

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 Грузовой автомобиль КАМАЗ. Модернизация тормозной системы
(тормозной камеры)

Обучающийся

А.С. Храмов

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.В. Зотов

(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. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

(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)

Аннотация

Дипломный проект на тему: «Грузовой автомобиль КАМАЗ. Модернизация тормозной системы (тормозной камеры)».

Тормозная система грузовых автомобилей КамАЗ играет ключевую роль в обеспечении безопасности движения, особенно при эксплуатации в тяжелых дорожных условиях и с большими нагрузками. Существующие тормозные камеры имеют ограниченный ресурс и могут терять эффективность из-за износа, перегрева или загрязнения. Модернизация тормозной камеры направлена на повышение надежности, долговечности и эффективности торможения, что особенно важно для коммерческого транспорта.

Цель работы: разработка и обоснование модернизированной конструкции тормозной камеры для грузового автомобиля КАМАЗ с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Основные задачи:

- анализ существующих конструкций тормозных камер КАМАЗ и их недостатков,
- изучение нагрузок и условий работы тормозной системы,
- прочностные расчеты модернизированной тормозной камеры,
- экономическое обоснование модернизации.

Объект: тормозная камера с пружинным энергоаккумулятором автомобиля КАМАЗ.

Методы исследования:

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

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

В первом разделе выполнен детальный разбор и оценка конструктивных особенностей тормозных камер, оснащённых пневматическими и комбинированными энергоаккумуляторами.

Во втором разделе проведен анализ динамических характеристик грузового автомобиля КАМАЗ, представлены расчёты, определяющие тяговые возможности и динамику транспортного средства при различных режимах движения.

В третьем разделе проведена конструкторская разработка тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором.

Четвертый раздел посвящен разработке технологического процесса сборки, представлен выбор оптимального метода, детальная схема выполнения операций.

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

В шестом разделе проведена оценка финансовой целесообразности проекта, проведён расчёт ключевых показателей, подтверждающих его рентабельность и окупаемость.

Пояснительная записка на 102 страницы, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Результаты проекта могут быть использованы на автотранспортных предприятиях, в сервисных центрах и на производственных мощностях завода КАМАЗ для повышения надежности тормозных систем грузовых автомобилей.

Abstract

The title of the graduation work is: «The KAMAZ truck. Modernization of the braking system (brake chamber)».

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

The aim of the project is to improve the braking system of the KAMAZ truck by modernizing the brake chamber with a spring-type energy accumulator to enhance reliability and performance.

In the first part of the graduation project, a detailed analysis and evaluation of the structural features of brake chambers equipped with pneumatic and combined energy accumulators are carried out.

In the second part, an analysis of the dynamic characteristics of the KAMAZ truck is performed, including calculations determining traction capabilities and vehicle dynamics under different driving conditions.

The third section focuses on the engineering development of a brake chamber with a spring-type energy accumulator, presenting design solutions and expected improvements in braking efficiency.

The fourth section is dedicated to the development of the assembly process, including the selection of the optimal method and a detailed step-by-step operational scheme.

The special part of the graduation work gives details about the safety and environmental friendliness of the project.

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

This research contributes to the advancement of heavy-duty vehicle braking systems by proposing a more reliable and efficient brake chamber design, supported by theoretical calculations and practical implementation guidelines. The results could be applied to improve the safety and maintenance of commercial truck fleets.

Содержание

Введение.....	7
1 Состояние вопроса	10
1.1 Пневматический энергоаккумулятор	13
1.2 Комбинированные тормозные камеры пружинных энергоаккумуляторов	15
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	22
2.1 Исходные данные для расчёта и компоновочная схема автомобиля.....	22
2.2 Внешние скоростные характеристики автомобиля	23
2.3 Тягово-скоростные характеристики автомобиля	24
2.4 Разгон и ускорение автомобиля	31
2.5 Расчет топливной экономичности автомобиля	35
3 Разработка конструкции усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором.....	38
3.1 Схема и принцип действия предлагаемой конструкции	38
3.2 Управление усовершенствованной конструкцией энергоаккумулятора	40
3.3 Расчет деталей усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором	42
4 Технологический раздел.....	53
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки	54
4.2 Разработка технологического процесса сборки	59
5 Безопасность и экологичность проекта	64
5.1 Структурно-функциональный анализ	66
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	67
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	70
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	76
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КАМАЗ.....	81

6 Экономическая эффективность проекта.....	84
6.1 Расчет статей затрат на внедрение конструкции	84
6.2 Расчет статей доходов от внедрения проекта.....	89
6.3 Расчет показателей экономической эффективности	91
Заключение	93
Список используемой литературы и используемых источников.....	95
Приложение А. Спецификация.....	98

Введение

Первые пневматические тормозные системы появились еще в начале XX века и использовали простейшие механизмы подачи сжатого воздуха к тормозным механизмам. Однако с ростом грузоподъемности автомобилей и ужесточением норм безопасности возникла необходимость в более совершенных системах.

В настоящее время подавляющее большинство грузовых автотранспортных средств выпускается с пневмоприводами второго поколения, которые обеспечивают более высокую надежность, эффективность и безопасность по сравнению с устаревшими механическими и гидравлическими системами. Развитие пневматических тормозных систем связано с ужесточением требований к безопасности грузовых перевозок, а также с необходимостью повышения долговечности и ремонтпригодности узлов.

Пневмоприводы второго поколения, применяемые сегодня, отличаются:

- использованием современных материалов, устойчивых к коррозии и износу;
- улучшенными характеристиками герметичности и КПД;
- внедрением электронных систем контроля (EBS – Electronic Braking System);
- повышенной ремонтпригодностью и модульной конструкцией.

Современные тормозные системы грузовиков, включая автомобили КамАЗ, МАЗ, Volvo, Scania и других марок, строятся по модульному принципу.

Основными компонентами являются:

- компрессор – нагнетает сжатый воздух в систему,
- ресиверы – аккумулируют воздух под давлением,

- тормозные камеры – преобразуют давление воздуха в механическое усилие,
- клапаны и регуляторы – управляют распределением воздуха,
- антиблокировочная система (ABS) и EBS – обеспечивают электронный контроль торможения.

Преимущества пневмоприводов второго поколения

- высокая надежность – благодаря дублированию контуров и защите от обмерзания;
- быстрое срабатывание – современные тормозные камеры обеспечивают минимальное время отклика;
- энергоэффективность – снижение потерь давления за счет оптимизированной конструкции;
- совместимость с электронными системами – интеграция с ABS, ESP и системами автоматического торможения.

Следующим этапом эволюции станет более глубокая интеграция электроники, включая:

- адаптивное торможение – автоматическое регулирование усилия в зависимости от загрузки;
- системы предупреждения износа – датчики, отслеживающие состояние колодок и дисков;
- полностью электрифицированные пневмосистемы – отказ от механических связей в пользу цифрового управления.

Современные пневмоприводы второго поколения обеспечивают высокий уровень безопасности и эффективности грузовых автомобилей. Дальнейшее развитие тормозных систем связано с внедрением интеллектуальных технологий, что позволит сократить тормозной путь, снизить износ компонентов и повысить общую надежность транспорта.

«Особенностью конструкции грузовиков КамАЗ является пятиконтурная воздушная система, распределяемая через двойные и тройные защитные клапаны.

Каждый контур выполняет строго определенные функции:

- первый отвечает за работу передних тормозных механизмов;
- второй контролирует торможение заднего моста;
- третий обеспечивает функционирование стояночной и запасной систем, включая тормоза прицепа;
- четвертый обслуживает вспомогательные системы (топливный контроль, сигнализацию, стеклоочистители);
- пятый предназначен для аварийного растормаживания» [1].

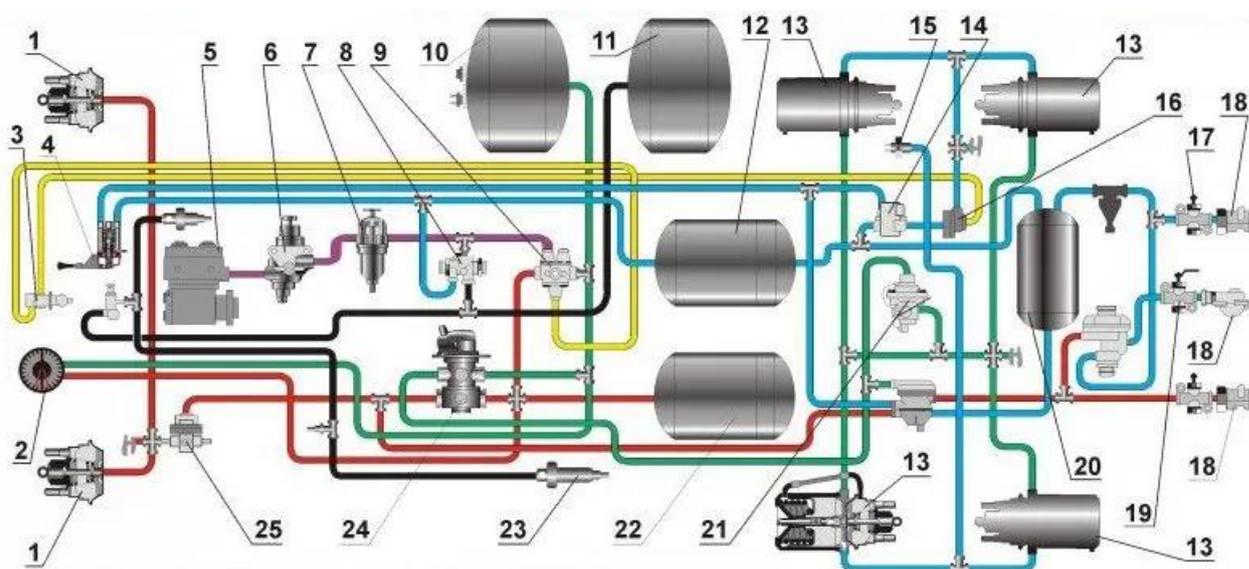
Ключевой задачей данного дипломного проекта выступает разработка усовершенствованной конструкции пружинного энергоаккумулятора. Модернизация направлена на достижение оптимального баланса между надежностью и долговечностью системы.

В предлагаемом решении реализованы принципиальные изменения базовой конструкции: внедрены дополнительные функциональные элементы, существенно расширяющие эксплуатационные возможности устройства. Это позволит обеспечить бесперебойную работу тормозной системы на протяжении всего срока службы автомобиля.

1 Состояние вопроса

Тормозная система грузовых автомобилей КамАЗ относится к пневматическому типу и соответствует современным требованиям безопасности. Она обеспечивает эффективное замедление многотонной техники в различных дорожных условиях.

«Конструкция тормозной системы грузового автомобиля КамАЗ представлена на рисунке 1.



1 – камера тормозная; 2 – манометр двухстрелочный; 3 – кран аварийного растормаживания стояночной тормозной системы; 4 – кран управления стояночной тормозной системой; 5 – компрессор; 6 – регулятор давления; 7 – предохранитель от замерзания; 8 – клапан двойной защитный; 9 – клапан тройной защитный; 10 – воздушный баллон контура 2; 11 – воздушный баллон контура 4; 12 – воздушный баллон контура 3; 13 – камера тормозная с энергоаккумулятором; 14 – клапан ускорительный; 15 – датчик включения контрольной лампы стояночной тормозной системы; 16 – клапан двухмагистральный; 17 – кран разобщительный; 18 – головки соединительные типа А и типа «Палм»; 19 – клапан одинарный защитный; 20 – воздушный баллон контура 3; 21 – регулятор автоматический тормозных сил; 22 – воздушный баллон контура 1; 23 – пневмоцилиндр привода заслонки вспомогательной тормозной системы; 24 – кран двухсекционный тормозной; 25 – клапан ограничения давления

Рисунок 1 – Конструкция тормозной системы грузового автомобиля КамАЗ

Тормозная система КамАЗ включает:

- рабочую тормозную систему (основное торможение при движении);

- стояночную тормозную систему (удержание автомобиля на месте);
- запасную тормозную систему (дублирующая при отказе основной);
- вспомогательную систему (торможение двигателем)» [1].

Система является многоконтурной (разделена на независимые контуры) и соответствует Правилам ЕЭК ООН №13.

