

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей
(наименование)

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»
(код и наименование направления подготовки/специальности)

Автомобили и тракторы
(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Разработка первичного акваретардера (замедлитель) для
автомобиля КАМАЗ-65225

Обучающийся

Д.Г. Кулешов
(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Консультанты

канд. техн. наук, доцент А.В. Бобровский
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. пед. наук, доцент А.В. Кириллова (Егорова)
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. физ.-мат. наук, доцент Д.А. Романов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

Выпускная квалификационная работа посвящена разработке первичного акваретардера (водного замедлителя) для автомобиля КАМАЗ-65225. Актуальность проекта обусловлена высоким износом основных тормозных систем при длительных спусках с горных и холмистых участков, ростом времени простоев на обслуживание тормозов и потребностью в дополнительном динамическом замедлении без использования колесных тормозов. Внедрение акваретардера позволит повысить безопасность движения, снизить нагрузку на колесные тормоза, уменьшить затраты на ремонт и увеличить ресурс тормозных механизмов.

Цель исследования – создание эффективного устройства для дополнительного торможения движущегося автомобиля за счёт гидродинамического сопротивления воды, интегрируемого в штатную тормозную систему.

Для достижения поставленной цели, в рамках работы решены следующие задачи:

- анализ существующих видов ретардеров и оценка их применимости к тяжелым грузовым автомобилям;
- выбор оптимальной схемы водного замедлителя с учётом технических характеристик КАМАЗ-65225;
- проведение математического моделирования гидродинамических процессов внутри акваретардера;
- разработка конструкторской документации и прототипа устройства;
- лабораторные и стендовые испытания прототипа с целью определения основных показателей эффективности и надёжности;
- оценка влияния установки акваретардера на эксплуатационные параметры автомобиля и безопасность движения.

Проанализированы статистика аварий, связанных с отказом тормозной системы, и существующие решения вспомогательного замедления. Построен

функциональный и технический заказ на устройство. Оценены потенциальные риски при эксплуатации и техобслуживании, предложены меры по защите персонала и предотвращению аварийных ситуаций.

В результате проведённого исследования предложена конструкция акваретардера, обеспечивающая дополнительный тормозной момент до 15 % от общего и способствующая снижению износа фрикционных элементов. Полученные результаты подтвердили работоспособность решения и обосновали его целесообразность для серийного применения на КАМАЗ-65225, что может повысить безопасность и долговечность тормозной системы грузового транспорта.

Разработанный акваретардер отвечает техническим требованиям, обеспечивает дополнительное эффективное замедление автомобиля и может быть рекомендован к внедрению на серийных машинах КАМАЗ-65225.

Abstract

The final qualifying work is devoted to the development of a primary aqua retarder (water retarder) for the KAMAZ-65225 vehicle. The relevance of the project is due to the high wear of the main braking systems during long descents from mountainous and hilly areas, increased downtime for brake maintenance and the need for additional dynamic deceleration without using wheel brakes. The introduction of an aqua retarder will improve traffic safety, reduce the load on the wheel brakes, reduce repair costs and increase the service life of the brake mechanisms.

The purpose of the study is to create an effective device for additional braking of a moving vehicle due to the hydrodynamic resistance of water, integrated into the standard braking system.

«To achieve this goal, the following tasks were solved within the framework of the work:

- analysis of existing types of retarders and assessment of their applicability to heavy trucks;
- selection of the optimal water retarder scheme taking into account the technical characteristics of the KAMAZ-65225; - mathematical modeling of hydrodynamic processes inside the aquaretarder;» [21]
- development of design documentation and a prototype of the device;
- laboratory and bench tests of the prototype in order to determine the main indicators of efficiency and reliability;
- assessment of the impact of the aquaretarder installation on the vehicle performance parameters and traffic safety.

The statistics of accidents related to the failure of the braking system and existing solutions for auxiliary deceleration were analyzed. A functional and technical order for the device was created. Potential risks during operation and maintenance were assessed, measures to protect personnel and prevent emergency situations were proposed.

As a result of the study, an aquaretarder design was proposed that provides an additional braking torque of up to 15% of the total and helps reduce the wear of friction elements. The results confirmed the operability of the solution and substantiated its feasibility for serial use on KAMAZ-65225, which can improve the safety and durability of the braking system of trucks. The developed aquaretarder meets technical requirements, provides additional effective deceleration of the vehicle and can be recommended for implementation on serial KAMAZ-65225 vehicles.

Содержание

Введение	8
1 Теоретические исследования разработки конструкции акваретардера грузового автомобиля	10
1.1 Торможение автомобильного поезда на длительном спуске	10
1.2 Методы повышения эффективности тормозных характеристик грузового автомобиля	12
1.3 Описание процесса служебного торможения автомобиля	16
1.4 Конструкция ретардера и установка его на автомобиль	19
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	26
2.1 Исходные данные для расчета	26
2.2 Определение внешней скоростной характеристики двигателя	27
2.3 Расчет силового баланса	28
2.4 Расчет динамического фактора	29
2.5 Расчет мощностного баланса	30
2.6 Расчет ускорений транспортного средства	32
3 Разработка первичного акваретардера (замедлитель) для автомобиля КАМАЗ-65225	35
3.1 Компоновка узлов автомобиля при установке ретардера	35
3.2 Разработка конструкции проектируемого акваретардера (замедлителя) для грузового автомобиля	38
3.3 Расчет технических параметров акваретардера и элементов его конструкции	42
4 Разработка операционно-технологической карты на сборку первичного акваретардера	56
5 Безопасность объекта дипломного проектирования. Безопасность участка сборки	60

5.1 Краткая техническая характеристика объекта дипломного проектирования	60
5.2 Профессиональные риски объекта дипломного проектирования	63
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	65
5.4 Обеспечение пожарной безопасности участка сборки	67
5.5 Обеспечение экологической безопасности	70
6 Расчет себестоимости нормо-часа работ участка сборки	72
6.1 Описание участка и производимых работ	72
6.2 Расчет затрат на расходные материалы, используемые на сборочном участке	73
6.3 Расчет затрат на амортизационные отчисления на сборочном участке	75
6.4 Расчет затрат на электрическую энергию на участке сборки	77
6.5 Расчет затрат на заработную плату персонала	79
Заключение	83
Список используемой литературы и используемых источников	89

Введение

В современных условиях развития автомобильного транспорта, характеризующегося ростом грузоподъёмности, повышением средних скоростей и усложнением профиля автомобильных дорог, особенно горных и холмистых, всё более остро встаёт задача обеспечения надёжной и эффективной системы торможения тяжеловесных магистральных автомобилей. Автомобиль КАМАЗ-65225, предназначенный для транспортировки крупногабаритных и тяжеловесных грузов, при длительных спусках по автодорогам с крутыми уклонами испытывает значительные тепловые нагрузки на основной тормозной механизм. В условиях интенсивной эксплуатации это приводит к повышенному износу тормозных колодок и дисков, снижению работоспособности пневматической тормозной системы и увеличению рисков возникновения аварийных ситуаций.

Одним из наиболее эффективных способов снижения тепловой нагрузки на тормозную систему является установка дополнительного тормоза-ретардера. В частности, акваретардер – гидравлическое устройство с водяным охлаждением – обеспечивает диссипацию тормозной энергии непосредственно в жидкости, что позволяет практически полностью исключить динамический износ фрикционных элементов. Данный вид замедлителя отличается простотой конструкции, экологической безопасностью (в качестве рабочего тела используется вода), а также высокой надёжностью при работе в широком диапазоне температур. Внедрение первичного акваретардера на шасси КАМАЗ-65225 позволит:

- повысить уровень активной безопасности транспортного средства за счёт стабильного тормозного момента на длительных спусках;
- продлить межремонтные интервалы основного тормозного оборудования;
- снизить суммарные эксплуатационные расходы и расход энергии на техническое обслуживание;

- соответствовать современным нормам по экологичности и энергоэффективности.

«Структура настоящего дипломного проекта отражает логичную последовательность решения поставленной задачи и включает шесть глав:

- обоснование необходимости разработки первичного акваретардера для автомобиля КАМАЗ-65225;
- проведение тягового расчёта автомобиля с учётом дополнительного замедлителя;
- выполнение конструкторского расчёта элементов акваретардера и его сопряжённых узлов;
- разработка технологического процесса сборочных работ и рекомендации по монтажу на шасси;» [10]
- анализ и обеспечение требований безопасности при эксплуатации и техническом обслуживании;
- оценка экономической эффективности внедрения разработанного акваретардера в серийное производство и эксплуатацию.

Таким образом, выполнение дипломного проекта позволит получить комплексное инженерное решение по созданию и обоснованному внедрению первичного акваретардера для КАМАЗ-65225, что в перспективе обеспечит повышение надёжности, безопасности и экономичности эксплуатации тяжёловесных магистральных автомобилей. Результат выполнения дипломного проекта отражен не только в представленной расчетно-пояснительной записке, но и на листах графической части.

1 Теоретические исследования разработки конструкции акваретардера грузового автомобиля

1.1 Теоретические положения процесса торможения автомобильного поезда на длительном спуске

Процесс торможения автомобильного поезда на длительном спуске представляет собой сложную задачу, требующую анализа взаимодействия множества факторов. Основные теоретические положения можно свести к следующим аспектам.

«Рассмотрим торможение прицепного автопоезда (рисунок 1) на горизонтальной дороге, пренебрегая силой сопротивления воздуха ($R_v = 0$), так как ее влияние при небольшой скорости незначительно.» [3]

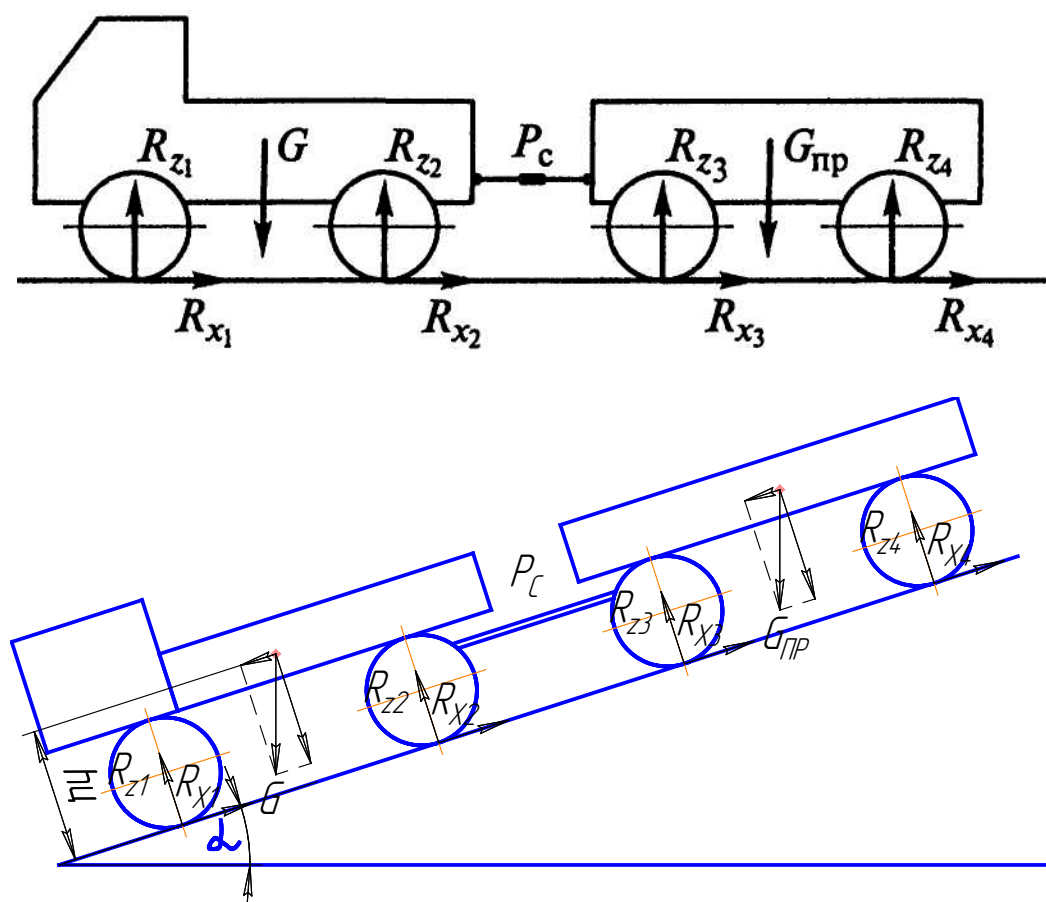


Рисунок 1 – Движение автопоезда на спуске

Сила тяжести (G) является основной силой, вызывающей движение автопоезда вниз по склону. Разлагается на две составляющие: силу, направленную вдоль склона ($G \cdot \sin \alpha$), и силу, перпендикулярную склону ($G \cdot \cos \alpha$), где α - угол наклона.

«Сила $G \cdot \sin \alpha$ является движущей силой, которую необходимо компенсировать тормозными силами. Сила сопротивления качению (R) – это сила, противодействующая движению колес по дорожному покрытию. Зависит от массы автопоезда, материала и состояния дорожного покрытия, а также давления в шинах.» [9]

Замедлением (a) называется изменение скорости автопоезда во времени. Определяется равнодействующей всех сил, действующих на автопоезд. В идеале, замедление должно быть постоянным и безопасным для водителя и груза.

Тормозной путь (S) – это расстояние, которое проходит автопоезд от момента начала торможения до полной остановки. Зависит от начальной скорости, замедления и времени реакции водителя.

При торможении кинетическая энергия автопоезда преобразуется в тепловую энергию в тормозных механизмах (колодки, диски, барабаны). При длительном торможении на спуске тепловыделение может быть значительным, что может привести к перегреву тормозов и потере эффективности торможения (фединг). Эффективное охлаждение тормозных механизмов для предотвращения перегрева может быть достигнуто использованием вентилируемых тормозных дисков, активного охлаждения и других методов.

Чем больше масса, тем больше сила тяжести и, следовательно, требуется большее тормозное усилие. Неравномерное распределение массы может привести к неравномерному распределению тормозных сил и потере управляемости. Тип тормозных механизмов (барабанные, дисковые), наличие систем ABS и EBS, а также использование вспомогательных тормозных систем (ретардер, двигательный тормоз) существенно влияют на эффективность и безопасность торможения.

Понимание этих теоретических положений необходимо для проектирования и эксплуатации систем торможения автопоездов, обеспечивающих безопасное движение на длительных спусках. Особое внимание уделяется предотвращению перегрева тормозов и обеспечению устойчивости автопоезда при торможении.

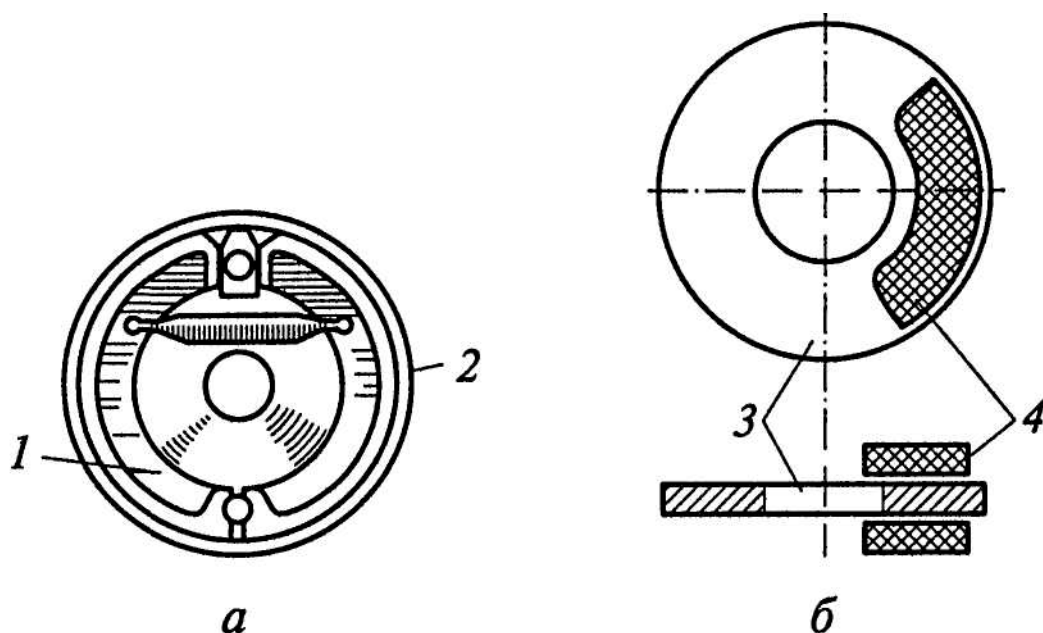
1.2 Методы повышения эффективности тормозных характеристик грузового автомобиля

«Поскольку ретардер, который мы собираемся проектировать, задействован в процессе торможения автопоезда на длительных уклонах, то целесообразно рассмотреть уклон торможения автопоезда на стандартном европейском уровне (до 12%).» [4]

«Повышение эффективности тормозных характеристик грузового автомобиля – комплексная задача, требующая подхода, охватывающего конструктивные изменения, технологические улучшения и особенности эксплуатации.

В передних и задних колесах грузовых автомобилей и автобусов применяют барабанные тормозные механизмы (рисунок 2, а). В передних колесах легковых автомобилей используют дисковые тормозные механизмы (рисунок 2, б), а в задних колесах – барабанные либо дисковые.

Переход на дисковые тормозные механизмы, особенно на передней оси, обеспечивает лучшее охлаждение и более стабильные характеристики по сравнению с барабанными.» [24] Использование композитных материалов в тормозных колодках может увеличить их износостойкость и коэффициент трения. Улучшение вентиляции тормозных механизмов (например, использование вентилируемых дисков, оптимизация воздухопроводов) снижает температуру и предотвращает фединг. Включение системы активного охлаждения (например, с использованием охлаждающей жидкости) может быть особенно эффективным при интенсивном торможении.



