечении соответствия требованиям регуляторных органов.

Реализация данного подхода позволяет трансформировать систему охраны труда из формального требования в действенный инструмент повышения эффективности производства.

В представленной таблице 6 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса демонтажа мотор-редукторов на автомобиль Газель NEXT ЦМФ.

Таблица 6 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
«1 Установка автомобиля на пост. 2 Отключить высоковольтную систему. 3 Ослабить гайки крепления колес. 4 Вывесить заднюю ось. 5 Открутить гайки крепления колес. 6 Снять колесо. 7 Отсоединить разъемы мотор-колеса. 8 Открутить крепление мотор-колеса 9 Снять узел с оси	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей автомобиля	Элементы конструкции автомобиля
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум базовой машины
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [12].
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	

Оценка рисков проведена по методике ГОСТ 12.0.230-2007. Таблица позволяет наглядно сопоставить технологические операции с соответствующими рисками и разработать комплекс профилактических мероприятий для минимизации профессиональных заболеваний и травматизма.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для эффективного снижения профессиональных рисков применяется комплекс технических, организационных и индивидуальных мер.

Технические решения:

- автоматизация опасных процессов (роботизированные линии),
- установка защитных ограждений и блокировок,
- внедрение систем принудительной вентиляции,
- использование инструментов с антивибрационными свойствами.

Организационные мероприятия:

- оптимизация режимов труда и отдыха,
- введение ротации персонала на вредных участках,
- разработка четких регламентов безопасной работы,
- организация производственного контроля.

Средства индивидуальной защиты:

- специализированные костюмы (термостойкие, химически стойкие),
- антистатические комплекты,
- респираторы с многоуровневой фильтрацией,
- защитные каски с системой вентиляции.

Инженерные разработки:

- системы дистанционного управления,
- датчики контроля опасных факторов,
- аварийные остановки оборудования,

- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

- медицинские осмотры,
- специальная оценка условий труда,
- тренинги по безопасности,
- психологическая поддержка.

Особое внимание уделяется:

- внедрению цифровых систем мониторинга,
- использованию эргономичного инструмента,
- применению экологичных материалов,
- совершенствованию технологических процессов.

Реализация данных мер позволяет:

- снизить уровень травматизма на 40-60%,
- уменьшить профзаболеваемость,
- повысить производительность труда,
- обеспечить соответствие международным стандартам.

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

- анализ показателей травматизма,
- медицинскую статистику,
- результаты специальной оценки условий труда,
- опросы сотрудников.

«Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль» [9].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [9].
«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)» [9].
«Повышенный уровень шума	Мониторинг здоровья работников: – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. Инструктаж по: – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противошумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. Техническая модернизация: – плановый контроль уровня шума оборудования	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [9].

Продолжение таблицы 7

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	– внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); – приоритетная замена устаревшего шумного оборудования. Организация рабочего процесса: – введение регламентированных «тихих пауз»; – создание зон акустической разгрузки; – оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки. Тренинги по: – техникам стрессоустойчивости; – методам звуковой релаксации; – профилактике слухового утомления. Консультации корпоративного психолога Инженерные решения: – установка звукопоглощающих панелей; – применение антивибрационных креплений; – модернизация вентиляционных систем; – использование шумоподавляющих материалов	
«Возможность поражения электрическим током	Образовательные мероприятия: – проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электрозащитных средств; – организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев Практическая подготовка – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [9].

Продолжение таблицы 7

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением; – внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала. Техническая защита: – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. Профилактический контроль: – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов; – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования, – ведение электронного журнала технического состояния. Административный надзор: – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссионная инспекция, – автоматизированная система учета нарушений Медицинское сопровождение: – углубленные медосмотры для электротехперсонала: проверка нервной системы, контроль сердечно-сосудистых показателей, тесты на скорость реакции	

Продолжение таблицы 7

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках). Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)	—
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: — медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ; — правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащённости средствами комплексной и малой механизации; — используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [9].	—
«Монотонность труда	— чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности; — внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы;	—

Продолжение таблицы 7

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	– регламентированные перерывы , введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня; – использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда; – психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса; – оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение). Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ).	