Основные компоненты тормозной системы:

- источники сжатого воздуха: компрессор (поршневой, приводится от двигателя) – нагнетает воздух в систему; ресиверы (воздушные баллоны) – накапливают сжатый воздух под давлением 0,7-0,8 МПа; регулятор давления – поддерживает оптимальное давление в системе;
- управляющие элементы: тормозной кран – передает усилие от педали к исполнительным механизмам; двойной защитный клапан – распределяет воздух по контурам; клапан аварийного растормаживания – позволяет снять стояночный тормоз при падении давления;
- исполнительные механизмы: тормозные камеры – преобразуют давление воздуха в механическое усилие; пружинные энергоаккумуляторы – обеспечивают работу стояночного тормоза; тормозные механизмы (барабанные или дисковые) – создают тормозной момент.

У КамАЗа тормозная система разделена на 5 независимых контуров (таблица 1).

Таблица 1 – Независимые контуры тормозной системы КамАЗа

Контур	Назначение	Компоненты
1-й контур	Передние колеса	Тормозные камеры переднего моста
2-й контур	Задние колеса	Тормозные камеры заднего моста
3-й контур	Стояночный и запасной тормоз	Пружинные энергоаккумуляторы
4-й контур	Вспомогательные системы	Привод стеклоочистителей, сигнал, пневмоподвеска
5-й контур	Аварийное растормаживание	Клапан растормаживания стояночного тормоза

Особенности тормозной системы КамАЗ:

- многоконтурность – отказ одного контура не приводит к полной потере торможения;
- энергоаккумуляторы – обеспечивают автоматическое включение стояночного тормоза при утечке воздуха;
- ABS (опционально) – предотвращает блокировку колес при резком торможении.

Рассмотрим принцип работы тормозной системы.

В случае рабочего торможения:

- водитель нажимает педаль тормоза.
- тормозной кран подает воздух в тормозные камеры переднего и заднего мостов.
- штоки камер перемещаются и прижимают колодки к барабанам (дискам).
- автомобиль замедляется.

В случае постановки на стояночный тормоз:

- при включении ручного тормоза воздух стравливается из энергоаккумуляторов;
- пружины разжимаются, блокируя колеса;
- для снятия с тормоза система подает воздух, сжимая пружины.

«При отказе основного контура срабатывает дублирующий механизм, использующий третий контур.

Остановимся подробнее на тормозной камере с пружинным энергоаккумулятором.

Тормозная камера с пружинным энергоаккумулятором выполняет две ключевые функции: обеспечивает торможение в рабочем режиме и фиксирует автомобиль в стояночном положении» [1]. Помимо этого, энергоаккумулятор может служить аварийным тормозом, если основной контур выйдет из строя.

Конструктивно большинство таких устройств объединяет общая черта – в качестве накопителя механической энергии используется упругий элемент, чаще всего винтовая пружина.

В расторможенном состоянии она удерживается в сжатом положении давлением сжатого воздуха, воздействующего на поршень. Для активации стояночного тормоза необходимо стравить воздух, освобождая пружину. Различия между моделями энергоаккумуляторов заключаются в способе механического растормаживания.

Появление этих камер стало результатом перехода на пневматические тормозные системы второго поколения в отечественном и европейском автопроме. Они заменили устаревшие центральные трансмиссионные тормоза, которые не справлялись с возросшими нагрузками, особенно на уклонах.

Внедрение новых технологий значительно повысило надежность, безопасность и конкурентоспособность транспорта, однако усложнило конструкцию пневмопривода.

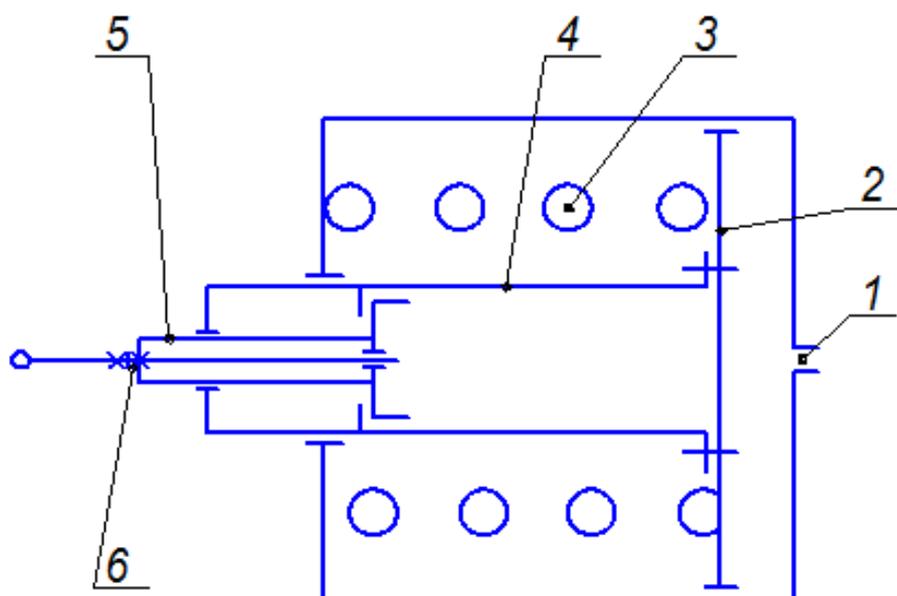
Это, в свою очередь, ужесточило требования к эксплуатации, техническому обслуживанию и ремонту тормозных систем.

Рассмотрим подробнее конструкции энергоаккумуляторов.

1.1 Пневматический энергоаккумулятор

«Данный тип пружинного энергоаккумулятора относится к ранним моделям, разработанным в период перехода на тормозные системы второго поколения. Его устройство включало мощную силовую пружину и подвижный пневматический элемент, которые взаимодействовали для выполнения тормозных функций» [5].

«Наглядное изображение конструкции пружинного энергоаккумулятора представлено на рисунке 2.



1 – вход для подвода сжатого воздуха; 2 – поршень; 3 – пружина; 4 – шток;
5 – толкатель; 6 – гайка растормаживания

Рисунок 2 – Пневматический энергоаккумулятор

Рассмотрим принцип работы пневматического энергоаккумулятора.

В расторможенном режиме сжатый воздух подаётся через вход (1), воздействуя на поршень (2). Это давление преодолевает усилие силовой пружины (3), удерживая шток (4) с толкателем (5) в крайнем левом положении. В таком состоянии тормозной механизм остаётся выключенным, так как усилие на штоке отсутствует.

При сбросе давления из входа (1) пружина (3) освобождается и перемещает шток (4) вправо. Толкатель (5), закреплённый в штоке, активирует тормозной механизм. Таким образом, рабочее усилие создаётся пружиной, а пневматический элемент служит лишь для её удержания в сжатом состоянии при растормаживании.

В случае отсутствия сжатого воздуха для принудительного растормаживания необходимо отвернуть гайку (6) вместе с контргайкой» [5].

Графически зависимость усилия пружины от хода штока представлена на рисунке 3 в виде линейной характеристики.

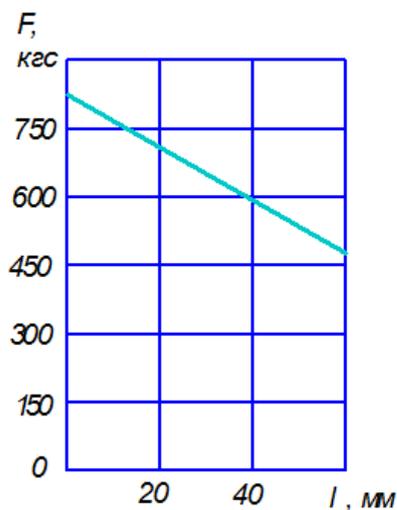


Рисунок 3 – Зависимость усилия пружины от хода штока

Линейная характеристика на рисунке 3 упрощает инженерные расчёты, но требует проверки на соответствие реальным условиям. Для динамических нагрузок рекомендуется тестирование пружины на гистерезис и усталость.

1.2 Комбинированные тормозные камеры пружинных энергоаккумуляторов

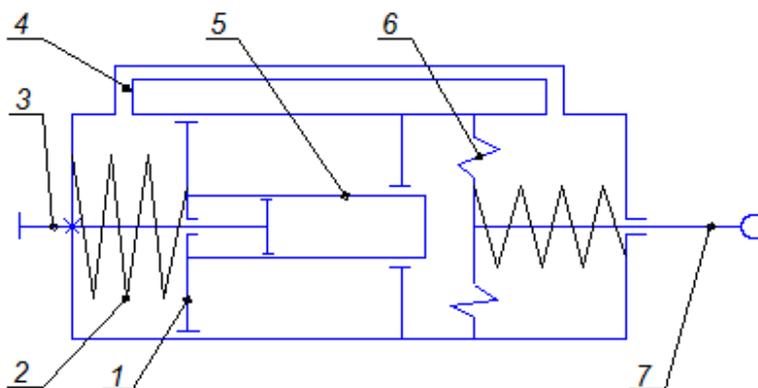
«В современных тормозных системах наибольшую популярность приобрели комбинированные исполнительные механизмы, объединяющие в себе тормозную камеру и пружинный энергоаккумулятор. Это инновационное решение позволило одному пневматическому устройству выполнять функции сразу трех тормозных систем: рабочей, запасной и стояночной. Благодаря такой универсальности, одна из модификаций этого механизма получила название тристоп.

Конструктивно устройство может быть выполнено в двух вариантах:

- в виде цилиндра,
- или в виде камеры.

Оба компонента расположены последовательно, поскольку воздействуют на общий шток, обеспечивая согласованную работу всех систем» [10].

«На рисунке 4 представлена схема тормозной камеры с поршневым пружинным энергоаккумулятором.



1 – поршень; 2 – силовая пружина; 3 – винт механического растормаживания;
4 – патрубок цилиндра; 5 – толкатель; 6 – диафрагма; 7 – шток

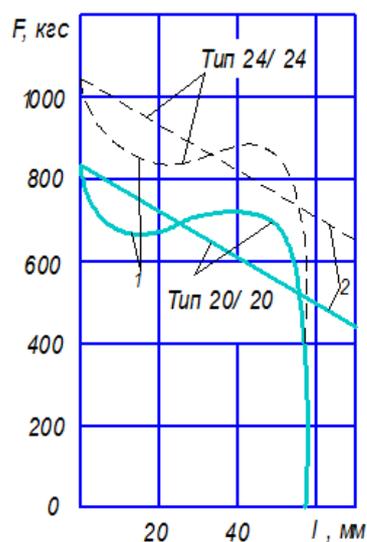
Рисунок 4 – Схема тормозной камеры с поршневым пружинным энергоаккумулятором

В режиме рабочего торможения сжатый воздух от тормозного крана поступает в полость над мембраной (6). Под давлением мембрана прогибается и через шток (7) активирует тормозной механизм. Процесс аналогичен работе стандартной тормозной камеры

При активации аварийного/стояночного режима воздух стравливается из-под поршня (1) через ручной кран. Освобожденная пружина (2) возвращается в исходное положение. Поршень (1) с толкателем (5) смещаются вправо. Через мембрану усилие передается на шток (7). Шток приводит в действие тормозной рычаг – транспортное средство останавливается.

При активации аварийного растормаживания при выкручивании винта (3) происходит его смещение вверх. Винт воздействует на поршень (1), заставляя его вернуться в крайнее левое положение. Толкатель (5) сжимает пружину (2). Система переходит в расторможенное состояние» [3].

Силовые характеристики тормозных камер с ПЭА, применяемых на автомобилях ЗИЛ и КамАЗ представлены на рисунке 5.

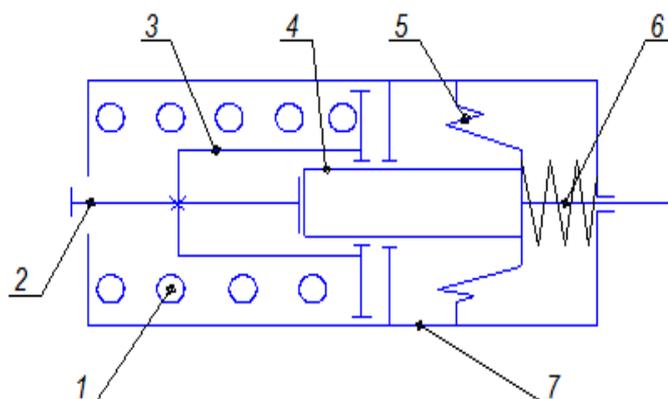


1 – тормозные камеры; 2 – пружинные энергоаккумуляторы

Рисунок 5 – Силовые характеристики тормозных камер с ПЭА, применяемых на автомобилях ЗИЛ и КамАЗ

Существует множество конструктивных решений для растормаживания системы. Детально разберём наиболее распространённые механические способы.