1, 4 - тормозные колодки; 2 - тормозной барабан; 3 - тормозной диск

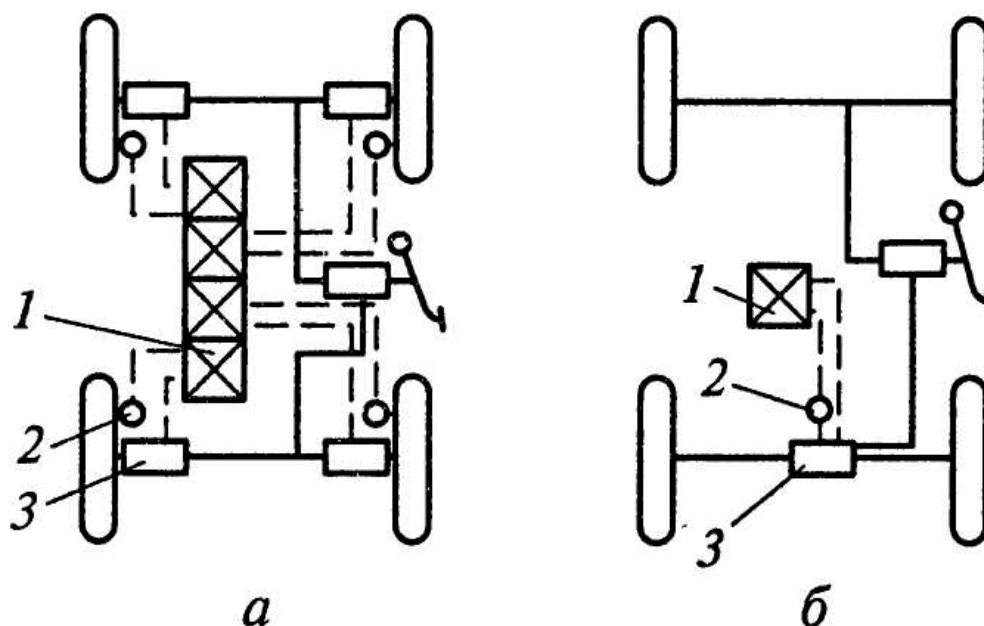
Рисунок 2 – Схемы барабанного (а) и дискового (б) тормозных механизмов

«Более точная и адаптивная система EBS позволяет оптимально распределять тормозные силы между осями, предотвращая блокировку колес и обеспечивая стабильность при торможении. ABS предотвращает блокировку колес, сохраняя управляемость, а ESP (электронная система стабилизации) помогает контролировать поведение автомобиля при экстремальных условиях торможения.

Эффективность торможения с антиблокировочной системой (АБС, ABS) зависит от схемы установки ее элементов. Наиболее эффективной является АБС с отдельным регулированием колес автомобиля (рисунок 2.5, а). В этом случае на каждое колесо установлен отдельный датчик 2 угловой скорости, а в тормозном приводе к колесу - отдельный модулятор 3 давления и блок управления 1. Однако такая схема установки АБС наиболее сложная и дорогостоящая.

В более простой схеме установки элементов АБС (рисунок 3, б) используются один датчик 2 угловой скорости, установленный на валу карданной передачи, один модулятор 3 давления и один блок управления 1.

Такая схема установки элементов АБС имеет более низкую чувствительность и обеспечивает меньшую эффективность торможения автомобиля.» [12]



1 - блок управления; 2 - датчик; 3 - модулятор давления

Рисунок 3 – Схемы АБС с отдельным (а) и общим (б) регулированием колес

Использование ретардера или двигательного тормоза также значительно снижает нагрузку на рабочие тормоза, особенно при длительном торможении на спусках. Интеграция этих систем с EBS обеспечивает максимальную эффективность.

Увеличение жесткости рамы и подвески снижает колебания и вибрации при торможении, улучшая стабильность. Использование износостойких материалов в тормозных колодках и дисках продлевает срок их службы и улучшает тормозные характеристики. Высокоточная обработка деталей тормозной системы обеспечивает оптимальную работу механизмов и предотвращает преждевременный износ.

Своевременная замена тормозных колодок, проверка состояния тормозных дисков и механизмов, а также правильная регулировка обеспечивают постоянную эффективность тормозной системы. Использование плавного торможения, особенно на скользких покрытиях, снижает риск блокировки колес и уменьшает тормозной путь. Использование ретардера и двигателя тормоза при спуске существенно снижает износ рабочих тормозов.

«Зимой на заснеженных и обледенелых дорогах коэффициент сцепления существенно снижается, и для его увеличения необходимо использовать шины с зимним рисунком протектора и ошипованные шины (рисунок 4).» [1]



Рисунок 4 – Зимний рисунок протектора шины (а) и шипы противоскольжения (б)

Использование шин с высоким коэффициентом сцепления, соответствующих сезону и условиям эксплуатации, улучшает тормозные характеристики. Поддержание правильного давления в шинах также важно.

Комплексный подход, включающий все эти методы, позволит существенно повысить эффективность и безопасность торможения грузового автомобиля. Ключевыми показателями эффективности торможения будут являться следующие показатели: сокращение тормозного пути на 15-25%, снижение температуры тормозных узлов на 30-40%, увеличение срока службы колодок в 1.5-2 раза. Реализация требует комплексного подхода, сочетание инженерных решений, регулярного ТО и обучения водителей.

1.3 Описание процесса служебного торможения автомобиля

Служебное торможение грузового автомобиля – это основной способ замедления и остановки, используемый в повседневной эксплуатации. В отличие от стояночного тормоза, служебное торможение предназначено для снижения скорости в процессе движения. Процесс служебного торможения включает в себя несколько этапов и зависит от множества факторов, включая тип тормозной системы, состояние дорожного покрытия, массу автомобиля и груза, а также опыт и навыки водителя.

Активация тормозной системы происходит, когда водитель нажимает на педаль тормоза, которая через систему усилителя (гидравлический или пневматический) воздействует на тормозные механизмы всех колес. В современных грузовиках используется преимущественно пневматический привод, обеспечивающий более высокую надежность и возможность использования вспомогательных тормозных систем.

Система распределения тормозных сил (EBS - Electronic Braking System) играет ключевую роль в этом этапе. EBS обеспечивает оптимальное распределение тормозного усилия между осями, учитывая массу груза, уклон дороги и другие факторы. «Это предотвращает блокировку колес и сохраняет управляемость автомобиля. В более старых системах распределение тормозных сил происходит механически, что может быть менее эффективным и предсказуемым.» [9]

Тормозные механизмы (барабанные или дисковые) преобразуют кинетическую энергию автомобиля в тепловую, за счет трения между тормозными колодками и барабанами/дисками. Эта энергия рассеивается в окружающую среду, что приводит к нагреванию тормозов. В результате действия тормозных сил автомобиль постепенно снижает свою скорость. «Величина замедления зависит от силы нажатия на педаль тормоза, состояния тормозной системы, состояния дорожного покрытия и других факторов. Процесс продолжается до полной остановки автомобиля. При этом важно избежать

резкого торможения, которое может привести к блокировке колес и потере управляемости, особенно на скользких покрытиях.» [17]

«Современные грузовые автомобили часто оснащаются вспомогательными тормозными системами, которые значительно повышают эффективность и безопасность торможения:

- антиблокировочная система (ABS) предотвращает блокировку колес при торможении, сохраняя управляемость автомобиля;
- электронная система стабилизации (ESP) помогает удерживать автомобиль на траектории движения при экстремальных условиях, включая интенсивное торможение;
- гидравлический или электромагнитный замедлитель (ретардер), устанавливаемый на трансмиссию эффективно тормозит автомобиль без использования рабочих тормозов, снижая их износ и предотвращая перегрев;

При торможении тормозом-замедлителем повышается безопасность движения и уменьшается износ тормозных механизмов, шин и двигателя. Тормозами-замедлителями обычно оборудуют грузовые автомобили и автобусы, предназначенные для особых условий эксплуатации (горных и т.п.).» [21]

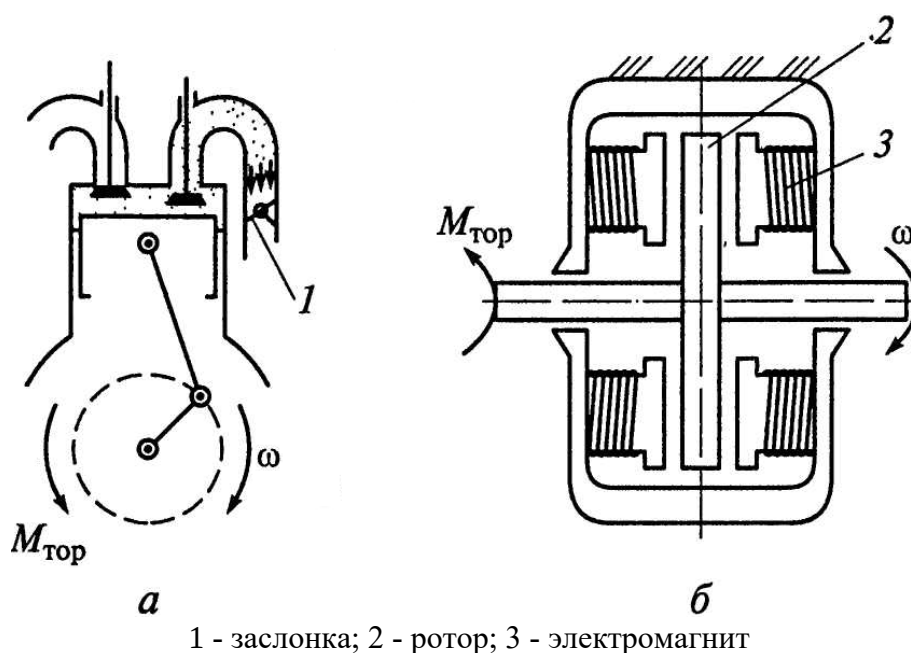


Рисунок 5 - Схемы моторного (а) и электродинамического (б) тормозов-замедлителей

«Моторный тормоз-замедлитель (рисунок 5, а) служит для замедления движения автомобиля, главным образом на затяжных спусках. Тормоз-замедлитель повышает безопасность движения и облегчает работу колёсных тормозов. Действие тормоз-замедлителя основано на переключении двигателя в режим работы компрессора. При этом вместо топлива в цилиндры двигателя поступает только воздух. В выпускном трубопроводе прикрывают специальную заслонку, отчего создаётся противодавление в выпускной системе двигателя, то есть повышается сопротивление выходу воздуха, выталкиваемого из цилиндров. Работая в таком режиме, двигатель не только не развивает мощность, но сам поглощает часть энергии движения автомобиля, затрачивая её на сжатие воздуха в цилиндрах. Таким образом, двигатель, связанный через трансмиссию с ведущими колёсами, замедляет их вращение. Основано как на переключении двигателя в режим компрессора, так и на использовании спецоборудования на торможении. На некоторых автомобилях особо большой грузоподъёмности с гидродинамической передачей в трансмиссии используют тормоз-замедлители роторного типа. Ротор с криволинейными лопатками установлен на ведущем валу коробки передач. При его включении в корпус подаётся масло, создающее сопротивление вращению ротора, а следовательно, и ведущего вала коробки передач, в результате чего замедляется движение автомобиля (рисунок 5, б). Подобное решение применяется, например, на автомобилях БелАЗ.» [7]

На эффективность служебного торможения существенно влияют:

- состояние дорожного покрытия, сухой асфальт обеспечивает лучшее сцепление, чем мокрый, обледенелый или заснеженный;
- дождь, снег, лед значительно снижают эффективность торможения.
- масса груза увеличивает инерцию автомобиля и увеличивает тормозной путь.
- износ тормозных колодок, неисправности в гидравлической или пневматической системе, могут существенно снизить эффективность торможения.

Правильное использование служебного торможения, учет внешних факторов и своевременное техническое обслуживание тормозной системы – залог безопасности движения грузового автомобиля.

1.4 Конструкция ретардера и установка его на автомобиль

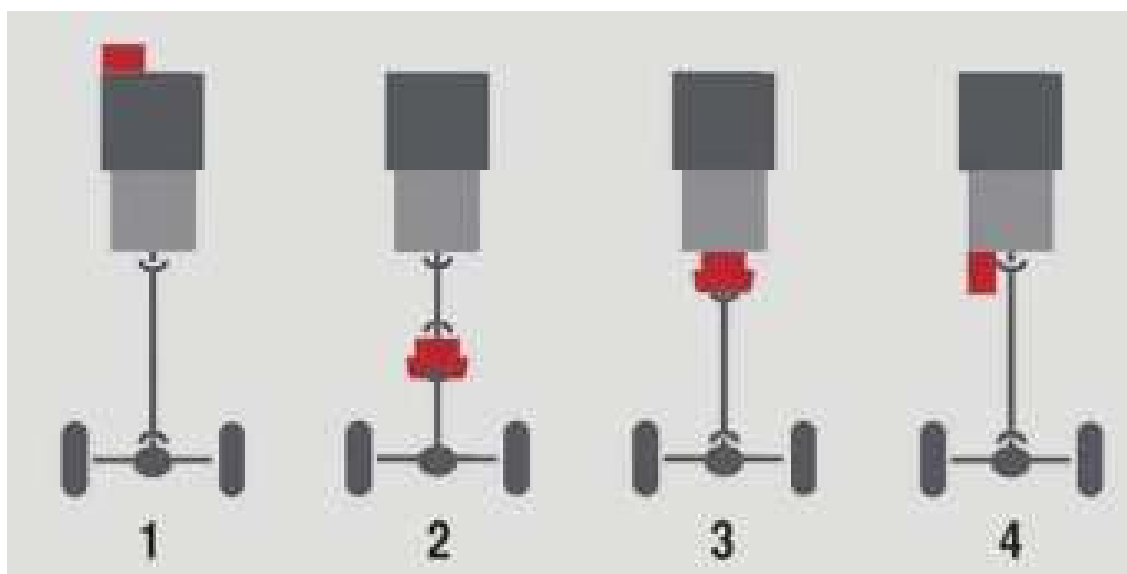
Ретардеры – вспомогательные тормозные устройства, устанавливаемые на грузовых автомобилях для повышения безопасности и эффективности торможения, особенно на длительных спусках. Они снижают нагрузку на рабочие тормоза, предотвращая их перегрев и износ. Существуют два основных типа ретардеров: гидравлические и электромагнитные.

Принцип действия гидравлических ретардеров основан на создании тормозного момента за счет вращения ротора в корпусе, заполненном вязкой жидкостью (обычно масло). Ротор имеет лопасти, которые взаимодействуют с неподвижным статором, создавая сопротивление вращению. Чем выше скорость вращения, тем больше сопротивление и тормозной момент. Гидравлический ретардер состоит из корпуса, ротора, статора, системы охлаждения и управляющего механизма. Корпус обычно выполнен из прочного материала, способного выдерживать высокие температуры. Система охлаждения необходима для отвода тепла, выделяющегося при работе ретардера. «Управляющий механизм позволяет плавно регулировать интенсивность торможения. Обычно ретардеры этого типа устанавливаются между двигателем и коробкой передач, либо непосредственно на коробку передач.» [9] Это позволяет использовать вращающий момент трансмиссии для создания тормозного момента.

Принцип действия электромагнитных ретардеров основан на использовании электромагнитного поля для создания тормозного момента. Ротор, состоящий из проводящих пластин, вращается в магнитном поле, создаваемом статором с обмотками. Взаимодействие токов Фуко в роторе и магнитного поля создает тормозной момент. Электромагнитный ретардер

состоит из статора с обмотками, ротора, системы охлаждения и блока управления. Охлаждение может осуществляться жидкостным или воздушным способом. Блок управления регулирует силу тока в обмотках статора, изменяя интенсивность торможения. Аналогично гидравлическим ретардерам, устанавливаются между двигателем и коробкой передач или непосредственно на коробку передач.

На рисунке 6 представлены схемы размещения ретардеров на автомобиле.



1 – схема установки первичного ретардера; 2-4 – схемы установки вторичных ретардеров

Рисунок 6 – Возможные места установки ретардера

«Независимо от типа, ретардеры устанавливаются в трансмиссии для использования вращательного момента двигателя. Основные схемы установки представлены на рисунке 6.» [15]

Установка ретардера между двигателем и коробкой передач. В этом случае, ретардер интегрируется в карданный вал, передавая тормозной момент на коробку передач. Это относительно простая схема, но может ограничивать выбор коробки передач.

Установка ретардера на выходном валу коробки передач. Ретардер устанавливается непосредственно на вторичном валу коробки передач. Это

позволяет использовать широкий спектр коробок передач, но требует более сложной конструкции ретардера.

Установка ретардера внутри коробки передач. В некоторых современных коробках передач ретардер интегрирован непосредственно в конструкцию. Это обеспечивает максимальную компактность и эффективность, но усложняет конструкцию и ремонт коробки передач.

Выбор схемы установки зависит от конкретной модели автомобиля, типа коробки передач, требований к компактности и эффективности.

Ретардеры (тормоза-замедлители) возникли для снижения нагрузки на фрикционные тормоза в длительных режимах. Причины внедрения явились рост массы грузовиков, требования безопасности (особенно на затяжных спусках), снижение эксплуатационных затрат. Сегодня ретардеры — стандарт для тяжелой техники грузоподъемностью от 12 тонн.

Можно выделить следующие этапы развития конструкции ретардеров

- 1950-е годы. Появляются первые гидродинамические ретардеры (Voith, Германия). Принцип работы: ротор вращается в жидкости и гидродинамическое сопротивление создает тормозной момент. Такие ретардеры устанавливались на автобусы и тяжелые грузовики, работающие в горной местности и в карьерах.

- 1960–1970-е. В это время происходит широкое внедрение в Европе для горных регионов. Компании Telma (Франция) и Voith доминируют на рынке тормозных устройств для грузовых автомобилей и тяжелой техники. Электромагнитные ретардеры Telma использовали вихревые токи, при этом вращающийся диск тормозится магнитным полем без износа деталей.

- 1980–1990-е. Интеграция с двигателем. Появились интардеры (гидродинамические замедлители в коробке передач, например, ZF Intarder) и первичные ретардеры (на маховике двигателя).

- 2000-е – настоящее время. Электрические ретардеры для гибридных грузовиков, «умная» интеграция с EBS (электронной тормозной системой). Активно используются в Евросоюзе, Китае, США для безопасности на спусках

и экономии тормозных колодок.

«Первый ретардер Voith был вовсе не автомобильным, а железнодорожным. Полвека назад в США уже работали поезда огромной массы (до 10000 т) и умопомрачительной длины (до 5 км). Таскали их аж десять тепловозов, мощностью 4000 л.с. каждый. А поскольку затормозить такую машину на уклоне крайне непросто, в 1961 году Voith разработал трансмиссию, где процесс длительного торможения был возложен на гидродинамическое устройство – ретардер.

Инициатором его использования на автобусах стал Отто Кессборер, «отец» автобусов Setra (это было в 1968 году). Сейчас же практически все туристические лайнеры европейских марок оснащаются ретардерами. Безопасность превыше всего. А в «грузовой» сектор ретардеры пришли в середине семидесятых.» [12]

«Электродинамический ретардер. По сути, это электродвигатель, где статор неподвижно закреплен на автомобиле. К роторам (с ребристой поверхностью для лучшего охлаждения) крепятся карданные валы. При подаче напряжения в обмотках статора возникает магнитное поле; оно наводит вихревые токи во вращающихся роторах, что и создает тормозной момент. При этом ротор может разогреваться до 600°C и даже выше. А чтобы не перегрелся статор (его температура не должна превышать 250°C) существует термозащита, ограничивающая подачу тока и, соответственно, уменьшающая тормозной момент.