Данный подход гарантирует не только формальное соблюдение требований охраны труда, но и создание по-настоящему безопасной производственной среды. Все мероприятия должны быть задокументированы и включены в систему управления охраной труда предприятия.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

План пожарной безопасности – это документ, регламентирующий порядок действий при пожаре, эвакуации людей и материальных ценностей, а также меры по предотвращению возгораний.

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

- ответственных за пожарную безопасность;
- профилактику (проверки оборудования, хранение горючих материалов);
- порядок действий при пожаре: оповещение (сигнализация, вызов МЧС); эвакуация (схемы путей, сборные пункты); тушение (огнетушители, пожарные краны);
- проверки и обновления (регулярные тренировки, корректировка плана).

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 8).

Таблица 8 – 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» [9].

Классификация пожарной техники (по ГОСТ Р 53325-2012 и нормам МЧС) включает следующие основные категории:

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);

- «пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды);
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях)» [9];
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные);
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);
- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

«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 – 1 шт.;
- 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» [9].

Разработка планов действий по пожарной безопасности – обязательная процедура для организаций, зданий и сооружений, регламентированная ФЗ №69 «О пожарной безопасности» и Правилами противопожарного режима в РФ.

Цели разработки планов:

- предотвращение пожаров (профилактика нарушений);
- обеспечение безопасности людей (эвакуация, первая помощь);
- минимизация ущерба (быстрое тушение, защита имущества);
- соответствие закону (избежание штрафов и приостановки деятельности).

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

План эвакуации при пожаре состоит из графической части (схема путей эвакуации, выходы, места огнетушителей) и текстовой инструкции (действия персонала, вызов МЧС, порядок отключения оборудования).

Разработка и размещение плана обязательна для всех общественных зданий, офисов, школ, больниц и так далее.

Инструкция о мерах пожарной безопасности включает в себя Правила содержания территории, электрооборудования, хранения ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей), порядок проведения огневых работ, ответственных лиц и их обязанности.

План противопожарных мероприятий содержит:

- регулярные проверки (электропроводки, систем сигнализации);
- обучение персонала (инструктажи, тренировки);
- техническое обслуживание средств пожаротушения.

План ликвидации аварийных ситуаций оформляется для опасных объектов (АЗС, склады ГСМ, химические производства). Включает взаимодействие с МЧС, локализацию возгораний, защиту окружающей среды.

Разработка планов состоит из 5 этапов:

- анализ объекта (категория пожарной опасности, особенности здания);
- определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
- разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
- согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
- обучение персонала и проведение тренировок.

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при демонтаже мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ (таблица 9).

Таблица 9 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при демонтаже мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ

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» [9]
«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» [9]
«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» [9]
«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» [9].
«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

Продолжение таблицы 9

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
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» [26]
«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» [9]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

Контроль горючих отходов: не допускать скопления легковоспламеняющихся материалов, включить регулярную уборку в систему противопожарных мер.

Обучение персонала: четко разъяснять сотрудникам риски, связанные с используемыми материалами и технологическими процессами; вводный инструктаж для новых работников; ознакомить каждого нового сотрудника с разделами плана пожарной безопасности, которые касаются его личной защиты в ЧС.

Техническое обслуживание оборудования: проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания.

4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса демонтажа мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ

Экологическая безопасность – это комплекс мер, направленных на сохранение природных систем и предотвращение их разрушения в результате человеческой деятельности.

Ключевые аспекты:

- защита экосистем от загрязнения, истощения и необратимых изменений;
- рациональное использование ресурсов (воды, почвы, воздуха, биоразнообразия);
- минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду.

Основные направления:

- контроль загрязнений (промышленные выбросы, отходы, химические вещества);
- сохранение биоразнообразия (защита редких видов, восстановление лесов);
- устойчивое развитие (баланс между экономикой и экологией).