«Принципиальная схема пружинного энергоаккумулятора с устройством механического растормаживания без деформации силовой пружины показана на рисунке 6.



1 – силовая пружина; 2 – винт механического растормаживания; 3 – поршень пружины; 4 – штанга поршня; 5 – диафрагма; 6 – шток; 7 – корпус

Рисунок 6 – Схема пружинного энергоаккумулятора с устройством механического растормаживания

При потере давления в пневмосистеме стандартное растормаживание штока 6 невозможно. В такой ситуации применяется аварийный механизм растормаживания с винтовым приводом. Выкручивается винт 2, штанга поршня 4 перемещается влево. Происходит освобождение штока 6.

Преимуществом данного решения является ускорение процесса растормаживания благодаря тому, что усилие пружины 1, передаваемое через винт 2, облегчает его выкручивание из поршня 3.

Конструктивные недостатки системы:

- усложнение общей конструкции,
- повышенная металлоемкость,
- необходимость усиления резьбового соединения,
- повышенные требования к прочности резьбового узла» [30].

Еще один конструктивный вариант решения задачи растормаживания – пружинный энергоаккумулятор с устройством гидравлического растормаживания.

«Ключевым недостатком традиционных тормозных камер с пружинными энергоаккумуляторами остается сложность процесса механического растормаживания. Предлагаемое техническое решение направлено на упрощение данной операции за счет ликвидации необходимости индивидуального ручного управления каждой тормозной камерой на транспортном средстве» [9].

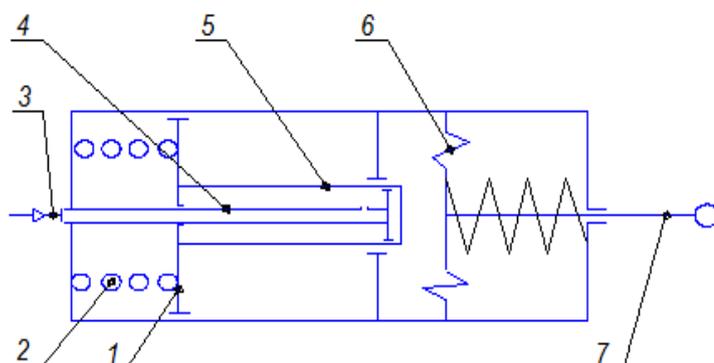
«На рисунке 7 представлена инновационная конструкция ПЭА, оснащенная системой гидравлического растормаживания.

Принцип работы устройства в аварийном режиме.

При отказе пневмосистемы давление в камере под поршнем 1 отсутствует. Шток 7 фиксируется в заторможенном положении через полый цилиндр 5, посредством поршня 1, под действием силы пружины 2.

При процессе гидравлического растормаживания тормозная жидкость подается через полый шток 4, наполняет рабочую полость цилиндра 5. Под

давлением жидкости полый цилиндр 5 смещается влево. Поршень 1 сжимает пружину и происходит освобождение штока 7» [28].



1 – поршень пружины; 2 – силовая пружина; 3 – поток из гидропривода; 4 – полый шток;
5 – полый цилиндр; 6 – диафрагма; 7 – шток

Рисунок 7 – Схема пружинного энергоаккумулятора с устройством гидравлического растормаживания

Основные преимущества решения:

- полная автоматизация процесса растормаживания,
- исключение ручных операций,
- повышение надежности тормозной системы,
- снижение трудозатрат при обслуживании.

Несмотря на технологические преимущества, гидравлическое решение для растормаживания имеет существенные практические ограничения.

Конструктивные сложности:

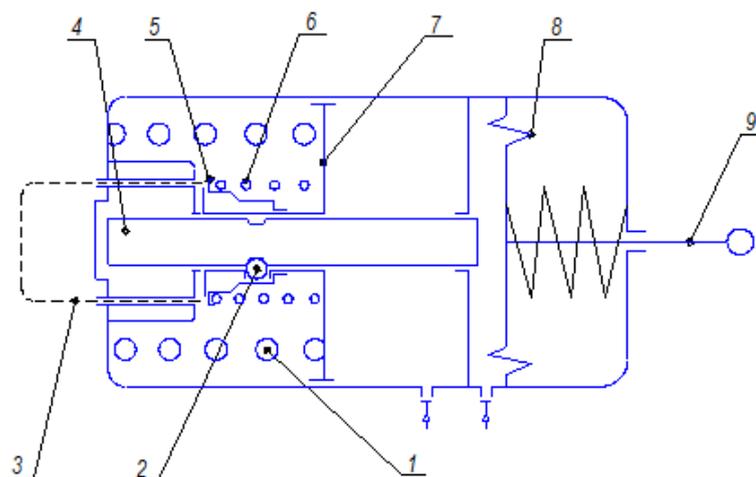
- усложнение узла энергоаккумулятора;
- необходимость интеграции дополнительных гидравлических компонентов;
- повышенные требования к точности изготовления.

Эксплуатационные недостатки:

- зависимость от исправности двух независимых систем (пневматики и гидравлики);
- увеличение массы и габаритов тормозного модуля;

– повышенная стоимость обслуживания.

Модельный ряд автобусов НЕФАЗ комплектуется тормозными камерами, включающими пружинные энергоаккумуляторы 12/20, конструкция которых отображена на приведенном схематическом изображении (рисунок 8).



1 – силовая пружина; 2 – шарик; 3 – вилка механического растормаживания;
4 – толкатель; 5 – втулка фиксатора; 6 – пружина фиксатора; 7 – поршень; 8 – диафрагма;
9 – шток

Рисунок 8 – Схема пружинного энергоаккумулятора типа 12/20

При активации стояночного или запасного тормозного механизма происходит следующий процесс: с помощью ручного тормозного крана осуществляется сброс воздуха из полости под поршнем 7. Освобожденная пружина воздействует на поршень 7. Передает усилие через шарики 2. Приводит в движение толкатель 4 энергоаккумулятора. Толкатель 4 совместно с диафрагмой 8 оказывает давление на шток 9, активирует тормозной механизм, обеспечивает полную остановку автобуса.

В аварийных ситуациях (при разгерметизации пневмосистемы или падении давления) срабатывает автоматическое торможение пружина 1 разжимается, происходит блокировка колес автобуса.

«Конструкция механизма аварийного растормаживания (для буксировки) включает толкатель поршня 7, толкатель 4 энергоаккумулятора, систему соединения через три шарика 2.

Фиксация элементов осуществляется за счет шариков, удерживающихся в корпусе поршня. Фиксирующая втулка 5 с пружиной 6 предотвращает самопроизвольное смещение. Ступенчатое отверстие втулки позволяет освобождать шарики при смещении» [1].

Преимущества системы:

- быстрое аварийное растормаживание,
- возможность буксировки при неисправностях.

Недостатки конструкции:

- необходимость использования съемной вилки 3 усложняет процесс растормаживания и требует дополнительного инструмента;
- зависимость от постоянной подачи воздуха;
- риск самопроизвольного растормаживания;
- необходимость синхронизации работы комбинированных узлов.

Выводы по разделу.

Тормозная система КамАЗ – это сложная, но надежная пневматическая система, обеспечивающая безопасность грузового автомобиля. Ее конструкция позволяет эффективно работать в тяжелых условиях эксплуатации, а разделение на контуры гарантирует отказоустойчивость.

В разделе был выполнен детальный разбор и оценка конструктивных особенностей тормозных камер, оснащённых пневматическими и комбинированными энергоаккумуляторами. Рассмотрены их сильные и слабые стороны с целью определения наиболее эффективного варианта для последующего усовершенствования.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Конструкторская часть посвящена комплексному расчету грузового автомобиля КАМАЗ с колесной формулой 6×4, в которой выполняются тягово-скоростные расчеты, изучаются динамика разгона и максимальная скорость автомобиля, а также проводится топливно-экономический анализ, позволяющий оценить потребление топлива и оптимизировать эксплуатационные характеристики транспортного средства.

2.1 Исходные данные для расчёта и компоновочная схема автомобиля

Для того чтобы выполнить тягово-динамический расчет автомобиля необходимо иметь основные характеристики рассчитываемого автомобиля.

«Исходные данные представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики основных параметров

Параметр, размерность, обозначение	Значение
Модель грузового автомобиля	КАМАЗ-65225
Колёсная формула	6×4
Собственная масса, кг	11150
в том числе: на переднюю/ заднюю ось	5200/5950
Полная масса, в том числе на переднюю/заднюю ось кг	28300, 6900/21400
Габаритные размеры, длина/ширина/высота и база, м	7280/2900/3510; 3515
Дорожный просвет, мм	308
Внешний габаритный радиус поворота, м	11,5
Максимальная скорость, км/ч	80/100
Контрольный расход топлива, при 60 км/ч, л/100км	35
Двигатель	дизельный с турбонаддувом
Число и расположение цилиндров	V-образный, 8 цилиндров
Максимальная мощность двигателя, кВт	265
Максимальный крутящий момент, Н·м	1570

Далее перейдем к расчету внешней скоростной характеристики автомобиля

2.2 Внешние скоростные характеристики автомобиля

Исходные данные для расчёта внешних характеристик двигателя представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные для расчёта внешних характеристик двигателя

Параметр	Единицы измерения	Обозначение	Значение
Автомобиль (марка)	-	-	КАМАЗ-65225
Максимальная мощность	кВт (л/с)	N_{\max}	154,4 (210)
Коэффициенты в уравнении мощности	–	a	0,53
		b	1,56
		c	1,09
Минимальная частота вращения	об/мин	n_{\min}	600
Максимальная частота вращения	об/мин	n_{\max}	2600

«Внешние скоростные (стендовые) характеристики двигателя, представляющие собой зависимости от частоты вращения коленчатого вала мощности и крутящего момента, рассчитываются для всего возможного диапазона оборотов и наносятся на график» [4].

«Расчёт выполняется по формулам:

$$N_e = N_{\max} \cdot \left[a \cdot \frac{n_e}{n_{\max}} + b \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_e}{n_{\max}} \right)^3 \right], \quad (1)$$

$$M_e = \frac{N_e}{n_e} \cdot 9554, \quad (2)$$

где n_e – текущее значение частоты вращения коленчатого вала;

N_e – текущие мощности двигателя;

N_{\max} – максимальное значение мощности двигателя;

a, b, c – коэффициенты, учитывающие тип двигателя, форму камеры сгорания, для дизельных двигателей коэффициенты равны 1» [4].

Данные расчетов заносим в таблицу 4.

Таблица 4 – Расчётные значения внешних скоростных характеристик

Параметр	Значение частоты вращения коленчатого вала при оборотах, об/мин						
	600	1000	1500	2000	2600	3000	3500
Отношение текущей и макс. частоте вращения	0,23	0,38	0,6	0,8	1	1,2	1,4
Отношения текущей и макс. частоте вращения в квадрате	0,05	0,14	0,3	0,6	1	1,3	1,8
Отношение текущей и макс. частоте вращения в кубе	0,001	0,05	0,2	0,5	1	1,5	2,5
Мощность двигателя, кВт	22,7	51,5	77,3	98,3	110,3	106,4	134,8
Крутящий момент, Н·м	361,8	410,1	410,1	391,2	329,3	282,3	368

Далее приступаем к расчету тягово-скоростной характеристики.