В свою очередь, гидродинамический ретардер работает по принципу гидромукты и имеет собственную систему маслоснабжения (а также принудительное охлаждение). Здесь тоже есть и неподвижный статор, и ротор - колеса с лопастями, «смотрящими» друг на друга. При движении машины ротор бесцельно гоняет воздух внутри ретардера, а вот для торможения в пустующий объем подается масло. Получается такая «буря в стакане»: чем больше масла в зоне вращения ротора, тем сильнее он замедляется. А поскольку ротор жестко связан с трансмиссией, замедляется и сам автомобиль (рисунок 7).» [23]

«Разумеется, у каждой системы есть свои плюсы и минусы. Электродинамические устройства очень громоздкие, тяжелые (несколько сотен килограммов) и заметно теряют эффективность при нагревании. Правда, они обеспечивают высокий тормозной момент даже на малых скоростях движения.» [15]

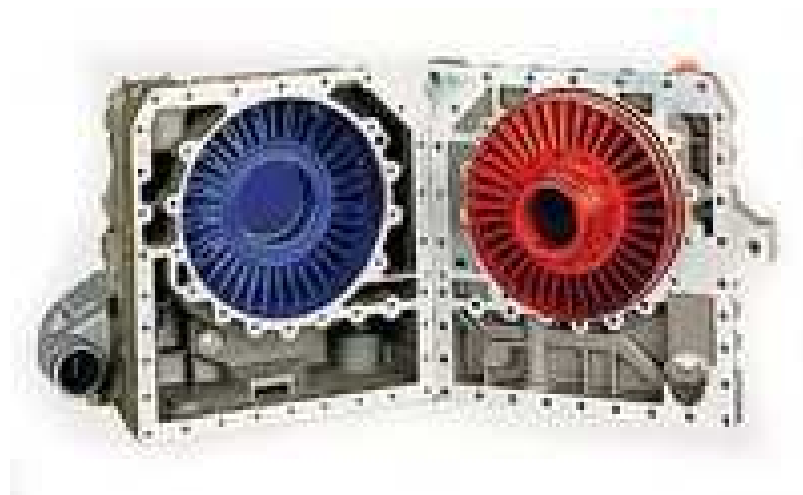


Рисунок 7 – Гидродинамический ретардер «в разрезе»

«Если ретардер объединен с коробкой передач, он называется интегрированным: фирма ZF даже ввела для него отдельное название - «интардер». Он соединяется со вторичным валом не напрямую, а через пару шестерен с передаточным отношением примерно 1/2 - поэтому скорость вращения ротора здесь в два раза выше (что позволяет улучшить характеристики тормозного момента на малых скоростях).

У фирмы Voith есть и еще одна любопытная конструкция, тоже гидродинамическая - Aquatarder (акватардер). Он смонтирован прямо на двигателе, в передней его части: ведь вместо масла здесь используется охлаждающая жидкость, тосол. Преимущество налицо: тепло, выделяющееся при торможении, сразу, без всяких водомасляных теплообменников, уходит в систему охлаждения двигателя. Пока такая система устанавливается только на грузовиках MAN, но не исключено, что ей заинтересуются и другие производители.» [24]

В результате проведенного обзора процессов торможения грузовых автомобилей, конструкций механизмов ретардера и истории их развития, можно сделать следующие выводы:

Эффективность торможения грузовых автомобилей — это комплексная многофакторная задача. Эффективность торможения определяется не только характеристиками тормозной системы, но и множеством взаимодействующих факторов, включая массу автомобиля и груза, состояние дорожного покрытия, погодные условия, техническое состояние компонентов тормозной системы и навыки водителя. Современные системы EBS, ABS и ESP играют критическую роль в обеспечении управляемости и безопасности торможения.

Ретардеры – незаменимый агрегат современных грузовых автомобилей, работающий в тяжелых дорожных условиях. Анализ конструкций ретардеров (гидравлических и электромагнитных) показал их высокую эффективность в снижении нагрузки на рабочие тормоза, особенно при длительном торможении на спусках. Это существенно повышает безопасность движения и продлевает срок службы тормозных механизмов, уменьшая затраты на техническое обслуживание.

История развития ретардеров демонстрирует постоянное совершенствование. Анализ истории развития ретардеров показал постепенное усложнение конструкций, повышение эффективности и расширение функциональных возможностей. Современные ретардеры отличаются высокой надежностью, плавностью регулировки тормозного момента и эффективным охлаждением. Тенденции развития направлены на повышение эффективности, снижение веса и интеграцию с другими системами автомобиля.

Выбор типа ретардера определяется компромиссом между характеристиками и стоимостью. Гидравлические ретардеры отличаются сравнительной простотой и низкой стоимостью, но могут иметь ограничения по эффективности при низких скоростях. Электромагнитные ретардеры обеспечивают более плавное и эффективное торможение в широком диапазоне скоростей, но характеризуются большей стоимостью. Оптимальный выбор типа

ретардера зависит от конкретных требований к автомобилю и условий его эксплуатации. В качестве конструкции, разрабатываемой в рамках дипломного проекта, принимается конструкция гидравлического ретардера.

Дальнейшие исследования необходимы для оптимизации конструкций и повышения эффективности ретардеров. Несмотря на значительный прогресс, дальнейшие исследования направлены на улучшение эффективности охлаждения, повышение надежности, снижение веса и стоимости, а также интеграцию ретардеров с другими системами управления автомобилем, например, с адаптивными системами круиз-контроля.

В целом, проведенный обзор подтверждает важность ретардеров как ключевого элемента современных систем торможения грузовых автомобилей, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности движения, особенно в сложных условиях.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

2.1 Исходные данные для расчета

«Тяговый расчет транспортного средства выполняется для уточнения мощностных параметров транспортного средства. Также тяговый расчёт выполняется для выбора необходимых параметров для расчёта тормозной системы автомобиля.» [1]

«Исходные данные для производимого в разделе расчета представим в таблице 1. В качестве исходных данных приняты параметры базового автомобиля, взятого в качестве базы для выполнения тягового расчета, а именно автомобиля КамАЗ-65255. Внешний вид транспортного средства представлен на рисунке 8.» [2]

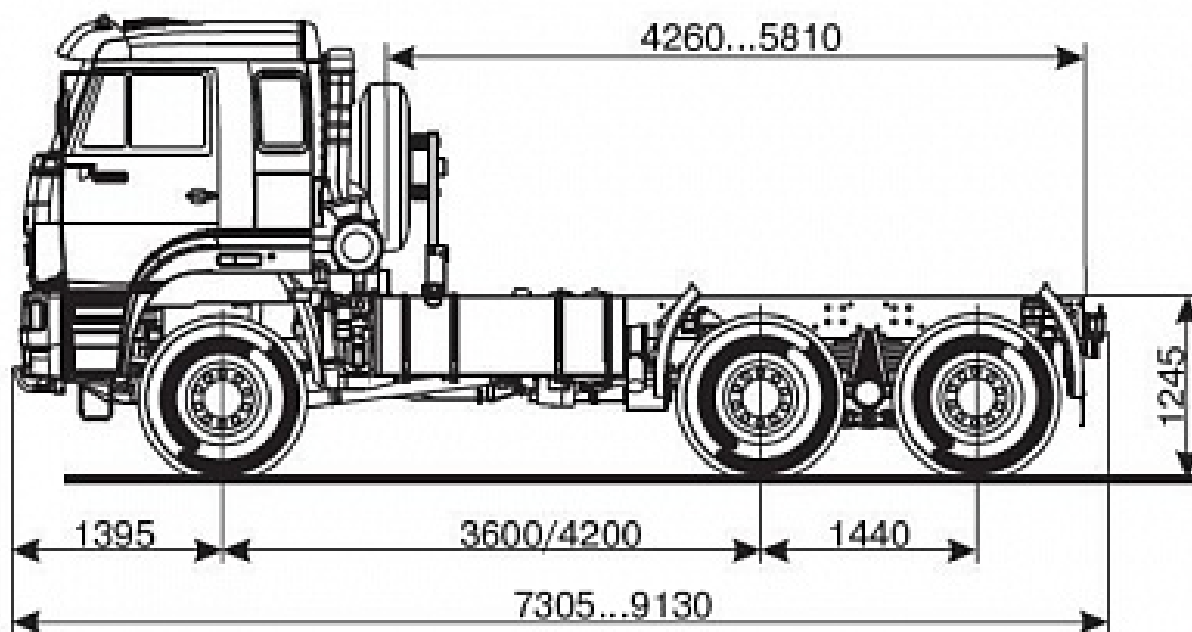


Рисунок 8 – Автомобиль КамАЗ-65225

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения тягового расчета

Параметр	Значение
Полная масса, M_a , кг	15350
Сухая масса, M_o , кг	9200
Максимальная скорость, V_{max} , км/ч	105
Мощность двигателя, N_{max} , кВт	157
Рабочая скорость, $V_{раб}$, м/с	1,1
Обороты максимальный мощности, n_{Nmax} , об/мин	2600
Минимальные обороты, n_{min} , об/мин	600
Максимальные обороты, n_{max} , об/мин	2930
Радиус колеса, r_k , м	0,508
Площадь лобовая, F , м ²	6
Гравитационная постоянная, g , м/с ²	9,81
Передаточное число главной передачи, $U_{гп}$	6,53
КПД трансмиссии, $\eta_{тр}$	0,82
Коэффициент сопротивления, K	0,65
Коэффициент сопротивления качения, f	0,02

2.2 Определение внешней скоростной характеристики двигателя

Тяговый расчет начинаем с расчета и графического построения внешней скоростной характеристики двигателя транспортного средства.

«Рассчитывают величины эффективной мощности N_e и крутящего момента T_e в зависимости от частоты вращения двигателя n_e , при полном открытии дроссельной заслонки или полной подаче топлива, по уравнениям (таблица 2):» [5]

$$N_e = N \left[a \left(\frac{n_e}{N_n} \right) + b \left(\frac{n_e}{N_n} \right)^2 - c \left(\frac{n_e}{N_n} \right)^3 \right]_{max}, \text{ кВт} \quad (1)$$

$$T_e = 9550 \frac{N_e}{n_e}, \text{ Нм} \quad (2)$$

Таблица 2 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

п _е , об/мин	600	1000	1400	1800	2200	2600	2930
N _е , кВт	29,56	57,38	87,39	115,95	139,37	154	156,8
T _е , Нм	470,59	547,9	596,17	615,19	605,01	565,6	511,2

Также результаты расчета используются для построения диаграммы внешней скоростной характеристики, вынесенной на лист графической части.

2.3 Расчет силового баланса

«Силовой баланс строят, зная тяговую характеристику автомобиля и силы сопротивления дороги и воздуха.

Уравнение силового баланса имеет вид:» [7], [20]

$$P_T = P_d + P_v + P_i \quad (3)$$

Произведем расчет тягового усилия на ведущих колесах:

$$P_T = \frac{T_e \cdot U_K \cdot U_{ГП} \cdot U_d}{r_K} \cdot \eta_{TP} \quad (4)$$

Рассчитаем силу сопротивления дорожного полотна:

$$P_d = G_a \cdot \psi \quad (5)$$

где ψ – коэффициент суммарного сопротивления дороги.

«Для горизонтальной дороги $\psi = f$ может быть определён по формуле:»

[7]

$$f = f_0 \left(1 + \frac{V_a^2}{20000} \right) \quad (6)$$

«где f_0 – коэффициент сопротивления качению для сухого асфальтового покрытия, при $V_a = 10 \dots 15$ км/ч;

V_a – скорость автомобиля, км/ч» [19]

Сила сопротивления воздуха рассчитывается по формуле:

$$P_v = \frac{K \cdot F \cdot V_a^2}{13} \quad (7)$$

Скорость автомобиля на каждой передаче определяют по формуле:

$$V_a = 0,377 \cdot \frac{n_e \cdot r_K}{U_{гп} \cdot U_K \cdot U_d} \quad (8)$$

Расчет по формулам (3)-(8) представлен в приложении А в виде графиков тягового расчета и на листе графической части дипломного проекта.

2.4 Расчет динамического фактора

«Динамический фактор определяют при полной нагрузке автомобиля по формуле, Расчет приводится в таблице 3:» [1], [17]

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a} \quad (9)$$

«Выполненный расчет, в виде графиков зависимости динамического фактора от скорости движения автомобиля, с разбивкой по передачам автомобилей, приводится на листе графической части дипломного проекта.» [1]

Таблица 3 - Расчёт значений динамического фактора на каждой из передач в зависимости от скорости

V ₁	2,250279	3,750465	5,250651	6,750837	8,251023	9,751209	10,98886
D ₁	0,221511	0,257922	0,280586	0,289504	0,284676	0,266102	0,240429
V ₂	2,758179	4,596965	6,435751	8,274537	10,11332	11,95211	13,46911
D ₂	0,180715	0,210411	0,228886	0,236141	0,232175	0,216989	0,196014
V ₃	4,366546	7,277577	10,18861	13,09964	16,01067	18,9217	21,3233
D ₃	0,114126	0,13284	0,144445	0,148941	0,146328	0,136605	0,123232
V ₄	5,348688	8,914479	12,48027	16,04606	19,61185	23,17765	26,11942
D ₄	0,093148	0,108386	0,1178	0,121391	0,119158	0,111101	0,100071
V ₅	7,038873	11,73145	16,42404	21,11662	25,8092	30,50178	34,37316
D ₅	0,070733	0,082228	0,089254	0,091814	0,089905	0,083529	0,074906
V ₆	8,62607	14,37678	20,1275	25,87821	31,62892	37,37964	42,12397
D ₆	0,05766	0,066936	0,072515	0,074396	0,07258	0,067067	0,059735
V ₇	11,50143	19,16904	26,83666	34,50428	42,1719	49,83951	56,1653
D ₇	0,043114	0,049838	0,053673	0,054618	0,052673	0,04784	0,041677
V ₈	14,07775	23,46291	32,84807	42,23324	51,6184	61,00357	68,74633
D ₈	0,03507	0,040289	0,04301	0,043233	0,040958	0,036186	0,030368
V ₉	17,59718	29,32864	41,06009	52,79155	64,523	76,25446	85,93291
D ₉	0,027797	0,031512	0,032998	0,032256	0,029286	0,024087	0,018121
V ₁₀	21,59163	35,98606	50,38048	64,7749	79,16933	93,56375	105,4391
D ₁₀	0,022288	0,024664	0,024899	0,022992	0,018943	0,012752	0,006032

2.5 Расчет мощностного баланса

«По аналогии с уравнением силового баланса уравнение мощностного баланса можно записать в следующем виде:» [1]

$$N_T = N_d + N_b + N_{и} \quad (10)$$

«Решить это уравнение можно графически, для чего построим график мощностного баланса. На этот график нанесём зависимости на всех передачах, мощности двигателя (N_B) на высшей передаче, мощности заданного дорожного сопротивления (N_d) и суммарной мощности дорожного и воздушного сопротивления ($N_d + N_B$) от скорости движения автомобиля.

Тяговая мощность определяется по уравнению:» [1]

$$N_T = N_E \cdot \eta_{TP} \quad (11)$$

«График тяговой мощности строится на каждой передаче в зависимости от скорости движения, соответствующей частоте вращения, для которой определялась мощность по скоростной характеристике.» [10]

«Эффективная мощность двигателя (N_e) строится в зависимости от скорости только на высшей передаче.

Мощности дорожного сопротивления и сопротивления воздуха рассчитывают в зависимости от скорости автомобиля по уравнениям:» [1]

$$N_d = \frac{P_d \cdot V_a}{3600} = \frac{G_a \cdot \psi \cdot V_a}{3600}, \text{ кВт} \quad (12)$$

$$N_B = \frac{P_B \cdot V_a}{3600} = \frac{K \cdot F \cdot V_a^3}{46800}, \text{ кВт} \quad (13)$$

«Расчёт значений мощностного баланса на каждой из передач в зависимости от скорости выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведен в таблице 4 и таблице 5.» [2]

Выполненный расчет, в виде графиков зависимости мощностного баланса от скорости движения автомобиля, с разбивкой по передачам автомобилей, приводится на листе графической части дипломного проекта.

Таблица 4 – Расчёт значений мощностного баланса на каждой из передач

пе	N _T	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₆	V ₇	V ₈	V ₉	V ₁₀
600	24,24	2,25	2,758	4,367	5,349	7,039	8,626	11,5	14,08	17,6	21,59
1000	47,05	3,75	4,597	7,278	8,914	11,73	14,38	19,17	23,46	29,33	35,99
1400	71,67	5,251	6,436	10,19	12,48	16,42	20,13	26,84	32,85	41,06	50,38
1800	95,08	6,751	8,275	13,1	16,05	21,12	25,88	34,5	42,23	52,79	64,77
2200	114,3	8,251	10,11	16,01	19,61	25,81	31,63	42,17	51,62	64,52	79,17
2600	126,3	9,751	11,95	18,92	23,18	30,5	37,38	49,84	61	76,25	93,56
2930	128,6	10,99	13,47	21,32	26,12	34,37	42,12	56,17	68,75	85,93	105,4

Таблица 5 - Изменение мощности сопротивления от скорости.

V _a	15	30	45	60	75	90	105
N _в , кВт	0,281	2,25	7,594	18	35,16	60,75	96,47
N _д , кВт	14,76	30,5	48,21	68,88	93,48	123	158,5

2.6 Расчет ускорений транспортного средства

Произведем расчет ускорения транспортного средства на горизонтальном участке дороги:

$$j = \frac{D-\psi}{\delta} \cdot g, \text{ м/с}^2 \quad (14)$$

«где j – ускорение автомобиля;

ψ – коэффициент сопротивления дороги, соответствующий расчётной скорости движения автомобиля;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

δ – коэффициент учёта вращающихся масс, определяемый по уравнению:»

[2]

$$\delta = 1,03 + B \cdot U_K^2 \quad (15)$$

Для грузовых автомобилей значение $B = 0,04 - 0,05$.

«Расчёт значений ускорений на каждой из передач в зависимости от скорости выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведены в виде графиков на листах графической части дипломного проекта» [2]

Время разгона определяют, зная ускорение и скорость автомобиля.

При ускоренном движении автомобиля ускорение равно:

$$j = \frac{dV_a}{3,6 \cdot dt} \quad (16)$$

«Так как отсутствует аналитическая связь между ускорением j и скоростью V_a , то решение проводим графоаналитическим методом, пользуясь графиком ускорения автомобиля. Кривую ускорений разобьём на ряд интервалов и предположим, что в каждом интервале скоростей автомобиль разгоняется с постоянным средним ускорением (j_{cp}). Величину определим по формуле:

$$J_{cp} = \frac{j_1 + j_2}{2} \quad (17)$$

где j_1, j_2 – ускорения соответственно в начале и конце интервала скорости (V_1, V_2) .» [1]

В результате проведенного тягово-динамического расчета автомобиля КамАЗ-65225 были получены следующие выводы.