Экологическая безопасность – не просто синоним охраны природы, а системный подход к гармоничному взаимодействию человека и окружающей среды.

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе демонтажа мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ и сведем их в таблицу 10.

Таблица 10 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Демонтаж мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ	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» [9].

Последствия игнорирования негативных факторов

- ухудшение здоровья населения (респираторные, онкологические заболевания).
- деградация экосистем (исчезновение видов, опустынивание).
- экономические потери (ущерб сельскому хозяйству, туризму).
- климатические катастрофы (учащение экстремальных погодных явлений).

Составляем сводную таблицу 11 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 11 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Мелкодисперсная пыль	Фильтрация: – циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%); – рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%); – электрофильтры – для субмикронной пыли (используют коронный разряд); – мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов).	–
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха. Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров СОЖ на CO ₂ и H ₂ O	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м ³ (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м ³ (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: – металлическая стружка и лом; – промасленная ветошь, спецодежда; – твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в спецпечах. Сортировка и захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–

Продолжение таблицы 11

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

Идентификация вредных экологических факторов – первый шаг к разработке стратегий устойчивого развития и снижению антропогенной нагрузки на природу.

Выводы по разделу.

В рамках обеспечения производственной и экологической безопасности технического объекта выполнены следующие работы:

- составлен технологический паспорт процесса демонтажа мотор-редукторов с автомобиля Газель NEXT ЦМФ ;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

Заключение

В данной бакалаврской работе на тему: «Усовершенствование конструкции автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ путём установки гибридного привода» была поставлена цель сформулированы задачи для ее выполнения.

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

Выполнена конструкторская разработка мотор-редуктора для автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ, рассмотрено устройство гибридных автомобилей, разработана схема трансмиссии и кинематическая схема мотор-редуктора, выполнены прочностные и кинематические расчеты.

Разработана технология технического обслуживания и ремонта трансмиссии автомобиля.

Рассмотрены безопасность и экологичность проекта.

Разработанная работа по усовершенствованию автомобиля ГАЗель NEXT ЦМФ путём установки гибридного привода демонстрирует техническую реализуемость данного решения. Внедрение гибридной технологии позволит повысить конкурентоспособность модели на рынке коммерческого транспорта, снизить эксплуатационные расходы и минимизировать вредное воздействие на окружающую среду.

Результаты работы могут быть использованы при дальнейшей модернизации автомобилей семейства ГАЗель, а также при разработке новых моделей с альтернативными силовыми установками.

Таким образом, бакалаврская работа подтверждает актуальность и практическую значимость гибридизации коммерческого транспорта в условиях ужесточения экологических норм и роста стоимости топлива.

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. лит.). 182 с.
- 2 Беспалов В. Я. Электрические машины: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки 140600 «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / В. Я. Беспалов, Н. Ф. Котеленец. - 2-е изд., испр. Москва: Академия, 2008. 312 с.
- 3 Богатырев А. В. Тракторы и автомобили : учеб. для студентов сред. спец. учеб. заведений по специальности 3106 «Механизация сел. хоз-ва» / А. В. Богатырев, В. Р. Лехтер; под ред. А. В. Богатырева. Москва: КолосС, 2005. 398 с.
- 4 Бокман Г. А. Конструкция и технология производства электрических машин и аппаратов [Текст]: [Учебник для сред. проф.-техн. училищ] / Бокман Г.А., Пузевский И.С. - 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Высш. школа, 1977. 368 с.
- 5 Болотов А. К. Конструкция тракторов и автомобилей: учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по агроинженерным специальностям / А. К. Болотов, А. А. Лопарев, В. И. Судницын. Москва: КолосС, 2006 (Смоленск: Смоленская обл. тип. им. В.И. Смирнова). 349 с.
- 6 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов «Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). - 521 с.
- 7 Галимзянов, Р. К. Теория автомобиля: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 190201 – «Автомобиле- и

тракторостроение» / Р. К. Галимзянов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Автомобили». Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 219 с.