2.3 Тягово-скоростные характеристики автомобиля

«Тягово-скоростные характеристики, к которым относятся скорость движения, тяговые усилия на ведущих колесах и динамический фактор автомобиля, определяются по рассчитанным внешним скоростным характеристикам. Расчет выполняется для всех передач, и на основании полученных результатов делается заключение о тяговых и динамических свойствах автомобиля» [5]. Исходные данные для расчета тягово-скоростных характеристик автомобиля представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные для расчета тягово-скоростных характеристик автомобиля

Параметр	Значение
Радиус качения	0,488
Передаточное число главной передачи	5,94
Передаточное число трансмиссии	–
Первичная передача	7,82
Вторичная передача	4,03
Третья передача	2,5
Четвертая передача	1,53
Пятая передача	1,00
КПД трансмиссии	0,85

Тягово-скоростные (стендовые) характеристики автомобиля рассчитываются по формулам:

$$V_a = \frac{0,378 \cdot n_B \cdot r_K}{i_{КПП} \cdot i_{ГЛ.ПЕР.}}, \quad (3)$$

$$P_T = \frac{M_e \cdot i_{TP} \cdot i_Q \cdot \eta}{r_K}. \quad (4)$$

Производим расчеты характеристик автомобиля на передачах и заносим в таблицу 6:

Таблица 6 – Расчётные значения тягово-скоростных характеристик

Передача	Значение при оборотах n_e , об/мин							
	n_e , об/мин	600	1000	1500	2000	2600	3000	3500
	M_e , Н·м	467,19	545,82	609,74	627,17	567,36	521,2	370,9
Первая	V_a , км/ч	2,38	3,97	5,96	7,94	10,32	11,91	13,9
	P_T , Н	37799	44161	49333	50743	45904	42169	30009
Вторая	V_a , км/ч	4,63	7,71	11,57	15,42	20,05	23,13	26,99
	P_T , Н	19480	22759	25424	26150	23657	21732	15465
Третья	V_a , км/ч	7,45	12,42	18,63	24,84	32,29	37,26	43,47
	P_T , Н	12086	14120	15774	16225	14678	13483	9224
Четвертая	V_a , км/ч	12,18	20,3	30,45	40,59	52,77	60,89	71,04
	P_T , Н	7396	8640	9652	9928	8980	8251	5871
Пятая	V_a , км/ч	18,63	31,06	45,58	62,11	80,74	93,17	108,69
	P_T , Н	4835	5649	6311	6491	5872	5394	3839

Сила сопротивления качения определяется по формуле (5).

$$P_K = G \cdot f, \quad (5)$$

$$P_K = 149989 \cdot 0,015 = 2249,84.$$

Сила сопротивления дороги определяется по формуле (6).

$$P_{\text{д}} = G \cdot (f + i), \quad (6)$$

$$P_{\text{д}} = 149989 \cdot (0,015 + 0) = 2249,84 \text{ Н}.$$

«Сила сопротивления воздуха определяется по формуле (7).

$$P_B = \frac{k_B \cdot F_B \cdot V^2}{13}, \quad (7)$$

где k_B – коэффициент обтекаемости, принимаем $0,6 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$;

F_B – лобовая площадь, $7,39 \text{ м}^2$ » [21].

Сила сопротивления воздуха рассчитываем для различных скоростей:

$$P_{B10} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 10^2}{13} = 34,1 \text{ Н},$$

$$P_{B30} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 30^2}{13} = 307,0 \text{ Н},$$

$$P_{B50} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 50^2}{13} = 852,7 \text{ Н},$$

$$P_{B70} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 70^2}{13} = 1671,3 \text{ Н},$$

$$P_{B90} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 90^2}{13} = 2762,7 \text{ Н},$$

$$P_{B110} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 110^2}{13} = 4127,0 \text{ Н}.$$

Сила сопротивления дороги определяется по формуле (8).

$$P_{\text{д}} = G \cdot f \cdot \left(1 + \frac{V^2}{259200} \right), \quad (8)$$

$$P_{\text{д}10} = 2250,7 \text{ Н},$$

$$P_{Д30} = 2257,6 \text{ Н},$$

$$P_{Д50} = 2271,5 \text{ Н},$$

$$P_{Д70} = 2292,4 \text{ Н},$$

$$P_{Д90} = 2320,1 \text{ Н},$$

$$P_{Д110} = 2354,9 \text{ Н}.$$

Мощность, подводимая к ведущим колёсам автомобиля, определяется по формуле (9):

$$N_T = N_E \cdot \eta, \quad (9)$$

$$N_{T1} = 29,34 \cdot 0,85 = 24,94 \text{ кВт},$$

$$N_{T2} = 57,25 \cdot 0,85 = 48,66 \text{ кВт},$$

$$N_{T3} = 95,73 \cdot 0,85 = 81,37 \text{ кВт},$$

$$N_{T4} = 131,24 \cdot 0,85 = 111,55 \text{ кВт},$$

$$N_{T5} = 154,4 \cdot 0,85 = 131,24 \text{ кВт},$$

$$N_{T6} = 163,66 \cdot 0,85 = 139,11 \text{ кВт},$$

$$N_{T7} = 135,87 \cdot 0,85 = 115,49 \text{ кВт}.$$

Мощность, затрачиваемая на силу сопротивления дороги, определяется по формуле (10).

$$N_D = \frac{P_D \cdot V}{3600}, \quad (10)$$

$$N_{Д10} = 6,25 \text{ кВт},$$

$$N_{Д30} = 18,81 \text{ кВт},$$

$$N_{Д50} = 31,55 \text{ кВт},$$

$$N_{Д70} = 44,57 \text{ кВт},$$

$$N_{Д90} = 58 \text{ кВт},$$

$$N_{Д110} = 68,78 \text{ кВт}.$$

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздуха, определяется по формуле (11):

$$N_B = \frac{P_B \cdot V}{3600}, \quad (11)$$

$$N_{B10} = 0,095 \text{ кВт},$$

$$N_{B30} = 2,56 \text{ кВт},$$

$$N_{B50} = 11,84 \text{ кВт},$$

$$N_{B70} = 32,49 \text{ кВт},$$

$$N_{B90} = 69,05 \text{ кВт},$$

$$N_{B110} = 126,08 \text{ кВт}.$$

Сила сопротивления воздуха для каждой передачи определяется по формуле (12):

$$P_{Bi}^{n_c} = \frac{k_B \cdot F_B \cdot V^2}{13}, \quad (12)$$

$$P_{B1}^{600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 2,38^2}{13} = 1,93 \text{ Н},$$

$$P_{B2}^{600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 4,63^2}{13} = 7,29 \text{ Н},$$

$$P_{B1}^{1000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 3,97^2}{13} = 5,36 \text{ Н},$$

$$P_{B2}^{1000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 7,71^2}{13} = 20,21 \text{ Н},$$

$$P_{B1}^{1500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 5,96^2}{13} = 12,06 \text{ Н},$$

$$P_{B2}^{1500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 11,57^2}{13} = 45,51 \text{ H},$$

$$P_{B1}^{2000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 7,94^2}{13} = 21,43 \text{ H},$$

$$P_{B2}^{2000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 15,42^2}{13} = 80,84 \text{ H},$$

$$P_{B1}^{2600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 10,32^2}{13} = 36,22 \text{ H},$$

$$P_{B2}^{2600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 20,05^2}{13} = 136,68 \text{ H},$$

$$P_{B1}^{3000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 11,91^2}{13} = 48,23 \text{ H},$$

$$P_{B2}^{3000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 23,13^2}{13} = 181,9 \text{ H},$$

$$P_{B1}^{3500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 13,9^2}{13} = 65,64 \text{ H},$$

$$P_{B2}^{3500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 26,99^2}{13} = 247,68 \text{ H},$$

$$P_{B3}^{600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 7,45^2}{13} = 18,87 \text{ H},$$

$$P_{B4}^{600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 12,18^2}{13} = 50,44 \text{ H},$$

$$P_{B3}^{1000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 12,42^2}{13} = 52,45 \text{ H},$$

$$P_{B4}^{1000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 20,3^2}{13} = 140,11 \text{ H},$$

$$P_{B3}^{1500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 18,63^2}{13} = 118 \text{ H},$$

$$P_{B4}^{1500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 30,45^2}{13} = 315,25 \text{ H},$$

$$P_{B3}^{2000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 24,84^2}{13} = 209,79 \text{ H},$$

$$P_{B4}^{2000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 40,59^2}{13} = 560,17 \text{ Н},$$

$$P_{B3}^{2600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 32,29^2}{13} = 354,5 \text{ Н},$$

$$P_{B4}^{2600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 52,77^2}{13} = 946,79 \text{ Н},$$

$$P_{B3}^{3000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 37,26^2}{13} = 472 \text{ Н},$$

$$P_{B4}^{3000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 60,89^2}{13} = 1260,58 \text{ Н},$$

$$P_{B3}^{3500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 43,47^2}{13} = 642,48 \text{ Н},$$

$$P_{B4}^{3500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 71,04^2}{13} = 1715,87 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 18,63^2}{13} = 118 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{1000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 31,06^2}{13} = 328 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{1500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 45,58^2}{13} = 706,36 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{2000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 62,11^2}{13} = 1315,75 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{2600} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 80,74^2}{13} = 2216,44 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{3000} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 93,17^2}{13} = 2951,42 \text{ Н},$$

$$P_{B5}^{3500} = \frac{0,6 \cdot 7,39 \cdot 108,69^2}{13} = 4016,6 \text{ Н}.$$

«Рассчитываем динамическую характеристику автомобиля по формуле:

$$D = \frac{P_T^i \cdot P_{Bi}^{n_e}}{G_0 \cdot 9,8}, \quad (13)$$

где P_T – тяговая сила на i передаче» [7].

«Рассчитаем силу сцепления с дорогой по формуле (14).

$$D_{\text{сц.}}^i = \frac{\varphi_x \cdot m_p^i \cdot G_2}{G_a}, \quad (14)$$

где G_2 – часть массы приходящейся на ведущие колеса автомобиля с полной нагрузкой,

G_a – полная масса автомобиля,

φ_x – коэффициент предельного сцепления, принимается от 0,1 до 0,7 [6];

m_p^i – коэффициент перераспределения массы, для задней, ведущей оси автомобиля» [7].

2.4 Разгон и ускорение автомобиля

«К характеристикам разгона и ускорения, подлежащим расчету, относятся следующие: ускорения автомобиля на разных передачах; скорости, при которых происходит переключение передач; время и путь разгона до предельной скорости» [7].

«Рассчитаем ускорения проектируемого автомобиля:

$$J_m = \frac{(D - \psi) \cdot g}{\delta_{\text{врт.}}}, \quad (15)$$

где $\delta_{\text{врт.}}$ – коэффициент учета вращающихся масс на m -ой передаче.

$$\delta_{\text{врт.}} = 1,03 + 0,05 \cdot i_{TP}^2, \quad (16)$$

где i_{TP}^2 – передаточное отношение на m -ой передаче» [7].

Подставляем значения в формулы (13, 14, 15 16), рассчитываем и заносим результаты в таблицу 7.

Таблица 7 – Расчетные данные

Передача	Обозначение	Значение при оборотах n_e , об/мин						
		600	1000	1500	2000	2600	3000	3500
Первая	D	0,54	0,64	0,71	0,73	0,66	0,61	0,43
	V_a , км/ч	2,38	3,97	5,96	7,94	10,32	11,91	13,9
	J_m , м/с ²	1,27	1,51	1,68	1,73	1,56	1,44	1
	ψ	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Вторая	D	0,28	0,33	0,37	0,38	0,34	0,31	0,22
	V_a , км/ч	4,63	7,71	11,57	15,42	20,05	23,13	26,99
	J_m , м/с ²	1,41	1,68	1,89	1,95	1,73	1,57	1,09
	ψ	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Третья	D	0,17	0,2	0,23	0,23	0,21	0,19	0,12
	V_a , км/ч	7,45	12,42	18,63	24,84	32,29	37,26	43,47
	J_m , м/с ²	1,13	1,35	1,57	1,57	1,43	1,28	0,77
	ψ	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Четвертая	D	0,11	0,12	0,13	0,14	0,12	0,1	0,06
	V_a , км/ч	12,18	20,3	30,45	40,59	52,77	60,89	71,04
	J_m , м/с ²	0,81	0,89	0,98	1,07	0,89	0,72	0,38
	ψ	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015
Пятая	D	0,07	0,08	0,08	0,07	0,05	0,004	–
	V_a , км/ч	18,63	31,06	45,58	62,11	80,74	93,17	–
	J_m , м/с ²	0,5	0,59	0,59	0,5	0,32	0,23	–
	ψ	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	0,015	–

Расчет времени разгона проектируемого автомобиля.

«При проведении расчетов принимается, что разгон на каждой передаче производится при открытой дроссельной заслонке от \min до \max частоты вращения коленчатого вала.

$$J_{CP,i} = \frac{J_i + J_{i+1}}{2}, \quad (17)$$

где J_i – ускорение в начале интервала скорости;

J_{i+1} – ускорение в конце интервала скорости» [7].

Расчет средней скорости проектируемого автомобиля:

$$V_{CP} = \frac{V_i + V_{i+1}}{2 \cdot 3,6} \quad (18)$$

«Определяем время разгона проектируемого автомобиля на каждом участке:

$$\Delta t_i = \frac{\Delta V_i}{J_{CP,i}}, \quad (19)$$

где ΔV_i – разница скоростей в начале и в конце i передачи» [7].