В результате проведенного расчета были определены основные динамические характеристики автомобиля, такие как максимальная скорость, время разгона до заданной скорости, усилие тяги на колесах, динамический запас тяги на различных передачах и режимах движения. Расчет выявил влияние различных факторов на тягово-динамические характеристики, включая массу автомобиля, аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению, крутящий момент двигателя, передаточные числа трансмиссии, а также

дорожные условия. Было установлено, как изменение каждого из этих параметров влияет на динамику разгона и максимальную скорость. Анализ результатов расчета позволил определить оптимальные режимы работы двигателя и трансмиссии для достижения максимальной эффективности движения в различных условиях эксплуатации (например, на ровной дороге, в гору, при буксировке груза). Полученные результаты расчета позволяют оценить соответствие тягово-динамических характеристик автомобиля КамАЗ-65225 заданным требованиям технического задания или нормативным документам.

Статистика дорожно-транспортных происшествий подтверждает критическую важность исправной тормозной системы. Около 15% смертельных ДТП напрямую связаны с неисправностью тормозов, что подчеркивает необходимость разработки и внедрения высокоэффективных и надежных систем торможения, таких как проектируемый ретардер. При его проектировании необходимо учесть все вышеперечисленные факторы, чтобы обеспечить максимальную безопасность и эффективность работы.

Результаты выполнения тягового расчета в виде графиков представлены в Приложении А и на листе графической части дипломного проекта.

3 Разработка первичного акваретардера (замедлитель) для автомобиля КАМАЗ-65225

3.1 Компоновка узлов автомобиля при установке ретардера

Проектируемый ретардер призван существенно улучшить тормозные характеристики автопоездов, особенно на протяженных спусках с уклоном до 12%, что соответствует стандартным европейским нормам для горных дорог. Такой уклон требует эффективной системы торможения, способной выдерживать значительные тепловые нагрузки и обеспечивать плавное, контролируемое замедление. Необходимо учесть, что на эффективность торможения автопоезда влияют не только характеристики самого ретардера, но и ряд других факторов, связанных с конструкцией и состоянием транспортного средства, а также условиями эксплуатации.

Компоновка автомобиля КамАЗ-65225 с гидравлическим ретардером, установленным в передней части двигателя на месте гидромуфты и привода вентилятора, предполагает ряд изменений в стандартной схеме. Опишем основные модификации. Удаление гидромуфты и привода вентилятора: Стандартный привод вентилятора системы охлаждения, включающий гидромуфту, демонтируется полностью. Это освобождает место для установки ретардера. Гидравлический ретардер крепится к блоку картера двигателя, занимая место, ранее занятое гидромуфтой. Для этого необходимы специальные монтажные кронштейны, обеспечивающие жесткое и надежное крепление ретардера. Важно обеспечить достаточное пространство для обслуживания и доступа к ретардеру.

Компоновка автомобиля при установке гидравлического ретардера в передней части двигателя, представлена на рисунке 9.

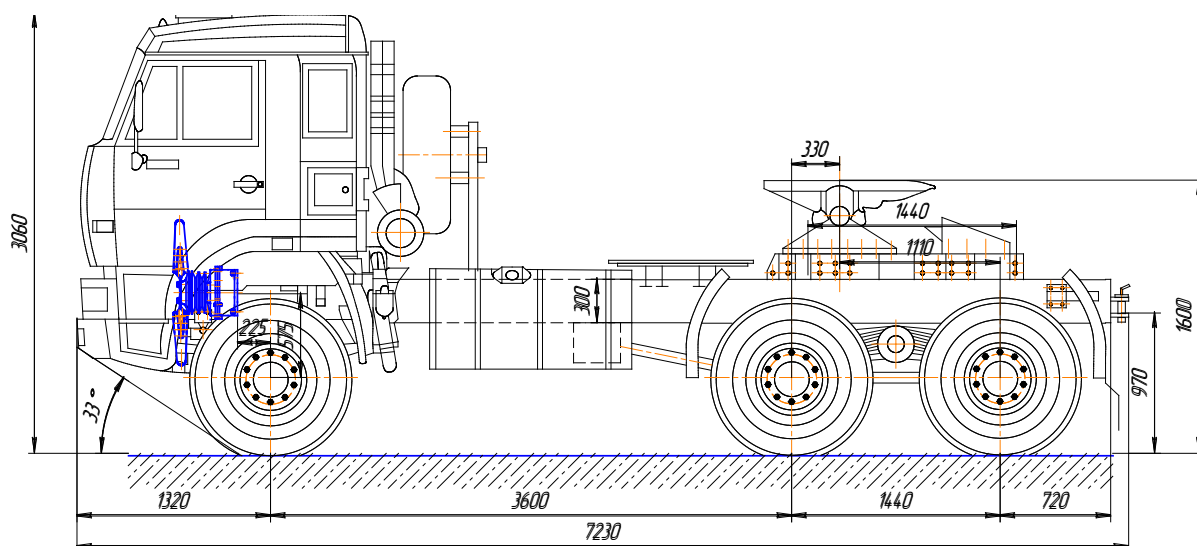


Рисунок 9 –КамАЗ-65225 (колесная формула 6х4) с установленным в передней части двигателя ретардером

Поскольку привод вентилятора удален, необходима модификация системы охлаждения. Возможны несколько вариантов решения данной проблемы.

- Установка электроприводного вентилятора. Это наиболее распространенный вариант. Электроприводной вентилятор устанавливается на радиатор и управляется электронным блоком управления (ЭБУ), который регулирует его скорость в зависимости от температуры охлаждающей жидкости.
- Изменение конструкции вентилятора. В некоторых случаях может быть использована конструкция с изменением расположения вентилятора, но это требует значительных доработок.

Нами принимается схема установки вентилятора на вал ретардера через вискомуфту, как наиболее простой в реализации вариант, подразумевающий минимальное вмешательство в конструкцию системы охлаждения.

В кабине водителя устанавливается дополнительный рычаг или кнопка управления ретардером. Система управления должна быть интегрирована в общую электронную систему автомобиля для обеспечения безопасности и предотвращения конфликтов с другими системами. Ретардер требует наличия отдельной гидравлической системы, включающей в себя:

- дополнительный бак для хранения рабочей жидкости;
- насос повышенной производительности для обеспечения циркуляции рабочей жидкости;
- система охлаждения увеличенной мощности, включающая радиатор для охлаждения жидкости, предотвращающий ее перегрев.

Возможно, потребуется внесение некоторых изменений в проводку автомобиля, для подключения электронного блока управления ретардером, датчиков и индикаторов. Вентилятор будет устанавливаться на радиаторе, независимо от работы ретардера. Система управления ретардером будет размещена в кабине водителя, позволяя водителю управлять интенсивностью торможения.

Важно отметить, что данная компоновка является лишь концептуальным описанием. Для реализации необходима разработка подробных чертежей, учитывающих все технические особенности автомобиля КамАЗ-65225 и выбранного типа гидравлического ретардера. Необходимо также провести испытания и подтвердить безопасность и эффективность работы модифицированного автомобиля.

«Нами предлагается установить акваретардер впереди двигателя. Такой ретардер чаще всего заполняется охлаждающей жидкостью из рубашки охлаждения двигателя и называется акваретардером.

В акваретардере вместо масла используется тосол. Плюс его в том, что тепло, которое выделяется при торможении уходит в систему охлаждения двигателя. Такой ретардер называется первичным. Он тоже имеет неподвижный статор и ротор, который гоняет воздух внутри, а для торможения в пустой объем поступает жидкость из системы охлаждения двигателя. Получается так: чем больше жидкости в зоне вращения, тем сильнее его замедление.

Преимущество акваретардера (первичного ретардера) так же налицо: тепло, выделяющееся при торможении, сразу, без всяких водомасляных теплообменников, уходит в систему охлаждения двигателя. Пока такая система

устанавливается только на грузовиках MAN, но не исключено, что ей заинтересуются и другие производители.» [7]

3.2 Разработка конструкции проектируемого акваретардера (замедлителя) для грузового автомобиля

Проектируемый акваретардер для грузового автомобиля, устанавливаемый в передней части двигателя на месте гидромфты и привода вентилятора, представляет собой герметичный блок, внутри которого размещены роторное и статорное колеса. Замедление осуществляется за счет увеличения вязкости жидкости внутри блока, закачиваемой из системы охлаждения двигателя.

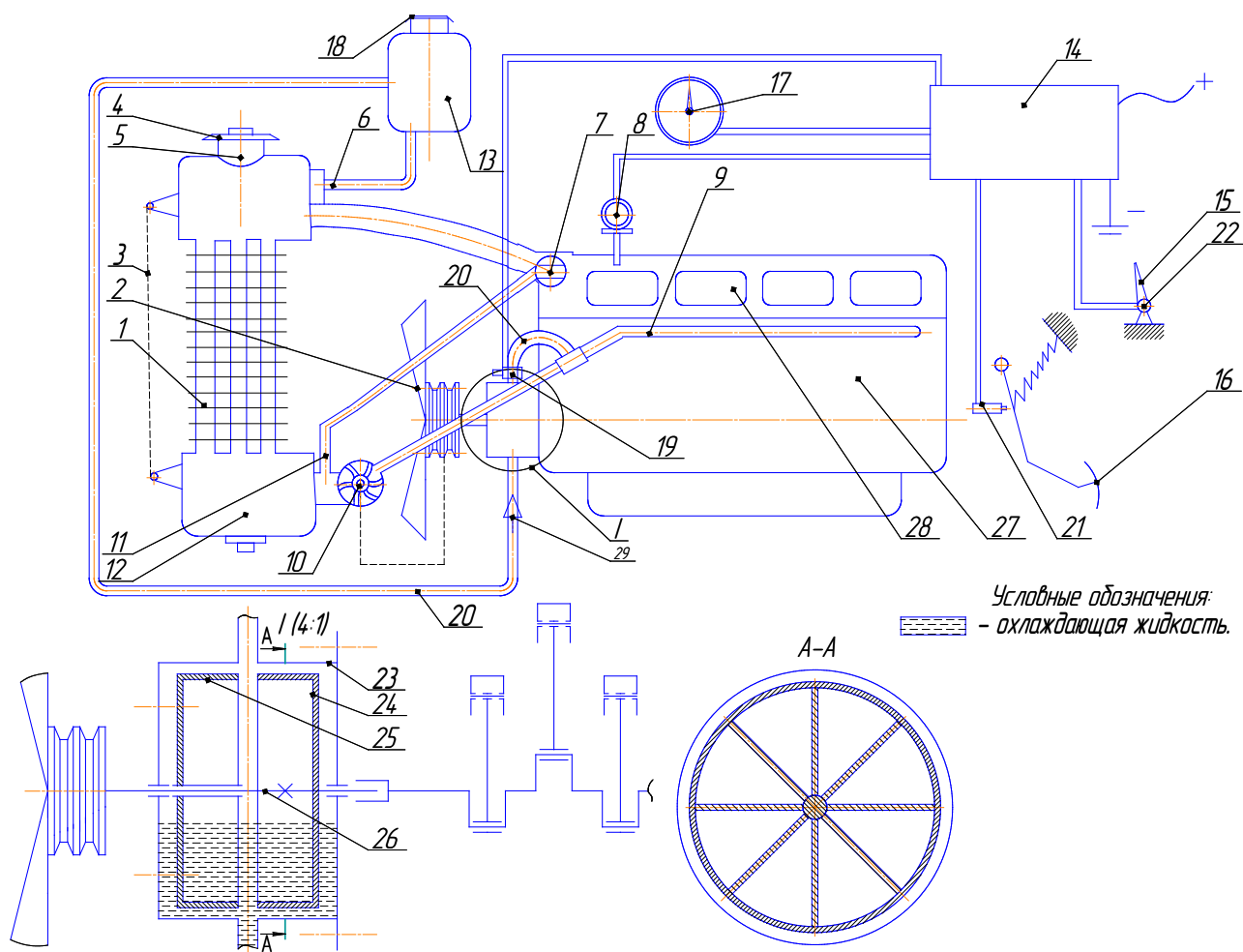
На рисунке 10 представлена схема разрабатываемой конструкции.

«Конструкция устанавливается в передней части двигателя и крепиться к блок-картеру вместо гидромфты и привода вентилятора.

При затяжном спуске водитель начинает нажимать на педаль тормоза 16 и отпускает педаль подачи топлива 15. Процесс работы осуществляется модулем управления 14. Он управляет клапаном 19. Клапан 19 подаёт охлаждающую жидкость в акваретардер.

Данная схема акваретардера работает следующим образом. При закачивании охлаждающей жидкости в акваретардер возникает сопротивление между лопастями ротора 4 и статора 5, тем самым создаётся тормозной момент на коленчатом валу двигателя 3.» [23]

Вместе с разработкой общей схемы акваретардера разработаем компоновку корпуса, в которой рассмотрим размещение роторного и статорного колеса, а также размещение вспомогательных узлов и механизмов на корпусе двигателя.



«1-сердцевина радиатора; 2-вентилятор; 3-шторка; 4-крышка горловины радиатора; 5- верхний бак радиатора; 6-пароотводящая трубка; 7-термостат; 8-термометр; 9-распределительный канал; 10-центробежный насос; 11-отводящая трубка; 12-нижний бак радиатора; 13-расширительный бачок; 14-блок управления; 15-педаль подачи топлива; 16- педаль тормоза; 17-спидометр; 18-паровоздушный клапан; 19-клапан; 20-патрубок; 21- датчик положения педали тормоза; 22-датчик положения педали подачи топлива; 23-корпус ретардера; 24-ротор ретардера; 25-статор ретардера; 26-вал ретардера; 27-блок-картер ДВС; 28-головка цилиндров; 29-обратный клапан» [16]

Рисунок 10 – Структурная схема проектируемой системы

Корпус ретардера изготавливается из высокопрочного алюминиевого сплава или стали, обеспечивающих достаточную жесткость и устойчивость к высоким температурам и давлению. Материал должен обладать хорошей теплопроводностью для эффективного отвода тепла. Форма корпуса должна иметь форму, оптимизированную для обеспечения минимального аэродинамического сопротивления и эффективного теплообмена. Принимаем для корпуса цилиндрическую форму с ребрами охлаждения. Корпус должен

быть полностью герметичным, чтобы предотвратить утечки охлаждающей жидкости и обеспечить стабильную работу. Для этого будут использоваться специальные уплотнительные кольца и прокладки. Корпус крепится к блоку картера двигателя с помощью специально разработанных кронштейнов, обеспечивающих надежное крепление и базирование относительно блока.

Роторное колесо ретардера изготавливается из высокопрочной стали или титанового сплава, обладающих высокой износостойкостью и прочностью. Для снижения веса могут использоваться композитные материалы. Оптимизированная форма лопаток для эффективного взаимодействия с охлаждающей жидкостью и создания максимального тормозного момента. Лопатки должны быть спроектированы с учетом минимизации вибраций и шума. Для обеспечения плавного вращения ротора будут использоваться высококачественные подшипники, рассчитанные на высокие нагрузки и температуры.

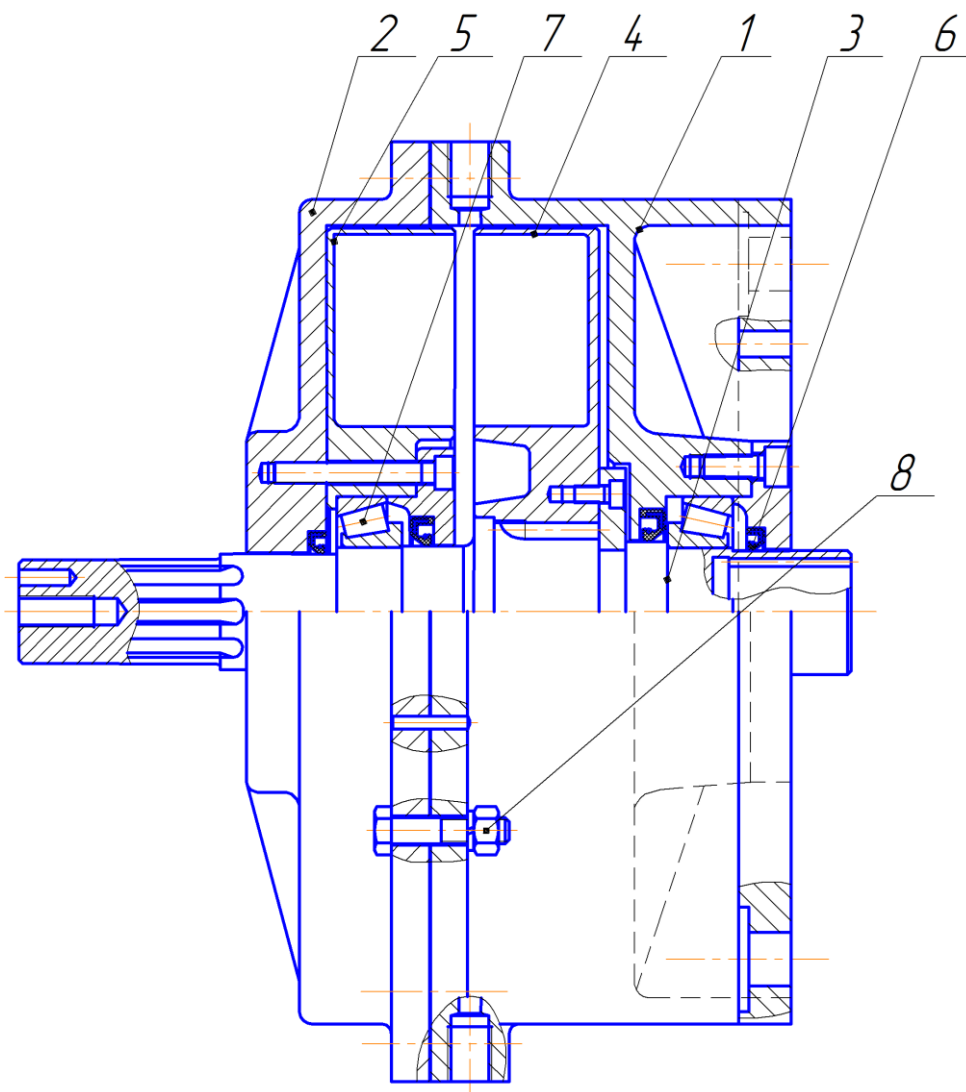
Статорное колесо ретардера изготавливается аналогично ротору, это высокопрочная сталь или композитный материал. Форма лопаток статора должна быть дополняющей форму лопаток ротора для обеспечения максимального тормозного момента.