8 Галкин В. И. Транспортные машины : учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.

9 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.

10 Гуревич А. М. Тракторы и автомобили: [Для инж. спец.] / А. М. Гуревич. - 3-е изд., перераб. и доп. Москва: Колос, 1983. - 336 с.

11 Конаков А. М. Трансмиссия тракторов и автомобилей: учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по агроинженер. специальностям / А. М. Конаков; М-во высш. образования РФ, Нижегород. гос. с.-х. акад. Н. Новгород : Нижегород. гос. с.-х. акад., 2004. 106 с.

12 Огороднов С. М. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 «Наземные транспортно-технологические комплексы» и специальности 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства» / С. М. Огороднов, Л. Н. Орлов, В. Н. Кравец; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева». Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2017. 284 с.

13 Петров Г. Г. Трансмиссия автомобилей (анализ конструкций, основы расчета): учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» направления подготовки дипломированных специалистов «Эксплуатация наземного транспорта и транспортного оборудования» / Г.Г. Петров, Э.И. Удлер; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное

учреждение высш. проф. образования «Томский гос. архитектурно-строительный ун-т». Томск: Изд-во Томского гос. архитектурно-строительного ун-та, 2008. 255 с.

14 Сарафанова Е. В. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие / Е. В. Сарафанова, А. А. Евсеева, Б. П. Копцев. Москва: МарТ; Ростов-на-Дону: МарТ, 2006 (Тула : Тульская типография). 477 с.

15 Синельников А. Ф. Текущий ремонт грузовых автомобилей. - Москва: Академия, 2023.

16 Слепцов М. А. Основы электрического транспорта [Текст] : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Электрический транспорт» направления подготовки «Электротехника, электромеханика и электротехнологии» / Слепцов М. А. [и др.] ; под общ. ред. М. А. Слепцова. Москва: Academia, 2006. 462 с.

17 Смирнов, Ю. А. Электромобиль: инфраструктура и электротехнические компоненты: учебное пособие для вузов / Ю. А. Смирнов. – Санкт-Петербург: Лань, 2024. 476 с.

18 Степанов А. А. Устройство автомобилей: учебник по специальностям «Техника и технологии наземного транспорта», «Техническое обслуживание и ремонт двигателей, систем и агрегатов автомобилей»: 12+ / А. А. Степанов. Москва: Академия, 2023 (Рыбинск, Ярославская область). 303 с.

19 Тарасик, В. П. Теория движения автомобиля: учеб. для студентов, обучающихся по специальности 190201(150100) - Автомобиле- и тракторостроение / В. П. Тарасик. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2006. 478 с.

20 Чмиль, Владимир Павлович. Автотранспортные средства: учебное пособие / В.П. Чмиль, Ю.В. Чмиль. Санкт-Петербург [и др.]: Лань, 2011. 335 с.

21 Энтони Джутон, Ксавье Рейн, Валери Совант-Мойно, Франсуа Орсини, Кристель Сабер, Седдик Бача, Оливье Бету, Эрик Лабуре

Электромобиль: устройство, принцип работы, инфраструктура / пер. с франц. В. И. Петровичева М.: ДМК Пресс, 2022. 440 с.

22 Ютт, В. Е. Электромобили и автомобили с комбинированной энергоустановкой. Расчет скоростных характеристик: учеб. пособие / В.Е. Ютт, В.И. Строганов. М.: МАДИ, 2016. 108 с.

23 Arnold, M. Simulation Algorithms in Vehicle System Dynamics / M. Arnold // Technical Report 27. - Martin-Luther-University Halle, Department of Mathematics and Computer Science, 2004. 27 p

24 Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, - Raleigh, 1998. -209 p.

25 Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. - Linkoping, 1997. 150 p.

26 Puhs, Allen E., Hybrid vehicles CRC Press, London NewYork 2009. 505 p

27 Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. 64-70 p.