Путь разгона автомобиля определяется по формуле:

$$\Delta S = V_{CP,i} \cdot \Delta t_i \quad (20)$$

Производим расчеты по формулам (17, 18, 19, 20) и для каждой передачи и заносим в таблицу 8.

Таблица 8 – Разгон автомобиля

Передача	n_i , об/мин	V_i , км/ч	V_{i+1} , км/ч	V_{CP} , м/с	J_i	J_{i+1}	$J_{CP,i}$	Δt_i	ΔS
Первая	600	2,38	3,97	0,88	1,27	1,51	1,39	1,14	1
	1000	3,97	5,96	1,38	1,51	1,68	1,6	1,24	1,71
	1500	5,96	7,94	1,93	1,68	1,73	1,71	1,16	2,4
	2000	7,94	10,32	2,54	1,73	1,56	1,65	1,44	3,66
	2600	10,32	11,91	3,09	1,56	1,44	1,5	1,06	3,28
	3000	11,91	13,9	3,59	1,44	1	1,22	1,63	5,85
	3500	13,9	–	–	1	–	–	–	–
Вторая	600	4,63	7,71	1,71	1,41	1,68	1,55	1,99	3,4
	1000	7,71	11,57	2,68	1,68	1,89	1,79	2,16	5,79
	1500	11,57	15,42	3,76	1,89	1,95	1,92	2,01	7,54
	2000	15,42	20,05	4,93	1,95	1,75	1,85	2,5	12,33
	2600	20,05	23,13	4	1,73	1,57	1,65	1,87	7,47
	3000	23,13	26,99	6,96	1,57	1,09	1,33	2,9	20,18
	3500	26,99	–	–	1,09	–	–	–	–
Третья	600	7,45	12,42	2,76	1,13	1,35	1,24	4,01	11,07

Продолжение таблицы 8

Передача	n_i , об/мин	V_i , км/ч	V_{i+1} , км/ч	V_{CP} , м/с	J_i	J_{i+1}	$J_{CP,i}$	Δt_i	ΔS
	1000	12,42	18,63	4,31	1,35	1,57	1,46	4,25	18,32
	1500	18,63	24,84	6,04	1,57	1,57	1,57	3,96	23,92
	2000	24,84	32,29	7,94	1,57	1,43	1,5	4,97	39,46
	2600	32,29	37,26	9,66	1,43	1,28	1,36	3,65	35,26
	3000	37,26	43,47	11,21	1,28	0,77	1,03	6,03	67,6
	3500	43,47	–	–	0,77	–	–	–	–
Четвертая	600	12,18	20,3	4,51	0,81	0,89	0,85	9,55	43,07
	1000	20,3	30,45	7,05	0,89	0,98	0,94	10,8	76,14
	1500	30,45	40,59	9,87	0,98	1,07	1,03	9,84	97,12
	2000	40,59	52,77	12,97	1,07	0,89	0,98	12,43	161,22
	2600	52,77	60,89	15,79	0,89	0,72	0,81	10,02	158,22
	3000	60,89	71,04	18,33	0,72	0,38	0,55	18,45	338,19
	3600	71,04	–	–	0,38	–	–	–	–
Пятая	600	18,63	31,06	6,9	0,5	0,59	0,55	22,6	155,94
	1000	31,06	45,58	10,64	0,59	0,59	0,59	24,61	261,85
	1500	45,58	62,11	14,96	0,59	0,5	0,55	30,05	449,55
	2000	62,11	80,74	19,84	0,5	0,32	0,41	45,44	901,53
	2600	80,74	93,17	24,16	0,32	0,23	0,28	44,39	1072,5
	3000	93,17	–	–	0,23	–	–	–	–
	3500	–	–	–	–	–	–	–	–

«Путь, пройденный автомобилем за время переключения передач определяется по формуле:

$$\Delta S_{II} = (V_H - 17 \cdot t_{II}) \cdot t_{II}, \quad (21)$$

где V_H – скорость в начале переключения передач, определяется по формуле (23)» [7].

$$V_H = V_{CP} - V_{II}, \quad (22)$$

$$V_H = 5,28 - 2,58 = 2,7 \text{ м/с},$$

$$V_H = 9,08 - 5,43 = 3,65 \text{ м/с},$$

$$V_H = 14,77 - 8,69 = 6,08 \text{ м/с},$$

$$V_H = 21,25 - 14,56 = 6,69 \text{ м/с}.$$

Далее рассчитаем топливную экономичность автомобиля.

2.5 Расчет топливной экономичности автомобиля

«Топливная экономическая характеристика представляет собой график зависимости путевого расхода топлива от скорости движения для различных дорожных условий. Путевой расход топлива определяется формуле:

$$q_{\Pi} = \frac{g_e \cdot N_e}{10 \cdot V \cdot \rho_T}, \quad (23)$$

где ρ_T – плотность топлива для бензина 740 кг/м^3 ($0,74 \text{ кг/л}$), для дизельного топлива 800 кг/м^3 ($0,8 \text{ кг/л}$)» [18].

«Удельный расход топлива зависит от числа оборотов коленчатого вала и степени использования мощности и определяется по формуле:

$$g_e = g_N \cdot K_{\text{об.}} \cdot K_{\text{и.}}, \quad (24)$$

где g_N – удельный расход топлива при максимальной мощности двигателя, для дизельного топлива равен $258,4 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$;

$K_{\text{и.}}$ – коэффициент, учитывающий изменение удельного расхода топлива от степени использования мощности» [18].

«Известно, что рациональным режимом движения с точки зрения топливной экономичности является $0,8$ от максимальной мощности, соответственно, удельный и путевой расход топлива для данных режимов движения определяется по формуле [18]:

$$g_e = 258,4 \cdot 0,8 \cdot 0,7 = 144,7 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}.$$
$$q_{\Pi} = \frac{144,7 \cdot (154,4 \cdot 0,8)}{10 \cdot (80 \cdot 0,8) \cdot 0,8} = 34,9 \text{ л/100 км}. \quad (25)$$

Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунках (9, 10).

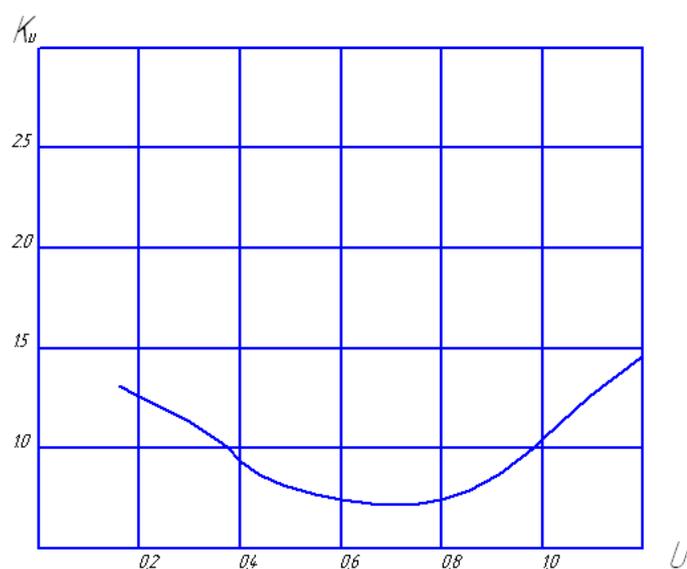


Рисунок 9 – График зависимости коэффициента, учитывающего изменение удельного расхода топлива от степени использования мощности

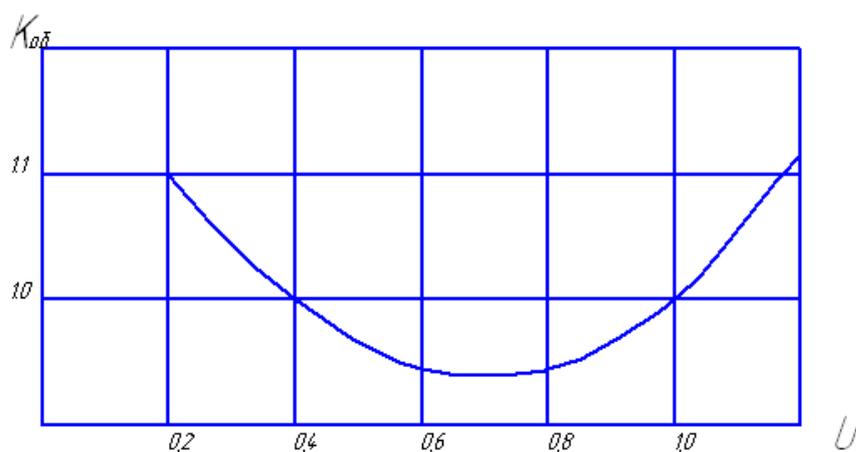


Рисунок 10 – График зависимости коэффициента, учитывающий изменение удельного расхода топлива в зависимости от степени использования мощности

На основании представленных данных построена экономическая характеристика автомобиля, отражающая зависимость расхода топлива от скорости движения. График наглядно демонстрирует, что минимальный расход топлива достигается при определенной оптимальной скорости,

отклонение от которой в обе стороны приводит к росту потребления горючего. Полученные результаты служат основой для выработки рекомендаций по рациональному вождению, позволяющих экономить топливо и продлевать ресурс силовой установки автомобиля.

Выводы по разделу.

В данном разделе осуществлено тягово-динамическое исследование грузового автомобиля с колесной компоновкой 6×4, специально адаптированного для повышенной проходимости. Был проведен подробный расчет динамических характеристик автомобиля, в частности определены показатели тягового усилия, скоростей разгона и предельных возможностей транспортного средства в условиях бездорожья. Оценивались важнейшие параметры, влияющие на управляемость и устойчивость автомобиля при перевозке груза.

3 Разработка конструкции усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором

3.1 Схема и принцип действия предлагаемой конструкции

«За время эксплуатации автомобиля, не редко возникает необходимость стоянки на наклонной поверхности дороги, для избегания самопроизвольного скатывания, на крупных автобусах и грузовиках массой более восьми тонн, управляет работой колодок, посредством пружины, энергоаккумулятор. У грузовиков марки КАМАЗ применена подобная тормозная система с пружинным энергоаккумулятором поршневого типа, надежная конструкция пружинного энергоаккумулятора, разработана и внедрена в производство в пятидесятых годах девятнадцатого века» [13].

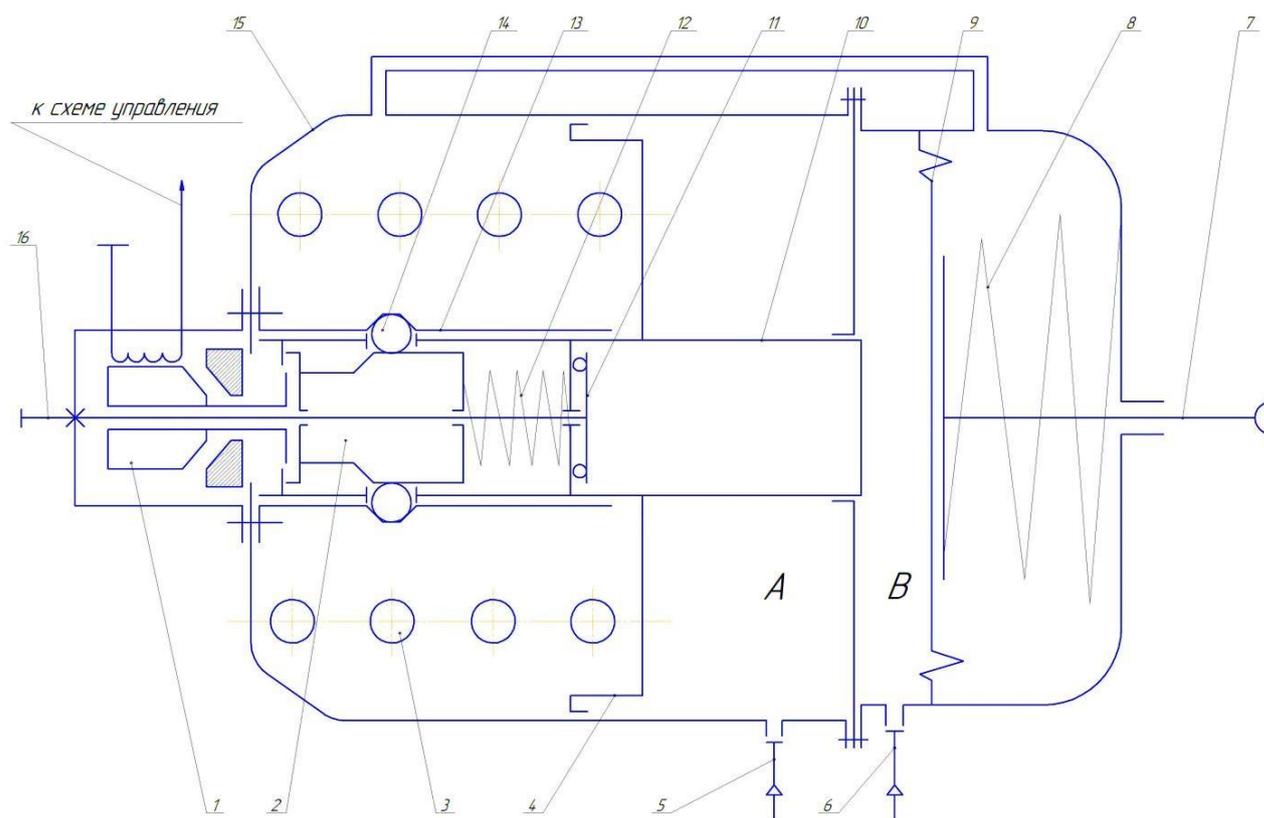
Целью работы является получение сбалансированной, надежной конструкции пружинного энергоаккумулятора, которая позволит обеспечить длительный срок гарантированной и безотказной работы тормозной системы и автомобиля в целом.