В качестве циркуляционного насоса применяется небольшой, высоконапорный насос, обеспечивающий подачу охлаждающей жидкости в корпус акваретардера. Насос должен быть рассчитан на работу при высоких температурах и давлениях. Клапан регулировки потока позволяет изменять количество охлаждающей жидкости, поступающей в корпус, и, следовательно, регулировать интенсивность торможения. Это может быть, например, электромагнитный клапан, управляемый ЭБУ автомобиля. Датчики давления и температуры охлаждающей жидкости, необходимые для контроля работы системы и предотвращения перегрева. Корпус акваретардера должен иметь ребра охлаждения для эффективного отвода тепла.

ЭБУ обрабатывает сигналы от датчиков и управляет работой насоса и клапана регулировки потока, обеспечивая плавное и безопасное регулирование

интенсивности торможения. Рычаг или кнопки в кабине водителя для управления интенсивностью работы акваретардера.

Разрабатываемый акваретардер приведён на рисунке 11.



1 – корпус акваретардера; 2 – крышка акваретардера; 3 – вал; 4 – ротор; 5 – статор; 6 – манжеты; 7 – подшипники; 8 – болты стяжные

Рисунок 11 – Разрабатываемый акваретардер

Данная конструкция акваретардера представляет собой концептуальное описание. Для реализации необходима детальная разработка чертежей, моделирование, расчеты прочности, тепловых режимов и вибраций, а также испытания для подтверждения работоспособности и безопасности. Выбор

материалов, подшипников, насоса и других компонентов будет определяться результатами этих исследований.

3.3 Расчет технических параметров акваретардера и элементов его конструкции

«Расчет производим с принятой скоростью движения автопоезда на спуске $V = 20,0$ км/ч $= 5,56$ м/с, при его полной массе $m = 59,30$ т, диаметр колеса $d_k = 1000,0$ мм, передаточное число главной передачи $i = 3,73$ [5], передаточное число третьей передачи, на этой передаче осуществляем спуск $i = 6,0$.» [12]

Расчетная схема сил приводится на рисунке 12.

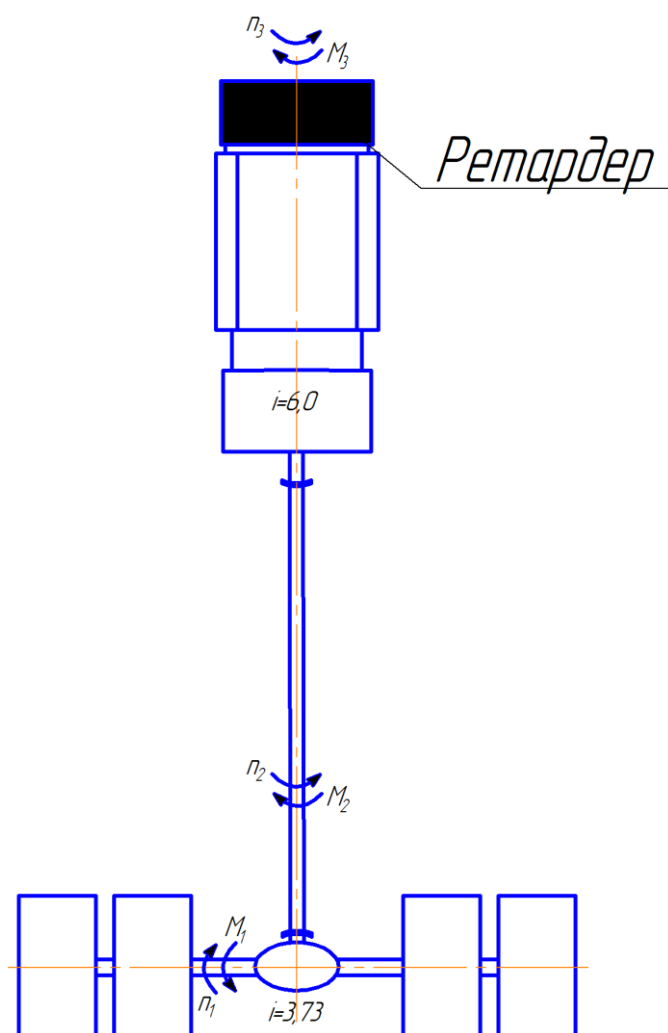


Рисунок 12 – Расчётная схема действия сил

Находим частоту вращения n_1 полуоси заднего моста:

$$V_1 = \frac{n_1 \cdot \pi \cdot d_k}{60 \cdot 1000}; \quad (18)$$

отсюда:

$$n_1 = \frac{V_1 \cdot 60 \cdot 1000}{\pi \cdot d_k}; \quad (19)$$

$$n_1 = \frac{5,56 \cdot 60 \cdot 1000}{3,14 \cdot 1000} = 106,24 \text{ мин}^{-1}.$$

Находим частоту вращения n_2 карданного вала:

$$i_{1,2} = \frac{n_2}{n_1}; \quad (20)$$

отсюда:

$$n_2 = n_1 \cdot i_{1,2}; \quad (21)$$

$$n_2 = 106,24 \cdot 3,73 = 396,28 \text{ мин}^{-1}.$$

«Находим крутящий момент M_1 действующий на ось заднего моста (оси всего сзади две, но для упрощения расчётов упрощаем условие), рисунок 13:

$$M_1 = F_K \cdot R_K; \quad (22)$$

$$F_K = G_K \cdot \sin \alpha; \quad (23)$$

где $\sin \alpha = 0,1$, в соответствии с СНиП 2.05.02-85. Максимально допустимые нормы уклонов горных дорог и серпантин (на задние оси автомобиля приходится $28300,0 \text{ кг} = 283000,0 \text{ Н}$);

$F_K = 283000,0 \cdot 0,10 = 28300,0 \text{ Н}$ – на заднюю ось (ось приняли условно одну)» [3]

$$M_I = 28300,0 \cdot 0,50 = 14150,0 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

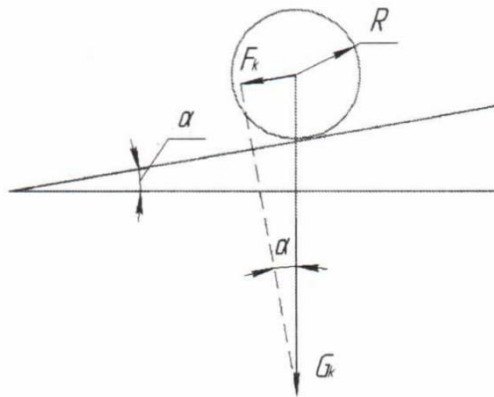


Рисунок 13 – Схема действия сил на ось заднего моста

«Находим крутящий момент M_2 , действующий на карданный вал:

$$M_2 = \frac{M_1}{i}; \quad (24)$$

$$M_2 = \frac{14150,0}{3,73} = 3793,57 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Находим диаметр подвижного и неподвижного колёс (ротора и статора)» [10]:

$$M_3 = \lambda_M \cdot \rho \cdot D^5 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_3}{30}\right)^2, \quad (25)$$

отсюда:

$$D = \sqrt[5]{\frac{M_3}{\lambda_M \cdot \rho \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_3}{30}\right)^2}}, \quad (26)$$

«где λ_M - безразмерная характеристика ретардера, показанная на рисунке 14;
 ρ - плотность жидкости, $\rho = 1000,0$ кг/м³;
 i – передаточное число.» [11]

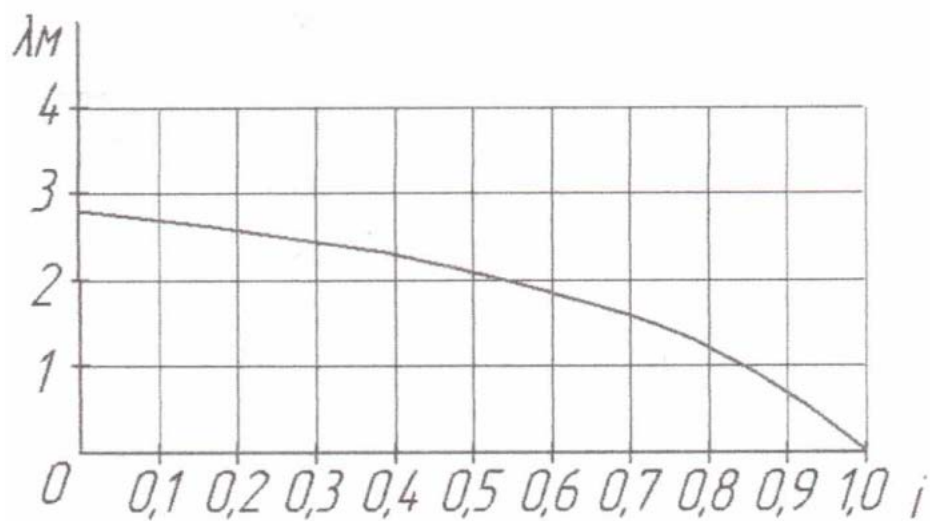


Рисунок 14 – Безразмерная характеристика гидравлического ретардера

$$M_3 = \frac{M_2}{i} = \frac{3793,57}{6,0} = 632,26 \text{ Н·м};$$

$$n_3 = n_2 \cdot i_{2,3} = 396,28 \cdot 6,0 = 2377,68 \text{ мин}^{-1}$$

Тогда:

$$D = \sqrt[5]{\frac{632,26 \cdot 10^3}{2,8 \cdot 1000,0 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 2377,68}{30}\right)^2}} = \sqrt[5]{2,646 \cdot 10^{-3}} = 0,30 \text{ м},$$

принимаем $D = 300,0$ мм.

«Рассчитываем мощность $N_{\text{торм}}$ в процессе торможения:

$$N_{\text{торм}} = M_3 \cdot \left(\frac{\pi \cdot n_3}{30}\right); \quad (27)$$

$$N_{\text{торм}} = 632,26 \cdot \left(\frac{3,14 \cdot 2377,68}{30}\right) = 157346,65 \text{ Вт} = 157,35 \text{ кВт}.$$

Находим дополнительную нагрузку на систему охлаждения двигателя:

$$N_{\text{ДвигПолн}} = \frac{N_{\text{Двиг}}}{\eta}, \quad (28)$$

где $N_{\text{Двиг}}$ – мощность двигателя автомобиля КамАЗ-65225, $N_{\text{Двиг}} = 265,0$ кВт;

η - эффективный коэффициент полезного действия двигателя автомобиля КамАЗ-65225, $\eta = 32,0 \dots 34,0\%$ [15];

$$N_{\text{ДвигПолн}} = \frac{265,0}{0,33} = 803,03 \text{ кВт}.$$

«Находим дополнительную нагрузку на систему охлаждения двигателя автомобиля в процентах:

$$\Delta N_O = \frac{N_{\text{Торм}}}{N_{\text{ДвигПолн}}} \cdot 100\%; \quad (29)$$

$$\Delta N_O = \frac{157,35}{803,03} \cdot 100\% = 19,59\%.$$

Дополнительная тепловая нагрузка на систему охлаждения тягача составляет 19,59%. Поэтому установки дополнительного радиатора для охлаждения гидравлического ретардера не требуется. В данном случае

несколько увеличили лопасти вентилятора и его частоту, так же вентилятор вращается принудительно и постоянно.» [17]

Рассчитаем турбинное колесо проектируемого ретардера.

«Материал лопаток - сплав АК9. Предел прочности $[\sigma]=157\text{МПа}$ [18]. Для запаса прочности внешнее ободное кольцо и заднюю стенку подвижного турбинного колеса не берем во внимание.

На лопатки турбинного колеса действует центробежная сила $F_{ц}$ и сила от давления масла q , распределенная по поверхности лопатки (рисунок 15).» [17]

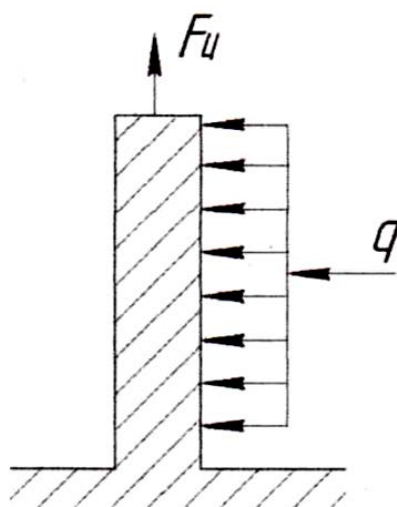


Рисунок 15 – Схема действия сил на лопатку турбинного колеса

Заменяем распределенную силу q на сосредоточенную F_M , приложенную в центре лопатки турбинного колеса (рисунок 16).

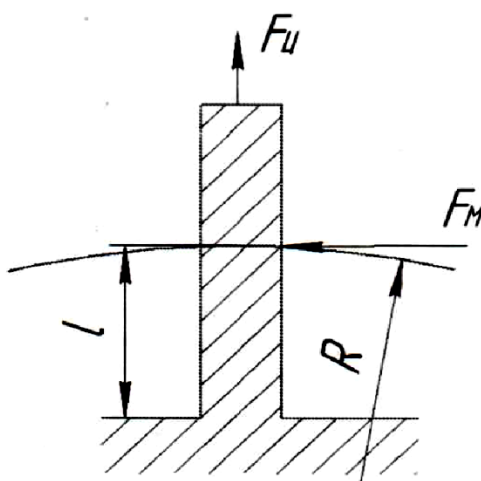


Рисунок 16 – Упрощённая схема действия сил на лопатку турбинного колеса

$$F_{ц} = \frac{m \cdot \vartheta^2}{R}; \quad (30)$$

«где $F_{ц}$ - центробежная сила, Н;

m - вес лопатки, кг, $m = 0,05$ кг;

ϑ - скорость вращения турбинного колеса, м/с;

R - расстояние от оси вращения до точки приложения силы, $R = 110,0$ мм.» [6]

$$\vartheta = \frac{\pi \cdot D \cdot n_3}{60}; \quad (31)$$

«где $D=2 \cdot R$;

n_3 – частота вращения турбинного колеса, мин⁻¹;» [6]

$$\vartheta = \frac{3,14 \cdot 0,22 \cdot 2377,68}{60} = 27,38 \text{ м/с};$$

$$F_{ц} = \frac{0,05 \cdot 27,38^2}{0,11} = 340,76 \text{ Н}.$$

«Находим сосредоточенную силу F_M , приложенную к центру лопатки:

$$F_M = \frac{M_3}{R \cdot Z}; \quad (32)$$

где M_3 – крутящий момент, Н·м;

Z – число лопаток турбинного колеса, $Z = 30$;» [12]

$$F_M = \frac{632,26}{0,11 \cdot 30} = 191,59 \text{ Н}$$

«Находим изгибающий момент M_u :

$$M_u = F_M \cdot l; \quad (33)$$

где l - расстояние от поверхности крепления лопатки турбинного колеса

до точки приложения силы F_M ; $l = 0,037$ м

$$M_u = 191,59 \cdot 0,037 = 7,09 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Строим эпюры силы и изгибающего момента (рисунок 17).» [12]

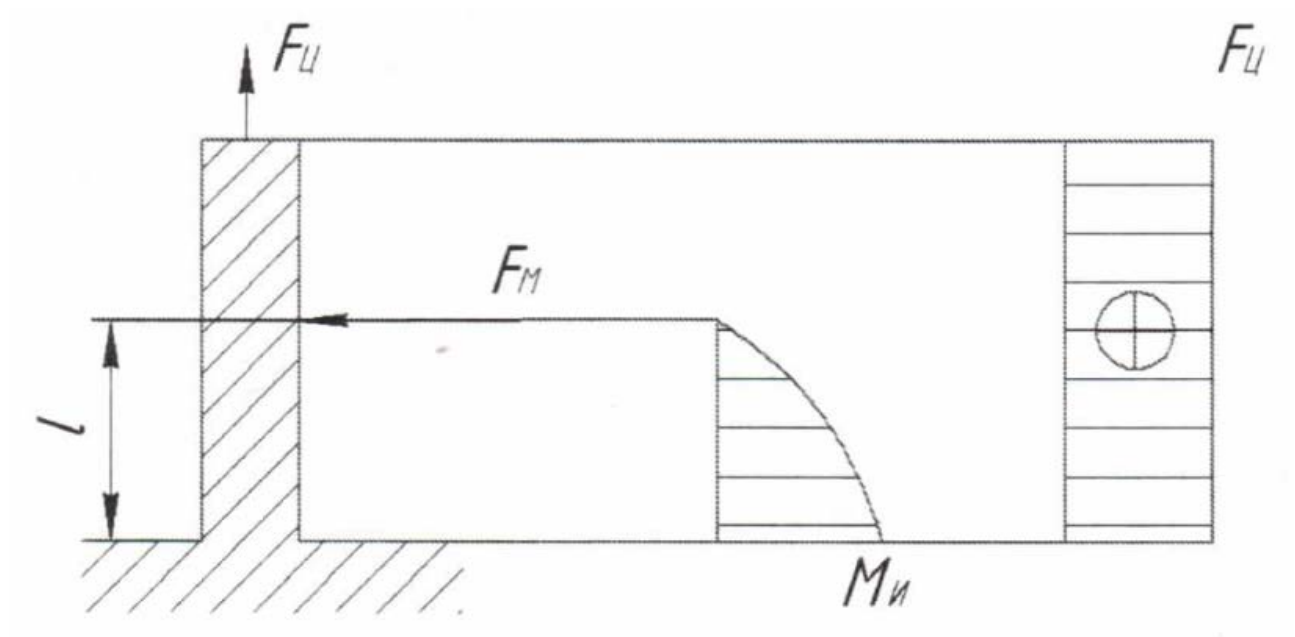


Рисунок 17 – Эпюры момента и центробежной силы

«Находим предел прочности лопатки турбинного колеса:

$$\sigma = \frac{F_u}{A} + \frac{M_u}{W_x}; \quad (34)$$

где A - площадь сечения лопатки (рисунок 2.10);

W_x - осевой момент сопротивления, $W_x = \frac{b \cdot t^2}{6}$ (рисунок 18)» [12]

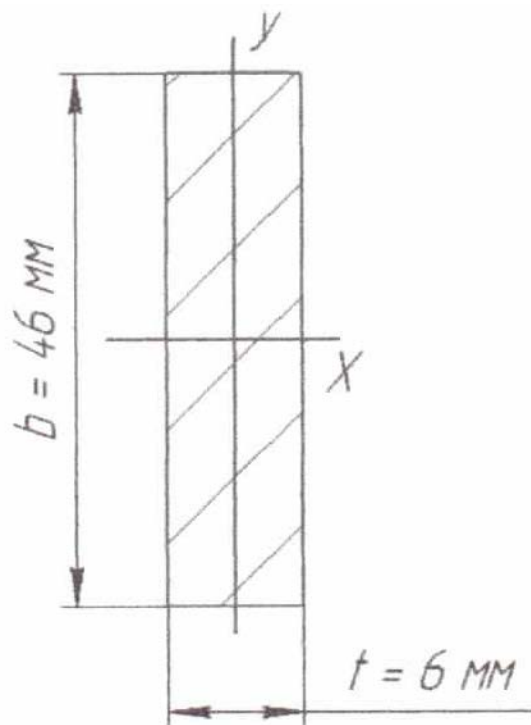


Рисунок 18 – Сечение лопатки турбинного колеса и его размеры

$$A = 0,046 \cdot 0,006 = 2,76 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$W_x = \frac{0,046 \cdot 0,006^2}{6} = 2,76 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2;$$

$$\sigma = \frac{340,76}{2,76 \cdot 10^{-4}} + \frac{7,09}{2,76 \cdot 10^{-7}} = 26,92 \text{ МПа.}$$