Спецификация

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
	A4				25.БР.01037.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
	A1				25.БР.01037.61.00.000.В0	Чертеж общего вида	1	
						Заимствованные изделия		
				1		Автомобиль Газель NEXT ЦМФ	1	
						Покупные изделия		
				2		Болты ГОСТ 7783-81 М20х1,5-45	16	
				3		Шайбы ГОСТ 6402-70 20.65Г	16	
						Вновь разработанные изделия		
				4	25.БР.01037.61.04.000	Балка заднего моста	1	
				5	25.БР.01037.61.05.000	Мотор-редуктор	2	
				</				

Рисунок А.1 – Спецификация на автомобилъ Газель NEXT ЦМФ

Продолжение Приложения А

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №					<u>Документация</u>		
	A1			25.БР.01.037.61.05.000.СБ	Сборочный чертёж	2	
					<u>Сборочные единицы</u>		
		1		25.БР.01.037.61.01.000.СБ	Диск колеса	2	
		2		25.БР.01.037.61.02.000.СБ	Ротор	1	
		3		25.БР.01.037.61.03.000.СБ	Статор	1	
		4		25.БР.01.037.61.04.000.СБ	Тормозная лента	1	
					<u>Детали</u>		
Подп. и дата							
			5	25.БР.01.037.61.05.005	Корпус	1	
			6	25.БР.01.037.61.05.006	Крышка	1	
	A3		7	25.БР.01.037.61.05.007	Ступица	1	
			8	25.БР.01.037.61.05.008	Крышка	1	
			9	25.БР.01.037.61.05.009	Барабан	1	
			10	25.БР.01.037.61.05.010	Манжета	4	
	A3		11	25.БР.01.037.61.05.011	Колесо зубчатое	1	
			12	25.БР.01.037.61.05.012	Втулка	1	
	A3		13	25.БР.01.037.61.05.013	Вал-шестерня	1	
Взам. инв. №			14	25.БР.01.037.61.05.014	Валик	3	
			15	25.БР.01.037.61.05.015	Кольцо стопорное	6	
			16	25.БР.01.037.61.05.016	Продка	1	
			17	25.БР.01.037.61.05.017	Прокладка	1	
			18	25.БР.01.037.61.05.018	Прокладка	1	
Подп. и дата	A3		19	25.БР.01.037.61.05.019	Шестерня	3	
Инв. № подл.							
	Изм./Лист		№ докум.	Подп.	Дата	25.БР.01.037.61.05.000	
	Разраб.		Козырев Д.С.			Мотор-редуктор	
	Проб.		Зотов А.В.				
					Лит.	Лист	Листов
						1	2
	Н.контр.		Зотов А.В.			ТГУ, ЭМСД-2103а	
	Утв.		Бобровский А.В.				

Копировал

Формат А4

Рисунок А.2 – Спецификация на мотор-редуктор

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Стандартные изделия		
		20		Винт М5х0,75-14 ГОСТ 17475-80	30	
				Болты ГОСТ 15589-70		
		21		М6х0,75-35	8	
		22		М6х0,75-35	12	
		23		М8х1,0-14	12	
		24		М12х1,5-32	12	
				Шайбы ГОСТ 6402-70		
		25		6.65Г	20	
		26		8.65Г	12	
		27		12.65Г	13	
		28		Винт М16х1,0-55 ГОСТ 7785-81	6	
				Гайки ГОСТ 15526-70		
		29		М12х1,5-Н7	1	
		30		М16х1,5-Н7	1	
		31		Шайба №22 ГОСТ 9649-78	1	
		32		Гайка М22х1,5-Н7 ГОСТ 5918-73	1	
		33		Шплинт №4 ГОСТ 22132-77	1	
				Подшипники ГОСТ 8338-75		
		34		№104	6	
		35		№303	1	
		36		№206	1	
				Подшипники ГОСТ 27365-84		
		37		№7510А	2	
		38		Манжета 1-62х93 ГОСТ 8752-79	1	

Рисунок А.3 – Спецификация на мотор-редуктор