«Рассмотрим энергоаккумулятор (рисунок 11) перечислив основные элементы: стальной корпус 15, мощная силовая пружина 3, распрямляясь, создает усилие не менее двух тонн на днище поршня 4 с толкателем 10, сдвигают тормозную диафрагму 9 со штоком 7, деформируя возвратную пружину 8; в механизме фиксации происходят свои процессы: обесточенный электромагнит 1, теряет электромагнитное поле, удерживающее распорный золотник 2, пружина фиксатора 12 смещает его относительно втулки фиксатора 13, освобождая из фиксации упорные стальные шарики 14; в конструкции предусмотрен винт ручного отключения тормоза 15 и снижающий осевые нагрузки на вал, однорядный упорный подшипник, подпятник, воспринимающий одностороннюю, осевую нагрузку 11» [13].

«Улучшая и расширяя функционал энергоаккумулятора, вносим существенные изменения в действующую конструкцию, добавлены

дополнительные элементы, расширяющие функционал энергоаккумулятора. Для ручной разблокировки механизма фиксатора применяется винт ручного отключения тормоза, вкручивающийся по нарезанной резьбе, осевого отверстия в цилиндре энергоаккумулятора, смещая распорный золотник 2, вытягивающим сердечником управляющего электромагнита 1. На стенке направляющего поршня 4, цилиндра, радиально выполнено шесть сферических углублений, равных диаметру упорных шариков 14. В поршень вмонтирован механизм фиксации силовой пружины, состоящий из шести упорных стальных шариков» [13].

Спецификация на тормозную камеру с энергоаккумулятором представлена в Приложении А (рисунок А.1, А.2, А.3).



1 – электромагнит; 2 – распорный золотник; 3 – силовая пружина; 4 – поршень; 5 – поток из стояночного контура; 6 – поток из рабочей тормозной системы; 8 – тормозная диафрагма; 7 – шток; 9 – пружина возвратная; 10 – толкатель; 11 – упорный подшипник; 12 – пружина фиксатора; 13 – втулка фиксатора; 14 – упорные шарики; 15 – сталь корпус

Рисунок 11 – Улучшенная тормозная камера энергоаккумулятора с электромагнитом

«Встроенный электромагнит призван для дублирования действий по сжатию силовой пружины давлением воздуха, или полного замещения, в аварийных ситуациях, поломки компрессора или разгерметизации тормозного контура. Утечка воздуха из системы или полная поломка компрессора, приведет к резкому срабатыванию энергоаккумулятора, распрямлению силовой пружины и как следствие, блокировке колес, тормозными колодками, создав неожиданно, аварийную ситуацию на проезжей части. Встроенный электромагнит, во время движения автомобиля, дублируя функциональные обязанности компрессора по поддержанию рабочего давления в тормозной системе и удерживая пружину в сжатом состоянии, предотвратит потенциальное дорожное происшествие» [29].

3.2 Управление усовершенствованной конструкцией энергоаккумулятора

«Физические процессы энергоаккумулятора, с электромагнитом в ситуации:

- для снижения скорости движения автомобиля, водитель нажимает педаль тормоза, направляя поток сжатого воздуха, стремящегося выровнять давление, из воздушных ресиверов и правый цилиндр, диафрагма деформируется, выдавливая шток наружу, поворачивая рычаг с устройством, прижимающим тормозные колодки к колесным барабанам, замедляя автомобиль. Если не отпустить педаль тормоза, то автомобиль остановится;
- при движении исправного автомобиля, сжатый воздух поступает в полость А, созданное давление давит на поршень, поддерживая силовую пружину в сжатом состоянии, толкатель переместившись влево, освободил место диафрагме со штоком выдавленным пружиной. Вошедший в полость корпуса шток, вернул рычаг с

разжимным кулаком, ослабив действие на тормозные колодки, позволяя колесам свободно вращаться» [29].

«Действия водителя в различных ситуациях:

- для выезда с парковки исправного автомобиля, шофер должен закрыть кран выхода воздуха из энергоаккумулятора, включить электромагнит, который сжимая силовую пружину поршнем, переместит толкатель влево, освободив место диафрагме со штоком выдавленным пружиной. Вошедший в полость корпуса шток, вернул рычаг с разжимным кулаком, ослабив действие на тормозные колодки, позволяя колесам свободно вращаться. Второй вариант: закрыв кран выхода воздуха из энергоаккумулятора, завести двигатель, компрессор подаст сжатый воздух в полость А, созданное давление, сожмет силовую пружину поршнем, переместит толкатель влево, освободив место диафрагме со штоком выдавленным пружиной. Вошедший в полость корпуса шток, вернул рычаг с разжимным кулаком, ослабив действие на тормозные колодки, позволяя колесам свободно вращаться;
- шофер решивший поставить свой автомобиль на стояночный тормоз, должен выпустить воздух из энергоаккумулятора, сравнив давление с атмосферным, стравив избыточное, открыв специальный кран, предварительно отключив питание электромагнита. Силовая пружина распрямляется, толкая цилиндр с толкателем, воздействуя на мембрану, выталкивая шток, поворачивающий разжимной кулак блокирующий вращение колес тормозными колодками» [27];
- запасной тормозной контур является дублером штатной тормозной системы и может помочь водителю затормозить автомобиль в аварийной ситуации. Водитель закрывает кран подачи сжатого воздуха в цилиндры энергоаккумуляторов, порционно стравливая из них давление, распрямляем постепенно силовую пружину, перемещая поршень выдавливающий шток, через мембрану,

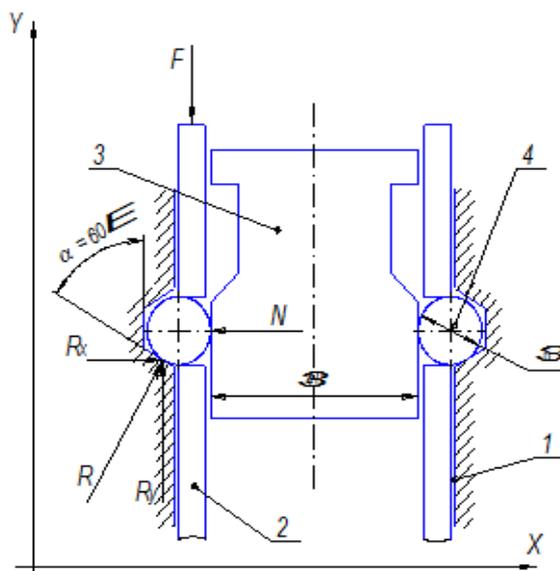
- наружу, поворачивая разжимные кулаки, отвечающие за работу тормозных колодок, замедляя автомобиль до полной остановки;
- в аварийной ситуации, поломки ресивера, отсутствие давления в одном из основных автономных контуров, для разблокирования колесных тормозов автомобиля, водителю рекомендовано переключить тройной защитный клапан, он автоматически отключает неисправный, один из двух, воздушный контур, взамен подключая дополнительный, аварийного растормаживания.

Спецификация на кран управления стояночным тормозом представлена в Приложении А (рисунок А.4, А.5).

3.3 Расчет деталей усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором

Выполним расчет прочности фиксирующего механизма.

«Расчетная схема фиксирующего механизма приведена на рисунке 12.



- 1 – направляющая поршня (неподвижная деталь фиксатора); 2 – поршень; 3 – распорный золотник;
4 – распорный шарик

Рисунок 12 – Расчетная схема фиксирующего механизма

Фиксирующий механизм служит для удержания силовой пружины в сжатом положении. Таким образом, детали механизма фиксирования должны выдерживать значительные нагрузки в течение длительного времени. Детали фиксатора включают в себя цилиндрические и сферические поверхности, что приводит к образованию высоконагруженных звеньев» [30].

«Прочность и долговечность контактирующих поверхностей оценивают по контактными напряжениями. Расчетные контактные напряжения при касании в точке определяются по формуле:

$$\sigma_H = 0,55 \cdot \sqrt{\frac{F_n \cdot E_{np}^2}{\rho_{np}^2}} \leq [\sigma], \quad (26)$$

где F_n – сила прижатия, нормальная к поверхности контакта, в сжатом состоянии, принимается равной 800 кг или 7840 Н;

E_{np} – модуль упругости для стали, принимается равным 2×10^5 МПа;

ρ_{np} – радиус кривизны поверхности контакта» [16].

«Радиус кривизны поверхности:

$$\rho_{np} = \frac{1}{\frac{1}{r_1} \pm \frac{1}{r_2}}, \quad (27)$$

где r_1, r_2 – радиусы поверхностей» [16].

Определим силы, действующие в механизме фиксатора. Для этого рассмотрим рисунок 12. Рассмотрим уравнения равновесия системы в проекциях на оси ОХ и ОУ:

$$\begin{aligned} \Sigma OX : R_x - N &= 0, \\ R \cdot \cos \alpha - N &= 0, \end{aligned} \quad (28)$$

$$\Sigma OY : R_y - F = 0, \quad (29)$$

$$R \cdot \sin \alpha - F = 0.$$

Подставляя численные значения в выражения получим:

$$R = \frac{7840}{\sin 60^\circ} = 9052 \text{ Н},$$

$$N = 9052 \cdot \cos 60^\circ = 4526 \text{ Н}.$$

«Условие прочности для кинематической пары 1 – 4:

$$\sigma_H = 0,55 \cdot \sqrt[3]{\frac{R \cdot E_{np}^2}{n \cdot \rho_{np}^2}} \leq [\sigma], \quad (30)$$

где n – число опорных шариков» [16].

$$\rho_{np} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{\infty}} = 3 \text{ мм},$$

$$\sigma_H = 0,55 \cdot \sqrt[3]{\frac{9052 \cdot 10^{-3} \cdot (2 \cdot 10^5)^2}{6 \cdot 3^2}} = 827 \text{ МПа}.$$

Выполним расчет винтовой пары приспособления для механического растормаживания.

«Основным видом разрушения крепежной резьбы является срез витков. В соответствии с этим основным критерием работоспособности и расчета для крепежной резьбы являются прочность, связанная с напряжениями среза. Винт в соединении находится нагруженным растягивающей силой. Следовательно, винт необходимо рассчитать по нормальным напряжениям

растяжения. Тогда условие прочности при центральном растяжении примет вид:

$$\delta = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d^2} \leq \delta_{\max}, \quad (31)$$

где F – усилие растяжения (усилие пружины в сжатом состоянии);
 d – диаметр винта;
 δ_{\max} – максимальные напряжения растяжения» [19].

«Показатель максимального напряжения растяжения показывает максимально допустимые нагрузки с учетом коэффициента запаса прочности.

$$\delta_{\max} = \frac{[\delta]}{k}, \quad (32)$$

где $[\delta]$ – предельные напряжения при растяжении, для стали Ст.3 принимаются равными 100 МПа;
 k – коэффициент запаса, при переменной нагрузке принимается равным 1,5» [6].

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 1,5 \cdot 7840}{3,14 \cdot 100 \cdot 10^6}} \approx 0,012 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр винта равным 12 мм.