«Сравниваем допускаемый предел прочности лопатки турбинного колеса с расчетным пределом прочности:

$$[\sigma] \geq \sigma; \quad (35)$$

$$[157,0 \text{ МПа}] \geq 26,92 \text{ МПа} - \text{условие прочности выполняется.}$$

При подаче жидкости в акваретардер между вращающимся турбинным колесом и статором образуется завихрение жидкости, которое создаёт тормозной момент и осевую силу, стремящуюся раздвинуть турбинные колеса друг от

друга. Вследствие завихрения жидкости осевая сила на одном турбинном колесе компенсируется осевой силой на втором, из этого следует, что осевая сила, стремящаяся сдвинуть вал настолько мала, что её не учитываем. Поэтому вал на растяжение рассчитывать не будем.» [12]

«Выполним расчёт вала на сопротивление кручению:

$$\tau = \frac{M_{ТОРМ}}{W_P} \leq [\tau], \quad (36)$$

где $M_{ТОРМ} = M_3$ - тормозной момент на валу 3 (рисунок 17);

W_P - полярный момент, m^3 ;

$$W_P = 0,2 \cdot d^3, \quad (37)$$

где d - диаметр наименьшей ступени вала, $d = 0,048$ м;

$$W_P = 0,2 \cdot 0,048^3 = 2,21 \cdot 10^{-5} m^3$$

$$\tau = \frac{632,26}{2,21 \cdot 10^{-5}} = 28,61 \text{ МПа}$$

Рассчитываем допустимые касательные напряжения:

$$[\tau] = \frac{\tau_{-1}}{K_\tau \cdot S}, \quad (38)$$

где $\tau_{-1} = 0,28 \cdot \sigma_B$, $\sigma_B = 980,0$ МПа, для стали 40Х» [16];

$$\tau_{-1} = 0,28 \cdot 980 = 274,40 \text{ МПа};$$

$$K_\tau = 1,58;$$

$$S = 1,50;$$

$$[\tau] = \frac{274,4}{1,58 \cdot 1,5} = 115,78 \text{ МПа.}$$

«Сравниваем допустимые касательные напряжения с расчетными:

$$[\tau] \geq \tau; \quad (39)$$

$[115,78 \text{ МПа}] > 28,61 \text{ МПа}$ - условие прочности выполняется.

Предполагается, что напряжения располагаются равномерно по длине и высоте зуба, поэтому расчет на смятие шлицевого соединения, на которое устанавливается подвижное турбинное колесо, производится упрощенно.» [13]

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot M_3}{d_{CP} \cdot z \cdot h \cdot l \cdot K_3} \leq [\sigma]_{CM}, \quad (40)$$

«где d_{CP} - средний диаметр, м;

$$d_{CP} = h \cdot z, \quad (41)$$

h - высота зуба шлица, м;

z - число зубьев;

l - рабочая длина зуба, м;

K_3 - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями, $K_3 = 0,7 \dots 0,8$ [13];

$[\sigma]_{CM}$ - допускаемое напряжение на смятие, МПа;» [13]

«Все геометрические параметры берем с чертежа вала.

$$d_{CP} = 0,005 \cdot 8 = 0,040 \text{ м.}$$

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot 632,26}{0,040 \cdot 8 \cdot 0,005 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 24,70 \text{ МПа.}$$

Допускаемое напряжение на смятие выбираем по таблице» [12]:

$$[\sigma]_{CM} = 100...140 \text{ МПа.}$$

Сравниваем расчетное напряжение на смятие и допускаемое:

$$[\sigma]_{CM} \geq \sigma_{CM}; \quad (42)$$

$$[140,0 \text{ МПа}] > 24,70 \text{ МПа} - \text{условие выполняется.}$$

«Предполагаем, что напряжения располагаются равномерно по длине и высоте зуба, поэтому расчет на смятие внутреннего шлицевого соединения, в которое заводится выходной вал из коробки переключения передач, производим упрощенно.

$$\sigma_{CM} = \frac{2 \cdot M_{MAX}}{d_{CP} \cdot z \cdot h \cdot l \cdot K_3} \leq [\sigma]_{CM}, \quad (43)$$

где d_{CP} - средний диаметр, м;

$$d_{CP} = h \cdot z, \quad (44)$$

h - высота зуба шлица, м;

z - число зубьев;

l - рабочая длина зуба, м;

K_3 - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки между зубьями, $K_3 = 0,7...0,8$;

$[\sigma]_{CM}$ - допускаемое напряжение на смятие, МПа» [13];

Все геометрические параметры берем с чертежа вала.

$$d_{CP} = 0,003 \cdot 8 = 0,024 \text{ м.}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 632,26}{0,024 \cdot 8 \cdot 0,003 \cdot 0,046 \cdot 0,8} = 59,66 \text{ МПа.}$$

«Допускаемое напряжение на смятие выбираем по таблице [13]: $[\sigma]_{CM} = 100...140 \text{ МПа}$;

Сравниваем расчетное напряжение на смятие и допускаемое:

$$[\sigma]_{CM} \geq \sigma_{CM}; \quad (45)$$

$[140,0 \text{ МПа}] > 59,66 \text{ МПа}$ - условие выполняется.» [13]

В результате выполнения раздела дипломного проекта, посвященного расчету конструкции гидравлического ретардера, были получены следующие выводы.

Разработана оптимальная компоновочная схема системы торможения с учетом установки гидравлического ретардера: Проведенный анализ существующих схем позволил разработать компоновку, обеспечивающую эффективное взаимодействие ретардера с другими элементами трансмиссии и системы охлаждения. Выбор места установки ретардера (в данном случае на месте гидромufты) обоснован с точки зрения минимизации габаритных размеров и обеспечения удобства обслуживания.

Разработана конструкция гидравлического ретардера, отвечающая заданным техническим требованиям: конструкция ретардера, включающая в себя корпус, ротор, статор, систему подшипников, систему охлаждения и систему управления, спроектирована с учетом требований к прочности, надежности, эффективности торможения и ресурсу работы. Выбор материалов и расчеты прочности отдельных элементов подтверждают работоспособность конструкции в заданных условиях эксплуатации.

Проведены расчеты прочности и жесткости основных деталей конструкции ретардера. Методом конечных элементов (МКЭ) или другими

соответствующими методами проведены расчеты, подтверждающие достаточный запас прочности и жесткости корпуса, ротора, статора и других деталей ретардера при максимальных расчетных нагрузках. Результаты расчетов позволили оптимизировать конструкцию и минимизировать вес при сохранении необходимых прочностных характеристик.

Рассчитаны оптимальные параметры гидравлической системы, обеспечивающие эффективное торможение и предотвращение перегрева рабочей жидкости. Выбор типа и параметров насоса, системы охлаждения масла, а также системы регулирования потока жидкости обоснованы с точки зрения обеспечения требуемых характеристик ретардера.

Разработана система управления ретардером, обеспечивающая удобство эксплуатации. Предложен вариант системы управления, обеспечивающий плавное и безопасное регулирование интенсивности торможения. Проектирование системы управления учитывает требования к эргономике и безопасности, а также совместимость с существующими системами управления автомобиля.

В заключение выявлены перспективы дальнейшего совершенствования конструкции ретардера, например, оптимизация формы лопаток ротора и статора для повышения эффективности, исследование применения новых материалов для снижения веса и повышения износостойкости, а также разработка более совершенных систем управления.

В целом, выполненные расчеты и разработанная конструкция гидравлического ретардера демонстрируют возможность создания эффективного и надежного устройства, повышающего безопасность и эффективность торможения грузовых автомобилей. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших исследований и разработки серийного образца.

4 Разработка операционно-технологической карты на сборку первичного акваретардера

Данный раздел дипломного проекта посвящен разработке технологической карты сборки акваретардера – нового типа замедлителя для грузовых автомобилей, функционирующего на основе создания гидродинамического сопротивления рабочей жидкости. Разработка технологической карты является необходимым этапом для организации эффективного и качественного производства акваретардера. В ней будут подробно описаны все технологические операции, начиная от подготовки компонентов и заканчивая контролем качества готового изделия.

В процессе разработки технологической карты особое внимание уделено обеспечению высокого качества сборки, минимизации трудозатрат и исключению брака. Для этого проведен анализ существующих технологий сборки подобных устройств, а также учтены специфические особенности конструкции акваретардера.

Технологическая карта включает в себя перечень необходимых технологических операций, описание используемого оборудования и инструмента, нормативы времени на выполнение каждой операции, а также требования к качеству сборки и контролю. К основным технологическим операциям относятся:

- предварительный контроль качества поступающих деталей и узлов акваретардера, их очистка и подготовка к сборке;
- монтаж и фиксация роторного и статорного колес с обеспечением необходимых зазоров и соосности;
- монтаж подшипников качения и уплотнительных элементов для обеспечения герметичности и снижения трения;
- сборка и герметизация корпуса акваретардера с последующим контролем на герметичность;
- установка насоса, клапана регулировки потока и датчиков;

- проверка геометрических размеров, герметичности и работоспособности собранного акваретардера.

В технологической карте будут указаны все необходимые инструменты и оборудование, включая сборочные стенды, специализированный инструмент, измерительные приборы и контрольно-измерительную аппаратуру. Подробное описание технологических операций, с указанием последовательности выполнения и необходимых параметров, обеспечит высокую воспроизводимость процесса сборки и гарантирует получение качественного изделия.

Технологическая карта на проведение сборочных работ представлена в таблице 6.

Таблица 6 – Технологический процесс проведения сборочных работ

Наименование и содержание работ	Количество точек воздействия	Трудоемкость, чел-час	Приборы, инструмент, приспособления	Технические требования
Установить корпус в сборочный кондуктор	4	0,08	ключ на 19, ключ на 22	-
Установить сальник в корпус	1	0,08	оправка, молоток	Сальник должен быть установлен без перекосов и замятий
Установить подшипник в корпус	1	0,1	оправка, молоток	Подшипник должен быть установлен без перекосов
Установить сальник в крышку	1	0,1	оправка, молоток	Сальник должен быть установлен без перекосов и замятий
Установить крышку в корпус	1	0,05	вручную	Крышка должен быть установлен без перекосов
Ввернуть крепежные винты крышки	6	0,06	имбусный ключ 6	Протянуть винты моментом 6 Н·м
Установить ротор на вал	1	0,08	вручную	Ротор должен быть установлен без перекосов
Установить полукольца на вал	2	0,1	вручную	-
Ввернуть крепежные винты полуколец	6	0,06	имбусный ключ 6	Протянуть винты моментом 8 Н·м

Продолжение таблицы 6

Установить вал в корпус	1	0,02	оправка, молоток	Не допускается перекос и замятия
Установить сальник в крышку	1	0,1	оправка, молоток	Сальник должен быть установлен без перекосов и замятий
Установить подшипник в статор	1	0,1	оправка, молоток	Подшипник должен быть установлен без перекосов
Установить сальник в крышку	1	0,1	оправка, молоток	Сальник должен быть установлен без перекосов и замятий
Установить штифты в крышку	2	0,05	оправка, молоток	Штифты должны быть установлены без перекосов и замятий
Установить статор в крышку	1	0,15	оправка, молоток	Статор должен быть установлен без перекосов и замятий
Установить крышку в статор	1	0,05	вручную	Крышка должен быть установлен без перекосов
Ввернуть крепежные винты крышки	6	0,06	имбусный ключ 6	Протянуть винты моментом 6 Н·м
Установить прокладку в корпус	1	0,01	вручную	Не допускаются надрывы и замятия прокладки
Установить штифты в корпус	2	0,05	оправка, молоток	Штифты должны быть установлены без перекосов и замятий
Установить крышку на корпус	1	0,05	вручную	Крышка должен быть установлен без перекосов
Ввернуть крепежные винты крышки	14	0,12	Ключ 14	Протянуть моментом 8 Н·м

В результате проведенной работы по разработке технологической карты сборки акваретардера был получен подробный документ, регламентирующий все этапы сборочного процесса. Технологическая карта содержит детальное описание каждой операции, включая последовательность действий,

используемые инструменты, оборудование и нормативы времени. Она разработана с учетом специфики конструкции акваретардера и направлена на обеспечение высокого качества сборки, минимизацию трудозатрат и исключение брака.

Разработанная технологическая карта обеспечивает:

- выполнено детальное описание операций и контроль на каждом этапе гарантируют соответствие собранного акваретардера заданным техническим требованиям;
- оптимизирована последовательность операций и нормативы времени способствуют повышению производительности труда и сокращению времени сборки;
- даны четкие инструкции и требования к качеству обеспечивают повторяемость процесса сборки и получение изделий с одинаковыми характеристиками;
- дано подробное описание технологического процесса облегчает обучение персонала и снижает риск ошибок.

Разработанная технологическая карта может быть использована в качестве руководства для организации серийного производства акваретардера, обеспечивая выпуск качественных и надежных изделий. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию отдельных операций, автоматизацию процесса сборки и внедрение новых технологий для повышения эффективности производства.

5 Безопасность объекта дипломного проектирования. Безопасность участка сборки

5.1 Краткая техническая характеристика объекта дипломного проектирования

В дипломном проекте рассматривается вопрос проектирования узла транспортного средства. Для запуска разрабатываемого изделия в производство требуется проведение сборочных работ установочной партии. В условиях среднесерийного производства подобные работы производятся на участках механической сборки опытно-промышленного производства (ОПП). Результатом является доведение технологичности конструкции и разработка технологии сборки в привязке к реальной оснастке сборочного производства. В данном разделе дипломного проекта нами рассматривается комплекс вопросов обеспечения производственной и экологической безопасности участка сборки, на котором производится сборка установочного изделия, разрабатываемого в рамках дипломного проекта.

Рассмотрим особенности разрабатываемой конструкции. Изделие представляет собой сложный технический объект, доработанный и модернизированный в рамках дипломного проекта. Изделие выполнено преимущественно из стали конструкционной, обрабатываемой и свариваемой на оборудовании, не требующем применения специальных материалов и сред. В конструкции изделия применяются комбинированные материалы и их сочетания, например металл-полимер и композитные материалы, механическая обработка которых требует применения средств индивидуальной защиты (СИЗ).

«В рамках раздела нами исследуется сборочный участок, на котором осуществляется технологический процесс сборки узлов транспортного средства. Сборочный участок является основным местом осуществления технологической операции сборки и относится к мелкосерийному производству. В первую очередь это означает, что данный участок, являясь частью опытно-

промышленного производства, не ориентирован на специализированные работы, а занят в широком спектре выполняемых производственных функций. Оборудование, которое находится на участке – универсальное. Оборудование группируется по своему функционалу – сварочное, металлорежущее, шлифовальное и т.п.

Зоны выполнения работ, связанных с избыточным тепловыделением, выделением продуктов горения или ультрафиолетового излучения, таких как сварка на стапеле, зона термической обработки металла отделяются от основного помещения защитными экранами и оснащаются вытяжкой. Те же ограждения применяются для групп оборудования, чья работа связана с повышенным шумом, например абразивно-режущие станки.

Половое покрытие на всем участке выполнено из каучуковой плитки. Термические зоны имеют половое покрытие из наливного термостойкого полимера.» [19]

В таблице 7 приведены общие характеристики участка механической сборки ОПП.

Таблица 7 – Общие технические характеристики участка

Наименование технической характеристики участка	Значение характеристики
Класс функциональной пожарной опасности	Ф1.3
Степень огнестойкости	I
Класс конструктивной пожарной опасности	C0
Степень долговечности здания	II
Уровень ответственности здания	II
Электроснабжение участка	трехфазная, 400В
Выделенная мощность, кВА	40

В таблице 8 приводится перечень технологических операций, осуществляемых на исследуемом участке.

Таблица 8 – Осуществляемые на участке технологические процессы и операции

Наименование технологического процесса	Наименование технологической операции и, вида выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, устройство, приспособление	Материал, вещества
Заготовительные операции	Резка металла, раскрой профтрубы	Слесарь 5-го разряда	Ленточная пила ПЛ-3500, торцевая абразивная пила PRN-320	Сталь конструкционная в ассортименте
Операции механической обработки	Опиловка торцев, токарные работы, фрезерные работы, шлифовка	Слесарь 6-го разряда	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300	Сталь конструкционная в ассортименте
Сварочная операция	Сварка труб каркаса	Сварщик 6-го разряда	Аргондуговой сварочный инвертор Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	Сталь конструкционная в ассортименте
Сборочная операция	Сборка	Слесарь-механик 6-го разряда	Пост сборки узлов и агрегатов	-
Подготовка к окраске	Шпатлевка, зачистка, шлифовка	Маляр 6-го разряда	Шлифовальная машина, круги шлифовальные различной зернистости	Круги войлочные, пасты шлифовальные и полировочные
Окраска изделия	Нанесение лакокрасочного покрытия	Маляр 6-го разряда	Краскопульт безвоздушного распыления Graco	Нитроэмаль быстросохнущая

Далее определяем перечень опасных факторов, вызываемых производимыми работами.

5.2 Профессиональные риски объекта дипломного проектирования

Идентификация профессиональных рисков на участке механической сборки включает в себя систематический анализ всех потенциальных опасностей, которые могут привести к травмам, заболеваниям или другим негативным последствиям для здоровья работников. Этот процесс должен учитывать специфику выполняемых работ, используемое оборудование, материалы и рабочую среду.

Проведение регулярной идентификации профессиональных рисков является важнейшим элементом системы управления охраной труда и позволяет создать безопасные условия труда для работников и предотвратить несчастные случаи и профессиональные заболевания.

В таблице 9 приведены профессиональные риски для участка механической сборки.

Таблица 9 – Профессиональные риски для участка механической сборки

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и вредный производственный фактор	Источник опасного и вредного производственного фактора
Механическая обработка деталей и изделий из металла	Повышенный уровень шума,	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300
	Карборундовая пыль	Материал шлифовальных камней и дисков
	Возгорание пыли при обработке деталей и изделий	Искры

Продолжение таблицы 9

	Статическая нагрузка	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROМ FVV-210 38301300
	Шум	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROМ FVV-210 38301300
	Ультразвук	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROМ FVV-210 38301300
	Вибрации	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROМ FVV-210 38301300
Сварка	Интенсивное ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Сварочный аппарат
	Искры, брызги расплавленного металла	Материал детали
	Электромагнитные поля	Сварочный аппарат
	Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества	Материал детали
	Шум	Сварочный аппарат
	Ультразвук	Сварочный аппарат
	Статическая нагрузка	Сварочный аппарат
Подготовка к окраске и окраска	Испарение токсичных веществ	Нитроэмаль быстросохнущая
	Статическая нагрузка	Краскопульт безвоздушного распыления Graco

Результатом идентификации профессиональных рисков является формирование методов для снижения или нейтрализации негативного воздействия на рабочих.

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Снижение профессиональных рисков на участке механической сборки – это комплекс мер, направленных на минимизацию вероятности возникновения опасных ситуаций и уменьшение тяжести последствий в случае их возникновения. Выбор методов и средств зависит от конкретных выявленных рисков.

В качестве методов снижения профессиональных рисков можно определить следующие основные категории:

- «Инженерно-технические методы и средства, к которым относятся автоматизация процессов с заменой ручного труда на механизированный и автоматизированный, выбор инструмента, минимизирующего физическую нагрузку на работника, оптимизация последовательности операций, использование более безопасных методов сборки, внедрение технологий, уменьшающих выделение вредных веществ и т.д.» [18]
- Организационные методы и средства, к которым относятся разработка инструкций по охране труда, обучение и инструктаж работников, контроль за соблюдением правил охраны труда, регулярное техническое обслуживание и ремонт оборудования, проверка систем безопасности, оценка рисков при внедрении новых технологий, оборудования или изменении технологических процессов и т.д.;
- Средства индивидуальной защиты (СИЗ), к которым относятся респираторы, маски для защиты от пыли, газов и паров, защита органов зрения, защита органов слуха, защита рук, защита ног и т.д.;
- Медико-профилактические мероприятия, к которым относятся предварительные и периодические медицинские осмотры.

Методы снижения выявленных профессиональных рисков представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

Опасный и вредный производственный фактор	Методы и средства защиты, снижения, устранения опасного и вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Использования специальной одежды. Применение средств коллективной защиты (нанесение предупреждающих надписей, информационных табличек, меток и т.д.)	Сварочная маска, сварочные перчатки
Искры, брызги расплавленного металла	Использования специальной одежды. Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания.	Спецовка, защитные очки, защитные перчатки, специальные ботинки.
Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества. Мелкодисперсная пыль. Наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ	Проветривание помещения. Применение средств индивидуальной защиты.	Респиратор, фильтрующая маска.
Шум	Уменьшение акустики помещения за счёт специальных материалов, наложенных на стены или крупные металлические предметы.	Беруши
Ультразвук	Использование изолирующих корпусов и экранов. Недопущение длительного воздействия. Обеспечение технических перерывов в работе	Противошумы. Резиновые и хлопчато-бумажные перчатки надеты совместно.

Важно помнить, что снижение профессиональных рисков – это непрерывный процесс, требующий постоянного внимания и совершенствования.

Необходимо регулярно проводить оценку рисков, контролировать эффективность применяемых мер и корректировать их при необходимости.

5.4 Обеспечение пожарной безопасности участка сборки

Обеспечение пожарной безопасности на участке сборки — это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение возникновения пожара и обеспечение безопасности людей и имущества в случае его возникновения.

«В таблице 11 приведена идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара, с разработкой технических средств.» [19]

Таблица 11 – Идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара

Наименование участка	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
Сборочный участок	Инверторный аппарат дуговой сварки MMA-200S	A – твёрдые материалы.	Дым, искра, открытый огонь, интенсивное тепловое излучение.	Низкая влажность, наличие рядом с источником возгорания хлопчатобумажных изделий, древесины, и др. горючих материалов
	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115	A – твёрдые материалы.	Дым, искра, открытый огонь, интенсивное тепловое излучение.	Низкая влажность, наличие рядом с источником возгорания хлопчатобумажных изделий, древесины, и др. горючих материалов
	Краскопульт безвоздушного распыления Graco	B – горение жидкостей	Натуральные и синтетические масла, лакокрасочные изделия.	Пары легковоспламеняющихся жидкостей, которые взрываются при смешении с воздухом

«В таблице 12 приведена первичные и мобильные средства пожаротушения, средства пожарной автоматики и индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре, пожарное оборудование и инструмент.» [19]

Таблица 12 – Средства пожаротушения и противопожарное оборудование

Средства пожаротушения	Противопожарное оборудование
Первичные средства пожаротушения	Огнетушитель, бочка с водой, ткань асбестовая, ящики с песком
Мобильные средства пожаротушения	Пожарный автомобиль
Установки пожаротушения	Автоматические установки пожаротушения
Средства пожарной автоматики	приборы приемно-контрольные пожарные приборы управления пожарные технические средства оповещения и управления эвакуацией пожарные системы передачи извещений о пожаре
Пожарное оборудование	Модуль порошкового пожаротушения
Средства индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре	средства защиты органов дыхания (респираторы, противогазы, самоспасатели изготовленные из подручных средств, противопыльные тканевые маски и марлевые повязки), средства защиты кожного покрова (защитные костюмы, резиновые сапоги и др.)
Пожарный инструмент (механизированный и не механизированный)	Немеханизированный: пожарная багра, топор, лом. Механизированный: гидронасос, силовой режущий узел.
Пожарная сигнализация, связь и оповещение	Система оповещения о пожаре, сигнализация

«В соответствии с видами выполняемых заготовительных, обрабатывающих и сборочных работ в здании и с учетом типа и особенностей реализуемых технологических процессов, в таблице 13 указаны эффективные организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара.» [19]

Таблица 13 – Организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара

Наименование технологического процесса, вид объекта	Наименование видов работ	Требования по обеспечению пожарной безопасности
Сваривание металлических труб	Сварка	Отсутствие рядом с электродами сварки легковоспламеняющихся жидкостей, газов и тканей.
Шлифование сварных соединений	Шлифовка	Отсутствие рядом с работающей шлифовальной машиной легковоспламеняющихся жидкостей, газов и тканей.
Нанесение защитного слоя на металлическую раму	Окраска	Отсутствие рядом открытого огня.

«Организационные мероприятия для участка механической сборки включают следующие мероприятия:

- назначение ответственных лиц за пожарную безопасность;
- разработка инструкций по пожарной безопасности;
- проведение противопожарных тренировок;
- сотрудничество с пожарной охраной.» [18]

Примеры таких мероприятий будет являться:

- установка огнетушителей класса А, В, С и Е вблизи мест хранения горючих материалов и электрооборудования;
- обучение персонала правилам пользования огнетушителями;

- размещение планов эвакуации на видных местах;
- регулярная проверка состояния электропроводки и электрооборудования.

5.5 Обеспечение экологической безопасности

«Обеспечение экологической безопасности сборочного участка – это комплекс мер, направленных на минимизацию негативного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и здоровье человека.

В таблице 14 приведена идентификация негативных экологических факторов, возникающих при создании проектируемого объекта. На основании идентификации разработаны мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.» [18]

Таблица 14 – Идентификация негативных экологических факторов

Наименование технического объекта разработки	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие объекта на атмосферу	Воздействие объекта на гидросферу	Воздействие объекта на литосферу
Агрегат транспортного средства	Сталь конструкционная в ассортименте, сплавы цветных металлов, полимерные материалы, шлифовальные материалы, окрасочные материалы	Испарений из емкостей для хранения химических веществ. Газообразные выделения сварки. Пыль с поверхности, сыпучих строительных материалов	Изменение качества воды, вызванное выбросами нефтепродукт ов и тяжелых металлов	Загрязнение. Вторичное засоление и заболачивание. Отчуждение земель производства

Внедрение комплексных мер по обеспечению экологической безопасности

сборочного участка позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду, сохранить природные ресурсы и улучшить условия труда работников. Кроме того, это способствует повышению имиджа предприятия и его конкурентоспособности.

В разделе безопасности объекта дипломного проекта разработаны мероприятия обеспечения безопасности на участке механической сборки автомобильных агрегатов, относящихся к опытно-промышленному производству и предназначенному для сборки установочной партии автомобильных агрегатов, разработанных в ходе выполнения конструкторского раздела дипломного проекта.

В разделе «Безопасность объекта дипломного проектирования» были рассмотрены вопросы обеспечения промышленной безопасности, обучение персонала безопасным методам работы и организация эргономичных рабочих мест. Для обеспечения пожарной безопасности предусмотрены установка автоматической системы пожаротушения, организация эвакуационных выходов и обучение персонала действиям в случае пожара. В целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду предусмотрены система очистки сточных вод и организация сбора и утилизации отходов производства. Принятые меры соответствуют требованиям ГОСТ 12.0.004-2015 и обеспечивают допустимый уровень риска для работников и окружающей среды. Таким образом, проект участка механической сборки редукторов разработан с учетом всех необходимых требований безопасности и обеспечивает безопасные условия труда, пожарную безопасность и охрану окружающей среды.

6 Расчет себестоимости нормо-часа работ участка сборки

6.1 Описание участка и производимых работ

Рассматриваемый в данном разделе дипломного проекта участок сборочных работ – это специализированная зона на автомобильном предприятии, где осуществляется сборка различных агрегатов, таких как двигатели, коробки передач, мосты, рулевые механизмы и другие. Организация и оснащение участка зависят от типа собираемых агрегатов, объема производства и степени автоматизации, поскольку предполагает предсерийную штучную сборку. В дипломном проекте мы рассматриваем участок сборки автомобильных агрегатов, на котором производится предсерийная сборка автомобильных узлов, в том числе сборка узла, принятого к разработке в рамках дипломного проекта.

Участок организован по принципу поточности, где каждый рабочий пост выполняет определенную операцию в процессе сборки. Это может быть линейная, U-образная или другая конфигурация, обеспечивающая оптимальное перемещение деталей и агрегатов. Важным аспектом является эргономика рабочих мест, обеспечивающая удобство и безопасность работы персонала. Участок должен быть хорошо освещен, вентилируем и иметь достаточное пространство для маневрирования оборудования и перемещения работников.

Оборудование участка включает в себя следующие позиции:

- сборочные стенды и конвейеры, которые обеспечивают фиксацию агрегата в процессе сборки и его перемещение между рабочими постами. Могут быть стационарными или подвижными, ручными или автоматизированными;
- подъемно-транспортное оборудование: Краны, тельферы, штабелеры, транспортировочные тележки используются для перемещения крупногабаритных и тяжелых деталей и агрегатов;
- инструмент и приспособления: Специализированный ручной и пневматический инструмент (гайковерты, шуруповерты, ключи), а также

специальные приспособления, обеспечивающие точность и эффективность сборочных операций;

- контрольно-измерительное оборудование: Приборы для контроля параметров собираемых агрегатов (например, динамометрические ключи, индикаторы часового типа, измерительные приборы для проверки зазоров и натягов).

В соответствии с технологическим процессом, на участке производятся следующие виды работ, связанные с предсерийной сборкой автомобильных агрегатов:

- очистка, мойка, контроль качества и комплектности деталей;
- соединение деталей в соответствии с технологической документацией, что может включать в себя запрессовку, сварку, пайку, резьбовые соединения и другие операции;
- проверка соответствия собранного агрегата техническим требованиям, что может включать в себя проверку геометрических параметров, герметичности, функционирования и т.д.;
- проверка работоспособности агрегата на специальных стендах в условиях, близких к реальным;
- подготовка собранного агрегата к хранению и транспортировке.

На участке сборочных работ заняты квалифицированные рабочие (слесари-сборщики), контролеры, наладчики.

6.2 Расчет затрат на расходные материалы, используемые на сборочном участке

К расходным материалам относят различные материалы и малоценные быстроизнашивающиеся изделия, используемые в работе сборочного участка. В работе принимаем их количество, усредненное в годовом исчислении. Перечень материалов приводится в таблице 15.

Таблица 15 – Расходные материалы сборочного участка

Наименование материалов	Используемое количество	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Прокат стальной в ассортименте, кг	7500	75	562 500
Металл листовой в ассортименте	7500	73	547 500
Вода технологическая, м ³	1200	5,0	6 000
Герметик силиконовый, кг	25	1750	43 750
Крепеж в ассортименте	25	250	6 250
Масло моторное, л	400	650	260 000
Обтирочный материал, кг	75	50	3 750
Паста шлифовальная, кг	5	2250	11 250
Подшипники, шт	750	75	56 250
Прокладочный материал, кг	10	15	150
Круги абразивные зачистные, шт	550	95	52 250
Круги абразивные отрезные, шт	1250	35	43 750
Растворитель, л	12	350	4 200
Шкурка абразивная в ассортименте, м ²	40	325	13 000
Проволока сварочная, кг	750	130	97 500
Прочее	-	-	15 000
ИТОГО			1 723 100

Расчет количества расходных материалов производится по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^m V_M^i \cdot C_M^i \quad (46)$$

где V_M^m – используемое количество m -ного вида материала, ед.;

C_M^m – цена за единицу m -ного вида материала, руб.

Расчет по всем видам материалов также приводится в таблице 15.

6.3 Расчет затрат на амортизационные отчисления на сборочном участке

Расчет амортизационных отчислений на сборочном участке производится для учета износа оборудования, используемого в процессе сборки. Амортизация отражает постепенное перенесение стоимости основных средств на себестоимость выпускаемой продукции. Существует несколько методов расчета амортизации, и выбор конкретного метода зависит от учетной политики предприятия. В нашем случае будет применен линейный метод, как наиболее простой метод, при котором годовая сумма амортизации рассчитывается путем деления первоначальной стоимости на срок полезного использования.

Срок полезного использования устанавливается для каждого объекта основных средств индивидуально, исходя из ожидаемого срока его эксплуатации, с учетом физического и морального износа. Срок полезного использования определяется в соответствии с Классификацией основных средств, включаемых в амортизационные группы.

Для расчета общей суммы амортизационных отчислений на сборочном участке необходимо рассчитать амортизацию для каждого объекта основных средств, используемого на участке, и затем суммировать полученные значения.

Расчет амортизационных отчислений на оборудование участка приводится в таблице 16.

Таблица 16 – Амортизационные отчисления участка сборки

Наименование оборудования	Марка	Стоимость, руб	Число единиц оборудования	Норма отчислений, %	Отчисления, руб
Стапель сборочный	с/и	3 500 000	4	14,3	2 002 000
Станок токарный	JET BD-11G	3 700 000	1	10,5	388 500

Продолжение таблицы 16

Наименование оборудования	Марка	Стоимость, руб	Число единиц оборудования	Норма отчислений, %	Отчисления, руб
Станок фрезерный	VISPROМ FVV-210 38301300	2 800 000	1	10,5	294 000
Настольно-сверлильный станок	2М112	275 000	1	14,3	39 325
Пресс гидравлический	ПГ-10000	75 000	1	14,3	10 725
Кран-балка	75-256	150 000	1	10,0	15 000
Аргонодуговой сварочный инвертор	Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	95 000	2	10,0	19 000
Стол сварочный	с/и	125 000	2	8,0	20 000
Верстак слесарный	Сорокин	25 000	8	14,5	29 000
Краскопульт безвоздушного распыления	Graco	35 000	1	10,0	3 500
Камера окрасочная	Сорокин	650 000	1	15,0	97 500
ИТОГО					2 918 550
Амортизация площади участка	$A_{пл} = \frac{S_{пл} * Ц_{пл} * Н_{а}}{100}$ $A_{пл} = \frac{160 * 15000 * 2,5}{100}$				60 000
ИТОГО					2 978 550

Важно учитывать, что в зависимости от выбранного метода начисления амортизации и учетной политики предприятия, расчет может отличаться. Необходимо руководствоваться действующим законодательством и внутренними положениями организации.

6.4 Расчет затрат на электрическую энергию на участке сборки

Расчет затрат на электроэнергию на сборочном участке включает в себя несколько этапов и зависит от потребляемой мощности оборудования, режима его работы и тарифов на электроэнергию. В процессе передачи и распределения электроэнергии возникают потери. Величина потерь зависит от состояния электросети и может составлять от 5% до 15%. Для расчета затрат необходимо учесть эти потери, умножив суммарное потребление электроэнергии на коэффициент потерь.

Стоимость электроэнергии рассчитывается исходя из установленных тарифов. Тарифы могут быть дифференцированными в зависимости от времени суток, дня недели и объема потребления.

Расчет затрат на электроэнергию рассчитывается по формуле

$$\text{Эл} = \sum_{i=1}^m \frac{M_i \cdot T_{\text{маш}}^i \cdot K_{\text{од}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{п}} \cdot \text{Ц}_{\text{э}}}{\eta_i \cdot 60} \quad (47)$$

где M_i – потребляемая электрическая мощность единицы оборудования, кВт;

$T_{\text{маш}}^i$ – годовой фонд машинного времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{од}}$ – коэффициент одновременной работы электродвигателей;

$K_{\text{м}}$ – коэффициент загрузки двигателей по мощности;

$K_{\text{в}}$ – коэффициент загрузки двигателей по времени;

$K_{\text{п}}$ – коэффициент потерь в сети;

$\text{Ц}_{\text{э}}$ – цена за электроэнергию, руб/кВт;

КПД – электрический КПД единицы оборудования

Расчет затрат на электроэнергию приводится в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет затрат на электроэнергию участка сборки.

Наименование оборудования	Марка	Мощность, кВт	Число единиц оборудования	КПД	Сумма, руб
Ленточная пила 0	ПЛ-350	2,0	1	0,8	3 325,14
Торцевая абразивная пила	PRN-320	3,5	1	0,8	5 819,00
Станок токарный	JET BD-11G	7,5	1	0,7	14 250,60
Станок фрезерный	VISPROM FVV-210 38301300	5,5	1	0,7	10 450,44
Настольно-сверлильный станок	2M112	1,2	1	0,65	2 455,49
Пресс гидравлический	ПГ-10000	0,5	1	0,8	831,29
Кран-балка	75-256	0,75	1	0,8	1 246,93
Аргонодуговой сварочный инвертор	Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	6,5	2	0,7	24 701,04
Краскопульт безвоздушного распыления	Graco	0,5	1	0,85	782,39
Камера окрасочная	Сорокин	4,5	1	0,85	7 041,47
ИТОГО					70 903,77

Расход на электроэнергию на освещение помещения рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{M_{св} \cdot n \cdot T \cdot K_{од} \cdot K_{г} \cdot K_{п} \cdot C_{э}}{\eta} \quad (48)$$

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{0,25 \cdot 65 \cdot 2440 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 1,04 \cdot 4,5}{0,8} = 111337,2$$

Общие расходы на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\Xi = \Xi_{\text{л}} + \Xi_{\text{св}} \quad (49)$$

$$\Xi = 70\,903,77 + 111\,337,2 = 182\,240,97 \text{ руб}$$

Для более точного расчета затрат на электроэнергию рекомендуется использовать данные счетчиков электроэнергии. При планировании бюджета следует учитывать возможное изменение тарифов на электроэнергию. Внедрение энергосберегающих технологий может помочь снизить затраты на электроэнергию.