«Расчет длины резьбы в крышке электромагнита ведем по условию прочности резьбы на срез:

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot d \cdot H \cdot K \cdot K_m} \leq \tau_{\max}, \quad (33)$$

где d – диаметр резьбы;
 H – длина резьбы;

K – коэффициент полноты резьбы, для прямоугольной резьбы принимается равным 0,87;

K_m – коэффициент неравномерности нагрузки, для прямоугольной резьбы принимается равным 0,65;

τ_{\max} – максимальные напряжения сдвига» [9].

«Максимальные напряжения сдвига определяется по формуле:

$$\tau_{\max} = \frac{[\tau]}{K_1}, \quad (34)$$

где $[\tau]$ – предельное напряжение среза, для стали Ст3 100 МПа;

K_1 – коэффициент запаса прочности, принимается равным 2» [6].

Подставляя выражение (9) в (8) получим:

$$H \geq \frac{2 \cdot 7840}{3,14 \cdot 12 \cdot 10^{-3} \cdot 0,87 \cdot 0,65 \cdot 100 \cdot 10^6} \approx 0,008 \text{ м.}$$

Выполним расчет заклепочного соединения направляющей поршня.

«Направляющая поршня соединена с цилиндром энергоаккумулятора при помощи заклепочного соединения. В расторможенном положении поршень энергоаккумулятора передает направляющей поршня усилие от сжатой силовой пружины. При этом заклепочное соединение будет испытывать растягивающие нагрузки, следовательно, заклепки необходимо рассчитывать по нормальным напряжениям растяжения. Тогда условие прочности при центральном растяжении примет вид:

$$\delta = \frac{4 \cdot N}{\pi \cdot d^2} \leq \delta_{\max}, \quad (35)$$

где N – усилие, приходящееся на одну заклепку;

d – диаметр заклепки» [25].

«Усилие, приходящееся на одну заклепку, определяется отношением усилия силовой пружины в деформированном состоянии к числу заклепок в соединении:

$$N = \frac{F}{n}, \quad (36)$$

где F – усилие пружины в сжатом состоянии, принимается равным $800 \text{ кг} = 7840 \text{ Н}$;
 n – число заклепок» [2].

Подставив выражения (36) в (35) и приняв число заклепок равным 5, коэффициент запаса равным 2 имеем:

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot 7840}{3,14 \cdot 5 \cdot 100 \cdot 10^6}} = 0,0059 \text{ м.}$$

Окончательно принимаем диаметр заклепок равным 6 мм.

Выполним расчет заклепочного соединения корпуса электромагнита.

«Корпус электромагнита нагружен и воспринимает периодические нагрузки, в виде момента сопротивления от вывинчивания винта механического растормаживания. Заклепочное соединение в собранном состоянии воспринимает нагрузку аналогично болтовому соединению поставленному без зазора. При расчете прочности соединения не учитывают силы трения в стыке. Стержень рассчитывают по напряжениям среза.

Условие прочности по напряжениям среза:

$$\tau = \frac{F_t}{\frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot i} \leq \tau_{\max}, \quad (37)$$

где F_t – окружная сила;

d – диаметр заклепки;

i – число заклепок.

$$F_t = \frac{T_T}{r_3}, \quad (38)$$

где T_T – момент сопротивления вывинчиванию от сил трения;

r_3 – осевой радиус заклепок» [6].

«Момент сопротивления вывинчиванию от сил трения определяется по формуле:

$$T_T = 0,5 \cdot F \cdot d_2 \cdot \left[\frac{D_{ep}}{d_2} \cdot f + tg(\psi + \varphi) \right], \quad (39)$$

где F – осевое усилие от силовой пружины, Н;

f – коэффициент трения;

d_2 – средний диаметр резьбы, мм;

ψ – угол подъема резьбы, для крепежной резьбы – 3° ;

φ – угол трения в резьбе, для крепежной резьбы – 10° » [6].

Подставляя численные значения в выражение (39) получаем:

$$T_T = 0,5 \cdot 7840 \cdot 11,5 \cdot 10^{-3} \cdot \left[\frac{10,5}{11,5} \cdot 0,2 + tg(3 + 10) \right] = 19,6 \text{ Н.}$$

$$d \geq \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \cdot 19,6}{3,14 \cdot 5 \cdot 38 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 10^6}} = 0,0035 \text{ м.}$$

Принимаем диаметр заклепок равным 4 мм.

«Выполним расчет пружины фиксирующего устройства.

Для расчета параметров пружины первоначально задаемся начальными условиями. Рабочий ход пружины 6,5 мм, усилие пружины при рабочей

деформации 20 Н, усилие при предварительной деформации 12 Н, с учетом диаметра золотника принимаем внутренний диаметр пружины 16 мм» [6].

«Предварительно по таблице 11.1 [11] принимаем пружину I класса, разряда 1. Учитывая, что средний диаметр пружины больше 16 мм, и ориентируясь на диаметр проволоки 1,5 мм, принимаем $c=15$, $k=1,16$ » [11].

«Тогда сила пружины при максимальной деформации:

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - \delta}, \quad (40)$$

где δ – относительный зазор, принимаемый в зависимости от класса пружины и характера воспринимаемой нагрузки, принимается равным 0,1» [11].

$$F_3 = \frac{20}{1 - 0,1} = 22,2 \text{ Н.}$$

Находим диаметр проволоки по формуле:

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{k \cdot c \cdot F}{[\tau]}}, \quad (41)$$

$$d = 1,6 \cdot \sqrt{\frac{1,16 \cdot 15 \cdot 22,2}{750}} = 1,15 \text{ мм.}$$

Принимаем диаметр равным 1,2 мм.

«Определяем наружный и внутренний диаметры пружины:

$$D_H = D + d, \quad (42)$$

$$D_B = D - d. \quad (43)$$

Средний диаметр пружины:

$$D = d \cdot c, \quad (44)$$

$$D = 1,2 \cdot 15 = 18 \text{ мм},$$

$$D_H = 18 + 1,2 = 19,2 \text{ мм},$$

$$D_B = 18 - 1,2 = 16,8 \text{ мм}.$$

Жесткость пружины определяется по формуле:

$$z = \frac{F_2 - F_1}{h} = \frac{F_2}{\lambda_2} \quad (45)$$

где F_1 – сила пружины при предварительной деформации, Н;

h – рабочий ход, мм;

F_2 – рабочая деформация, мм» [6].

$$z = \frac{20 - 12}{6,5} = 1,2 \text{ Н/мм}.$$

Производительная деформация:

$$\lambda_1 = \frac{F_1}{z}, \quad (46)$$

$$\lambda_1 = \frac{12}{1,2} = 10 \text{ мм}.$$

«Рабочая деформация:

$$\lambda_2 = \frac{F_2}{z}, \quad (47)$$

$$\lambda_2 = \frac{20}{1,2} = 16,7 \text{ мм}.$$

Максимальная деформация:

$$\lambda_3 = \frac{F_3}{z}, \quad (48)$$
$$\lambda_3 = \frac{22,2}{1,2} = 18,5 \text{ мм.}$$

Жесткость одного витка:

$$z_1 = \frac{G \cdot d}{8 \cdot c^3} = \frac{10^4 \cdot d}{c^3}, \quad (49)$$

где G – модуль сдвига материала проволоки, для стали равняется $8 \cdot 10^4$ МПа» [6].

$$z_1 = \frac{10^4 \cdot 1,2}{15^3} = 3,6 \text{ Н/мм.}$$

«По таблице 11.3 [17] принимаем пружину №239 ГОСТ 13767-86 со следующими характеристиками: F_{max} 24 Н; d 1,2 мм; D_n 20 мм; D 18 мм; z_1 7,5 Н/мм; наибольший прогиб одного витка 3,052 мм» [6].

Выводы по разделу.

Разработанная модернизированная тормозная камера с пружинным аккумулятором принципиально отличается от традиционных решений благодаря конструктивным особенностям.

В торцевой стенке цилиндра выполнено центральное отверстие, выполняющее двойную функцию:

- обеспечивает точное центрирование электромагнитного узла,
- служит направляющей для втулки фиксатора.

Через это отверстие реализован механизм разблокировки с помощью распорного золотника, управляемого электромагнитом.

В направляющей части поршня расположены шесть посадочных гнезд для упорных шариков.

Совместная работа следующих элементов образует надежную систему фиксации:

- поршень с шариковыми упорами,
- распорный золотник,
- направляющая втулка.

Данное решение позволяет надежно удерживать силовую пружину в сжатом состоянии без необходимости постоянной подачи воздуха

Ключевые преимущества новой конструкции:

- повышенная безопасность: исключается риск аварийных ситуаций, связанных с разгерметизацией контура стояночного тормоза; обеспечивается надежное удержание тормозного механизма в расторможенном положении независимо от состояния пневмосистемы;
- энергоэффективность: существенно снижается потребление сжатого воздуха тормозной системой; уменьшается нагрузка на компрессор и пневмомагистрали; повышается общая энергетическая эффективность работы тормозного привода;
- функциональные преимущества: возможность длительного поддержания расторможенного состояния без подачи воздуха; повышенная надежность работы в экстремальных условиях эксплуатации; снижение износа элементов пневмосистемы.

Данная конструкция представляет собой значительный шаг вперед в развитии тормозных систем для тяжелой техники, сочетая в себе повышенную безопасность с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

4 Технологический раздел

Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов.

В ходе данного процесса осуществляется:

- поэтапная интеграция отдельных элементов в функциональные узлы,
- комплексирование механизмов в единую систему,
- формирование готового транспортного средства.

Все операции выполняются в соответствии с: техническими спецификациями производителя, нормативными требованиями безопасности, параметрами качества сборки, производственными стандартами предприятия.

Ключевыми характеристиками процесса являются: четкая последовательность операций, контроль на каждом этапе сборки, соблюдение технологических нормативов, обеспечение заданных эксплуатационных качеств конечного продукта.

Результатом процесса становится полностью функциональное транспортное средство, соответствующее всем заявленным техническим и эксплуатационным требованиям.

Трудоемкость сборочных работ при производстве автомобилей и тракторов определяется совокупностью следующих ключевых факторов:

- конструктивные особенности: сложность и количество соединяемых узлов; степень унификации деталей; применение модульных принципов сборки;
- технологические аспекты: тип организации производства (конвейерная/позиционная сборка); степень механизации и автоматизации процессов; используемое оборудование и оснастка; требования к точности соединений;

- человеческий фактор: квалификация рабочих; организация рабочих мест; система контроля качества; применение нормативов времени.

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

- для крупногабаритных конструкций (корпуса машин, рамы) требуются: подъемно-транспортное оборудование (мостовые краны, тельферы), специализированные сборочные стенды, позиционная организация работ;
- мелкие узлы и компоненты позволяют применять: роботизированные сборочные комплексы, конвейерные линии, высокую степень автоматизации.

4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки

Рациональная организация сборки – это оптимизация процесса сборки изделий для минимизации времени, затрат и трудоёмкости при обеспечении высокого качества.

Основные принципы рациональной организации сборки:

- разделение сборки на узлы и подузлы;
- сборка сложных изделий разбивается на отдельные узлы, которые собираются параллельно, это ускоряет процесс и позволяет специализировать рабочие места;
- поточный метод сборки: организация конвейерных линий с чётким тактом (ритмом) работы. Каждая операция выполняется за фиксированное время на отдельной рабочей позиции;
- механизация и автоматизация: использование сборочных роботов, автоматических линий, пневмо- и электроинструмента;
- внедрение систем ЧПУ (числового программного управления) для точной сборки;

- стандартизация и унификация: применение одинаковых крепёжных элементов, соединений и методов сборки; использование модульных конструкций для упрощения сборки;
- оптимизация трудовых процессов: изучение и устранение лишних движений (методы научной организации труда);
- правильная организация рабочего места (эргономика, доступность инструментов): контроль качества на каждом этапе, встроенный контроль (проверка узлов после каждой операции), использование систем визуализации дефектов (например, контрольные метки, датчики);
- логистика и снабжение: чёткое планирование подачи деталей и комплектующих к месту сборки (система «just-in-time»); минимизация простоев из-за нехватки материалов.

Методы оптимизации сборки:

- метод групповой сборки – одновременная сборка однотипных изделий;
- комплекточные тележки/контейнеры – предварительная подготовка деталей для каждой операции;
- использование CAD/CAM-систем – цифровое моделирование сборки для выявления ошибок до производства.

Учитывая ограниченный спрос на модифицированную конструкцию тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит: минимизировать издержки за счёт гибкости производства, избежать избыточных запасов комплектующих, адаптировать процесс под индивидуальные требования заказчиков.