Выполненный расчет демонстрирует базовые навыки калькуляции издержек, в реальных условиях могут быть дополнительные факторы, которые необходимо учитывать. Для получения более точной информации следует обратиться к специалистам по энергетике.

6.5 Расчет затрат на заработную плату персонала

Расчет затрат на заработную плату рабочих на сборочном участке включает несколько составляющих и зависит от системы оплаты труда, количества рабочих, их квалификации и других факторов. Основная заработная плата рассчитывается путем умножения тарифной ставки на количество отработанных часов.

«Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования.

После вычета налогов и отчислений заработная плата снижается. В среднем, налоговые вычеты составляют около 13% от заработной платы. Расчет заработной платы на сборочном участке – это сложный и ответственный процесс, который должен быть выполнен в соответствии с законодательством.

Правильный расчет позволяет обеспечить справедливую оплату труда работников и сохранить высокую мотивацию на рабочем месте.» [18]

Расчет заработной платы персонала приводится в таблице 18.

Таблица 18 – Расчет заработной платы персонала на участке сборки

Вид персонала	Численность персонала, чел	Часовая тарифная ставка, руб	Годовой фонд рабочего времени, чел/час	Сумма, руб
Слесарь-механик 5-го разряда	12	350	1840	9 660 000,00
Слесарь-механик 6-го разряда	8	385,5	1840	7 093 200,00
Сварщик 6-го разряда	2	410	1810	1 855 250,00
Мастер участка	2	470	1840	2 162 000,00
Маляр	2	410	1810	1 855 250,00
ИТОГО				22 625 700,00

Дополнительная зарплата работников на участке рассчитывается по формуле:

$$\text{Дзп} = \text{Озп} \cdot \text{Кд}/100, \quad (50)$$

где «Кд - коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату, Кд = 8%.» [18]

$$\text{Дзп} = 22\,625\,700 \cdot \frac{8}{100} = 1\,810\,056 \text{ руб}$$

«Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования. Расчет затрат на страхование приводится в формуле.» [18]

$$O_{\text{ФМС}} = (O_{\text{Зп}} + D_{\text{Зп}}) \cdot K_{\text{соц}}, \quad (51)$$

где « $K_{\text{соц}}$ – норма отчислений на страховые взносы, $K_{\text{соц}} = 0,3$.» [18]

$$O_{\text{ФМС}} = (22\,625\,700 + 1\,810\,056) \cdot 0,3 = 7\,330\,726,8 \text{ руб}$$

Затраты на оплату труда определяются как сумма затрат на основную, дополнительную зарплату и затраты на страховые взносы.

$$O_{\text{т}} = O_{\text{Зп}} + D_{\text{Зп}} + O_{\text{ФМС}}, \quad (52)$$

$$O_{\text{т}} = 22\,625\,700 + 1\,810\,056 + 7\,330\,726,8 = 31\,766\,482,8 \text{ руб}$$

Суммарные издержки на участке сборки складываются по совокупности затрат, рассчитанных выше. Сводная калькуляция затрат приводится в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты на участке сборки

Наименование статьи затрат	Сумма	Доля затрат, %
Расходные материалы сборочного участка	1 723 100	3,30
Амортизационные отчисления участка сборки	2 978 550	5,71
Общие расходы на электроэнергию	182 240,97	0,35
Затраты на оплату труда	31 766 482,8	60,91
Расходы на административно-управленческий персонал	15 500 000	29,72
ИТОГО	49 171 823,77	100

Стоимость нормо-часа рассчитывается по формуле 10.

$$НЧ = C_{\text{общ}} / T_{\text{уч}}, \quad (53)$$

где « $C_{\text{общ}}$ – сумма общих затрат на участке, руб

$T_{\text{уч}}$ – фонд рабочего времени составит для участка сборки, чел-ч,» [18]

$$НЧ = 49\,171\,823,77 / 57\,500 = 855,16 \text{ руб}$$

В данном разделе была проведена работа по определению себестоимости нормо-часа на участке сборки автомобильных агрегатов в рамках предсерийной подготовки производственного процесса с целью обоснования экономической эффективности проекта. Расчет себестоимости нормо-часа выполнен калькуляционным методом с учетом всех статей затрат, связанных с работой участка сборки. Основными статьями затрат являются заработная плата основных производственных рабочих (60,91%), отчисления на социальные нужды (15%), расходы на административно-управленческий персонал (29,72%) и амортизационные отчисления участка сборки (5,71%). Остальные расходы приходятся на цеховые и общезаводские расходы. В результате расчетов определена себестоимость нормо-часа на участке сборки, которая составила 855,16 рублей. Полученное значение себестоимости нормо-часа обусловлено прежде всего высокой стоимостью специализированного оборудования и высокой квалификацией слесарей-сборщиков. Рассчитанное значение себестоимости нормо-часа будет использовано для определения экономической эффективности проекта. На основании выполненных расчетов можно сделать выводы о выполнении задачи в рамках текущего раздела дипломного проекта.

Заключение

В современных условиях развития автомобильного транспорта, характеризующегося ростом грузоподъёмности, повышением средних скоростей и усложнением профиля автомобильных дорог, особенно горных и холмистых, всё более остро встаёт задача обеспечения надёжной и эффективной системы торможения тяжёловесных магистральных автомобилей. Автомобиль КАМАЗ-65225, предназначенный для транспортировки крупногабаритных и тяжёловесных грузов, при длительных спусках по автодорогам с крутыми уклонами испытывает значительные тепловые нагрузки на основной тормозной механизм. В условиях интенсивной эксплуатации это приводит к повышенному износу тормозных колодок и дисков, снижению работоспособности пневматической тормозной системы и увеличению рисков возникновения аварийных ситуаций.

Одним из наиболее эффективных способов снижения тепловой нагрузки на тормозную систему является установка дополнительного тормоза-ретардера. В частности, акваретардер – гидравлическое устройство с водяным охлаждением – обеспечивает диссипацию тормозной энергии непосредственно в жидкости, что позволяет практически полностью исключить динамический износ фрикционных элементов. Данный вид замедлителя отличается простотой конструкции, экологической безопасностью (в качестве рабочего тела используется вода), а также высокой надёжностью при работе в широком диапазоне температур.

В результате проведенного обзора процессов торможения грузовых автомобилей, конструкций механизмов ретардера и истории их развития, можно сделать следующие выводы:

Эффективность торможения грузовых автомобилей — это комплексная многофакторная задача. Эффективность торможения определяется не только характеристиками тормозной системы, но и множеством взаимодействующих факторов, включая массу автомобиля и груза, состояние дорожного покрытия,

погодные условия, техническое состояние компонентов тормозной системы и навыки водителя. Современные системы EBS, ABS и ESP играют критическую роль в обеспечении управляемости и безопасности торможения.

Ретардеры – незаменимый агрегат современных грузовых автомобилей, работающий в тяжелых дорожных условиях. Анализ конструкций ретардеров (гидравлических и электромагнитных) показал их высокую эффективность в снижении нагрузки на рабочие тормоза, особенно при длительном торможении на спусках. Это существенно повышает безопасность движения и продлевает срок службы тормозных механизмов, уменьшая затраты на техническое обслуживание.

История развития ретардеров демонстрирует постоянное совершенствование. Анализ истории развития ретардеров показал постепенное усложнение конструкций, повышение эффективности и расширение функциональных возможностей. Современные ретардеры отличаются высокой надежностью, плавностью регулировки тормозного момента и эффективным охлаждением. Тенденции развития направлены на повышение эффективности, снижение веса и интеграцию с другими системами автомобиля.

Выбор типа ретардера определяется компромиссом между характеристиками и стоимостью. Гидравлические ретардеры отличаются сравнительной простотой и низкой стоимостью, но могут иметь ограничения по эффективности при низких скоростях. Электромагнитные ретардеры обеспечивают более плавное и эффективное торможение в широком диапазоне скоростей, но характеризуются большей стоимостью. Оптимальный выбор типа ретардера зависит от конкретных требований к автомобилю и условий его эксплуатации. В качестве конструкции, разрабатываемой в рамках дипломного проекта, принимается конструкция гидравлического ретардера.

Дальнейшие исследования необходимы для оптимизации конструкций и повышения эффективности ретардеров. Несмотря на значительный прогресс, дальнейшие исследования направлены на улучшение эффективности охлаждения, повышение надежности, снижение веса и стоимости, а также

интеграцию ретардеров с другими системами управления автомобилем, например, с адаптивными системами круиз-контроля.

В целом, проведенный обзор подтверждает важность ретардеров как ключевого элемента современных систем торможения грузовых автомобилей, обеспечивающих повышение безопасности и эффективности движения, особенно в сложных условиях.

В результате проведенного тягово-динамического расчета автомобиля КамАЗ-65225 были получены следующие выводы.

В результате проведенного расчета были определены основные динамические характеристики автомобиля, такие как максимальная скорость, время разгона до заданной скорости, усилие тяги на колесах, динамический запас тяги на различных передачах и режимах движения. Расчет выявил влияние различных факторов на тягово-динамические характеристики, включая массу автомобиля, аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению, крутящий момент двигателя, передаточные числа трансмиссии, а также дорожные условия. Было установлено, как изменение каждого из этих параметров влияет на динамику разгона и максимальную скорость. Анализ результатов расчета позволил определить оптимальные режимы работы двигателя и трансмиссии для достижения максимальной эффективности движения в различных условиях эксплуатации (например, на ровной дороге, в гору, при буксировке груза). Полученные результаты расчета позволяют оценить соответствие тягово-динамических характеристик автомобиля КамАЗ-65225 заданным требованиям технического задания или нормативным документам.

Результаты выполнения тягового расчета в виде графиков представлены в Приложении А и на листе графической части дипломного проекта.

В результате выполнения раздела дипломного проекта, посвященного расчету конструкции гидравлического ретардера, были получены следующие выводы.

Разработана оптимальная компоновочная схема системы торможения с учетом установки гидравлического ретардера: Проведенный анализ

существующих схем позволил разработать компоновку, обеспечивающую эффективное взаимодействие ретардера с другими элементами трансмиссии и системы охлаждения. Выбор места установки ретардера (в данном случае на месте гидромукты) обоснован с точки зрения минимизации габаритных размеров и обеспечения удобства обслуживания.

Разработана конструкция гидравлического ретардера, отвечающая заданным техническим требованиям: конструкция ретардера, включающая в себя корпус, ротор, статор, систему подшипников, систему охлаждения и систему управления, спроектирована с учетом требований к прочности, надежности, эффективности торможения и ресурсу работы. Выбор материалов и расчеты прочности отдельных элементов подтверждают работоспособность конструкции в заданных условиях эксплуатации.

Проведены расчеты прочности и жесткости основных деталей конструкции ретардера. Методом конечных элементов (МКЭ) или другими соответствующими методами проведены расчеты, подтверждающие достаточный запас прочности и жесткости корпуса, ротора, статора и других деталей ретардера при максимальных расчетных нагрузках. Результаты расчетов позволили оптимизировать конструкцию и минимизировать вес при сохранении необходимых прочностных характеристик.

Рассчитаны оптимальные параметры гидравлической системы, обеспечивающие эффективное торможение и предотвращение перегрева рабочей жидкости. Выбор типа и параметров насоса, системы охлаждения масла, а также системы регулирования потока жидкости обоснованы с точки зрения обеспечения требуемых характеристик ретардера.

Разработана система управления ретардером, обеспечивающая удобство эксплуатации. Предложен вариант системы управления, обеспечивающий плавное и безопасное регулирование интенсивности торможения. Проектирование системы управления учитывает требования к эргономике и безопасности, а также совместимость с существующими системами управления автомобиля.

В заключение выявлены перспективы дальнейшего совершенствования конструкции ретардера, например, оптимизация формы лопаток ротора и статора для повышения эффективности, исследование применения новых материалов для снижения веса и повышения износостойкости, а также разработка более совершенных систем управления.

В целом, выполненные расчеты и разработанная конструкция гидравлического ретардера демонстрируют возможность создания эффективного и надежного устройства, повышающего безопасность и эффективность торможения грузовых автомобилей. Полученные результаты могут быть использованы для дальнейших исследований и разработки серийного образца.

В результате проведенной работы по разработке технологической карты сборки акваретардера был получен подробный документ, регламентирующий все этапы сборочного процесса. Технологическая карта содержит детальное описание каждой операции, включая последовательность действий, используемые инструменты, оборудование и нормативы времени. Она разработана с учетом специфики конструкции акваретардера и направлена на обеспечение высокого качества сборки, минимизацию трудозатрат и исключение брака.

Разработанная технологическая карта обеспечивает:

- выполнено детальное описание операций и контроль на каждом этапе гарантируют соответствие собранного акваретардера заданным техническим требованиям;
- оптимизирована последовательность операций и нормативы времени способствуют повышению производительности труда и сокращению времени сборки;
- даны четкие инструкции и требования к качеству обеспечивают повторяемость процесса сборки и получение изделий с одинаковыми характеристиками;

- дано подробное описание технологического процесса облегчает обучение персонала и снижает риск ошибок.

Разработанная технологическая карта может быть использована в качестве руководства для организации серийного производства акваретардера, обеспечивая выпуск качественных и надежных изделий. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию отдельных операций, автоматизацию процесса сборки и внедрение новых технологий для повышения эффективности производства.

В разделе «Безопасность объекта дипломного проектирования» были рассмотрены вопросы обеспечения промышленной безопасности, обучение персонала безопасным методам работы и организация эргономичных рабочих мест. Для обеспечения пожарной безопасности предусмотрены установка автоматической системы пожаротушения, организация эвакуационных выходов и обучение персонала действиям в случае пожара. В целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду предусмотрены система очистки сточных вод и организация сбора и утилизации отходов производства.

В экономическом разделе была проведена работа по определению себестоимости нормо-часа на участке сборки автомобильных агрегатов в рамках предсерийной подготовки производственного процесса с целью обоснования экономической эффективности проекта. Расчет себестоимости нормо-часа выполнен калькуляционным методом с учетом всех статей затрат, связанных с работой участка сборки.

Остальные расходы приходятся на цеховые и общезаводские расходы. Полученное значение себестоимости нормо-часа обусловлено прежде всего высокой стоимостью специализированного оборудования и высокой квалификацией слесарей-сборщиков. Рассчитанное значение себестоимости нормо-часа будет использовано для определения экономической эффективности проекта. На основании выполненных расчетов можно сделать выводы о выполнении задачи в рамках текущего раздела дипломного проекта.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники : учебное пособие / Д. А. Едимичев, А. Н. Минкин, С. Н. Масаев [и др.]. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 148 с. - ISBN 978-5-7638-4289-0.
2. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет : учебное пособие / Е.В. Березина. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-018271-1.
3. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 655 с.
4. Буянкин, А. В. Специализированный подвижной состав автомобильного транспорта и погрузо-разгрузочные средства : учебное пособие / А. В. Буянкин, Ю. Е. Воронов. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2020. — 107 с. — ISBN 978-5-00137-202-8
5. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по технологической операции, видам работ, оборудованию, производственному цеху, участку»
6. Круглик, В. М. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта : учебное пособие / В.М. Круглик, Н.Г. Сычев. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 260 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006953-1.
7. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 506 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/974. - ISBN 978-5-16-006053-8.
8. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

9. Маркина, А. А. Теория движения колесных машин : учебное пособие / А. А. Маркина, В. В. Давыдова ; М-во науки и высш. образования РФ. - Екатеринбург : Изд-во Уральского ун-та, 2021. - 216 с. - ISBN 978-5-7996-3263-2.

10. Набоких, В. А. Датчики автомобильных электронных систем управления и диагностического оборудования : учебное пособие / В.А. Набоких. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 239 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014160-2.

11. Новиков, В. В. Виброзащитные свойства подвесок автотранспортных средств : монография / В. В. Новиков, И. М. Рябов, К. В. Чернышев. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. - 384 с. - ISBN 978-5-9729-0634-5.

12. Огороднов, С.М. Конструкция автомобилей и тракторов : учебник / С.М. Огороднов, Л.Н. Орлов, В.Н. Кравец. - Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2019. - 284 с. - ISBN 978-5-9729-0364-1.

13. Песков, В. И. Конструкция автомобильных трансмиссий : учебное пособие / В.И. Песков. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 146 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-016247-8..

14. Ремонт автомобилей [Электронный ресурс] – Режим доступа <http://automend.ru/>

15. Савич, Е. Л. Системы безопасности автомобилей : учебное пособие / Е.Л. Савич, В.В. Капустин. – Минск: Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 445 с.: ил. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104362-2.

16. Стуканов, В. А. Основы теории автомобильных двигателей и мотоцикла : учебное пособие / В.А. Стуканов. – Москва : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2020. – 368 с. – (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-101654-1.

17. Тарасик, В. П. Теория автомобилей и двигателей: учебное пособие / В.П. Тарасик, М.П. Бренч. – 2-е изд., испр. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2020. – 448 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-101224-6.

18.Щелчкова, Н. Н. Практикум по безопасности жизнедеятельности. Часть II : учебно-практическое пособие / Н.Н. Щелчкова, Д.В. Натарева, Е.А. Романова. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 225 с. - ISBN 978-5-16-108275-1.

19.Экономика организаций автомобильного транспорта : учебное пособие / Р. Б. Ивуть, П. И. Лапковская, Т. Л. Якубовская, М. М. Кисель. - Минск : РИПО, 2022. - 215 с. - ISBN 978-985-895-035-4.

20.Denton, Tom Automobile Mechanical and Electrical Systems: 2nd Edition / Tom Denton: Routledge, 2017 – 378p. - ISBN 9780415725781

21.Everyday English For Technical Students (Mechanical engineering, metallurgy and transport department) [Электронный ресурс]/ – Электрон. текстовые данные.– Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021.– 350 с.

22.G. A. Einicke, Smoothing, Filtering and Prediction: Estimating the Past, Present and Future (2nd ed.), Prime Publishing, 2019

23.Milliken, W. F. Race Car Vehicle Dynamics / Premiere Series / R: Society of Automotive Engineers, Том 146 / W. F. Milliken, D. L. Milliken : SAE International, 1995. – 890 p. [8], [9], [10]. – ISBN 1560915269, 9781560915263.

24.Singh, H. Rewat The Automobile: Textbook for Students of Motor Vehicle Mechanics / H. Rewat Singh: S Chand & Co Ltd, 2004 - 532 p.