В отличие от массового выпуска, мелкосерийная сборка обеспечит экономическую целесообразность при небольшом количестве заказов.

В условиях мелкосерийного выпуска применяется стационарная непоточная сборка, при которой процесс делится на два ключевых этапа:

- узловая сборка – формирование отдельных компонентов конструкции;
- общая сборка – компоновка готовых узлов в конечное изделие.

Работы выполняются специализированными бригадами, что обеспечивает: гибкость производственного процесса, эффективное использование квалификации персонала, возможность параллельного выполнения операций.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_{д} = \frac{F_{д} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (50)$$

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

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 120 шт.» [8].

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

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства.

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая: графическую схему последовательности операций, детальное описание всех сборочных этапов. Данный подход обеспечивает: четкую стандартизацию производственных этапов, контроль трудоемкости операций, минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки пружинного энергоаккумулятора КамАЗ приведена в таблице 9.

Таблица 9 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ

Операции, входящие в состав основных и вспомогательных переходов	Время, мин.
«Взять цилиндр в сборе	0,1
Осмотреть цилиндр в сборе на наличие дефектов	0,2
Взять пружину	0,1» [16].
Осмотреть пружину на наличие дефектов	0,2
Установить пружину в цилиндр в сборе	0,3
Взять кольцо направляющее	0,1
Осмотреть кольцо направляющее на наличие дефектов	0,2
Установить кольцо направляющее в цилиндр в сборе	0,3
Взять уплотнитель	0,1
Осмотреть уплотнитель на наличие дефектов	0,2
Установить уплотнитель в цилиндр в сборе	0,3
Взять поршень в сборе	0,1
Осмотреть поршень в сборе на наличие дефектов	0,2
Взять винт, шайбу уплотнительную	0,1
Установить поршень в сборе на цилиндр в сборе при помощи винта, шайбы уплотнительной	0,4
Взять кольцо, кольцо подшипника, подшипник, кольцо упорное, кольцо упорное	0,2
Установить кольцо подшипника, подшипник, кольцо упорное, кольцо упорное в поршень в сборе	0,5
Взять кольцо	0,1
Установить кольцо на поршень в сборе	0,3
Взять кольцо, кольцо направляющее	0,1
Взять фланец	0,1
Осмотреть фланец на наличие дефектов	0,2
Взять кольцо, толкатель	0,1
Установить кольцо, кольцо направляющее, кольцо, толкатель во фланец	0,4
Взять болт М8-6g (8шт.), шайбу 8 (8шт.), гайку М6 (8шт.)	0,3
Закрепить поршень в сборе с цилиндром в сборе при помощи болтов М8-6g (8шт.), шайб 8 (8шт.), гаек М6 (8шт.)	2
Взять корпус в сборе	0,1
Осмотреть корпус в сборе на наличие дефектов	0,2
Взять фланец в сборе	0,1
Осмотреть фланец в сборе на наличие дефектов	0,2
Установить фланец в сборе в корпус в сборе	0,3
Взять пружину	0,1
Осмотреть пружину на наличие дефектов	0,2
Установить пружину на фланец в сборе	0,5
Взять шток	0,1
Осмотреть шток на наличие дефектов	0,2

Продолжение таблицы 9

Операции, входящие в состав основных и вспомогательных переходов	Время, мин.
Взять гайку	0,1
Взять чехол защитный	0,1
Осмотреть чехол на наличие повреждений	0,2
Взять вилку	0,1
Осмотреть вилку на наличие дефектов	0,2
Соединить шток, гайку, чехол защитный, вилку	0,5
Взять шайбу плоскую 14x28x3	0,1
Взять гайку	0,1
Установить подсобранный шток с гайкой, чехлом защитным, вилкой в корпус в сборе и зафиксировать с помощью шайбы плоской 14×28×3 и гайки	0,6
Взять диск	0,1
Осмотреть диск на наличие дефектов	0,2
Установить диск	0,3
Взять колпачок	0,1
Осмотреть колпачок на наличие дефектов	0,2
Установить колпачок	0,3
Взять мембрану	0,1
Осмотреть мембрану на наличие дефектов	0,2
Установить мембрану	0,3
Взять хомут (2 шт.)	0,1
Взять болт М8-6g (2 шт.)	0,1
Установить при помощи хомутов и болтов подсобранный корпус на подсобранный цилиндр в сборе	0,7
Проверить работоспособность энергоаккумулятора	15
Итого:	28,9

Для оптимизации производственного графика выполним расчет суммарной продолжительности всех технологических операций по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots + t_{on_n}. \quad (51)$$

Методика расчета основана на суммировании нормированного времени по всем позициям технологической карты с применением поправочных коэффициентов. Полученные данные позволяют точно планировать производственные мощности и загрузку оборудования.

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{шт}^{общ} = t_{он}^{общ} + t_{он}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (52)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимается равным 3%;
 β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимается равным 5%» [23].

$$t_{шт}^{общ} = 70,7 + 70,7 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 76,35 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составляет 76,35 мин.

4.2 Разработка технологического процесса сборки

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 10.

Таблица 10 – Технологический процесс сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ

Номер операции	Наименование технологической операций	Позиция	Содержание работ	Оснащение (оборудование, инструмент, приспособление)	Суммарные временные затраты, мин.
005	Сборочная	1	Взять цилиндр в сборе	Стенд для сборки и разборки, набор гаечных ключей и головок, молоток (резиновый/металлический, отвертки (плоская, крестовая), оправка для установки манжет и уплотнений	13,9
		2	Осмотреть цилиндр в сборе на наличие дефектов		
		3	Взять пружину		
		4	Осмотреть пружину на наличие дефектов		
		5	Установить пружину в цилиндр в сборе		
		6	Взять кольцо направляющее		
		7	Осмотреть кольцо		

Продолжение таблицы 10

Номер операции	Наименование технологической операции	Позиция	Содержание работ	Оснащение (оборудование, инструмент, приспособление)	Суммарные временные затраты, мин.
			направляющее на наличие дефектов		
		8	Установить кольцо направляющее в цилиндр в сборе		
		9	Взять уплотнитель		
		10	Осмотреть уплотнитель на наличие дефектов		
		11	Установить уплотнитель в цилиндр в сборе		
		12	Взять поршень в сборе		
		13	Осмотреть поршень в сборе на наличие дефектов		
		14	Взять винт, шайбу уплотнительную		
		15	Установить поршень в сборе на цилиндр в сборе при помощи винта, шайбы уплотнительной		
		16	Взять кольцо, кольцо подшипника, подшипник, кольцо упорное, кольцо упорное		
		17	Установить кольцо подшипника, подшипник, кольцо упорное, кольцо упорное в поршень в сборе		
		18	Взять кольцо		
		19	Установить кольцо на поршень в сборе		
		20	Взять кольцо, кольцо направляющее		
		21	Взять фланец		
		22	Осмотреть фланец на наличие дефектов		

Продолжение таблицы 10

Номер операции	Наименование технологической операции	Позиция	Содержание работ	Оснащение (оборудование, инструмент, приспособление)	Суммарные временные затраты, мин.
		23	Взять кольцо, толкатель		
		24	Установить кольцо, кольцо направляющее, кольцо, толкатель во фланец		
		25	Взять болт М8-6g (8шт.), шайбу 8 (8шт.), гайку М6 (8шт.)		
		26	Закрепить поршень в сборе с цилиндром в сборе при помощи болтов		
		27	Взять корпус в сборе		
		28	Осмотреть корпус в сборе на наличие дефектов		
		29	Взять фланец в сборе		
		30	Закрепить поршень в сборе с цилиндром в сборе при помощи болтов М8-6g (8шт.), шайб 8 (8шт.), гаек М6 (8шт.)		
		31	Осмотреть фланец в сборе на наличие дефектов		
		32	Установить фланец в сборе в корпус в сборе		
		33	Взять пружину		
		34	Осмотреть пружину на наличие дефектов		
		35	Установить пружину на фланец в сборе		
		36	Взять шток		
		37	Осмотреть шток на наличие дефектов		

Продолжение таблицы 10

Номер операции	Наименование технологической операции	Позиция	Содержание работ	Оснащение (оборудование, инструмент, приспособление)	Суммарные временные затраты, мин.
		38	Взять гайку		
		39	Взять чехол защитный		
		41	Осмотреть чехол на наличие повреждений		
		42	Взять вилку		
		43	Осмотреть вилку на наличие дефектов		
		44	Соединить шток, гайку, чехол защитный, вилку		
		45	Взять шайбу плоскую 14x28x3		
		46	Взять гайку		
		47	Установить подсобранный шток с гайкой, чехлом защитным, вилкой в корпус в сборе и зафиксировать с помощью шайбы плоской 14×28×3 и гайки		
		48	Взять диск		
		49	Осмотреть диск на наличие дефектов		
		50	Установить диск		
		51	Взять колпачок		
		52	Осмотреть колпачок на наличие дефектов		
		53	Установить колпачок		
		54	Взять мембрану		
		55	Осмотреть мембрану на наличие дефектов		
		56	Установить мембрану		
		57	Взять хомут (2 шт.)		
		58	Взять болт М8-6g (2 шт.)		
		59	Установить при помощи хомутов и болтов		

Продолжение таблицы 10

Номер операции	Наименование технологической операции	Позиция	Содержание работ	Оснащение (оборудование, инструмент, приспособление)	Суммарные временные затраты, мин.
			подсобранный корпус на подсобранный цилиндр в сборе		
010	Регулировочная	1	Проверить работоспособность энергоаккумулятора	Манометр, линейка или штангенциркуль	15

Дополнительные требования при сборке и испытаниях.

Ресурсные требования: минимальный срок службы: 300 000 км пробега или 5 лет, количество рабочих циклов: не менее 500 000, износ штока: не более 0,1 мм на 100 000 км.

Запрещена сборка без фиксации пружины ЭА (риск разрыва и травм). Обязательна проверка на стенде перед установкой на автомобиль. Не допускается использование поврежденных деталей (трещины, износ штока, коррозия). Собранная тормозная камера с энергоаккумулятором должна соответствовать ГОСТ Р 41.13 (Правила ЕЭК ООН № 13) по тормозным системам. Узел подлежит обязательному бракованию при: наличии даже незначительных трещин в корпусе, снижении усилия пружины более чем на 15% от номинала, задирах на штоке длиной более 5 мм, наличии коррозии на ответственных поверхностях, несоответствии любого из контрольных параметров. Если параметры не соответствуют – узел бракуется.

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ.

Выводы по разделу.

В данном разделе проведено обоснование выбранного технологического процесса, рассчитана трудоемкость сборки, а также разработан и визуализирован в графической части ВКР технологический процесс сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором.

5 Безопасность и экологичность проекта

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

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

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

Структура отраслевых рисков:

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

В таблице 11 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 11 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

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

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

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

В дипломном проекте необходимо учитывать специфические риски и современные тенденции отрасли.

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

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

К мерам обеспечения безопасности относятся:

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

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

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

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

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

5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 12).

Таблица 12 – Технологический паспорт технологического процесса сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Сборка тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ.	1 Подготовка деталей для сборки. 2 Сборка механизма энергоаккумулятора. 3 Сборка тормозной камеры. 4 Контроль качества	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда	Стенд для сборки и разборки, набор гаечных ключей и головок, молоток (резиновый/металлический, отвертки (плоская, крестовая), оправка для установки манжет и уплотнений	Перчатки, ветошь, смазка Литол-24, ЦИАТИМ-221) – для штока, пружины, уплотнений. Уплотнительная паста (типа Loctite 577) – для резьбовых соединений, чистящие средства

Данный документ является обязательным требованием для:

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

Функциональное назначение технологического паспорта:

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

Преимущества оформления паспорта:

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

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

5.2 Идентификация профессиональных рисков

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

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

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

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

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

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

В представленной таблице 13 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ.

Таблица 13 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
«1 Подготовка деталей для сборки. 2 Сборка механизма энергоаккумулятора. 3 Сборка тормозной камеры. 4 Контроль качества	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей энергоаккумулятора, навесного оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум базовой машины
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [12].
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12]
	Напряжение зрительных анализаторов	
Монотонность труда, вызывающая монотонию		

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

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

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

Технические решения:

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

Организационные мероприятия:

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

Средства индивидуальной защиты:

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

Инженерные разработки:

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

- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

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

Особое внимание уделяется:

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

Реализация данных мер позволяет:

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

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

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

Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль.

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	<p>Организационно-технические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии 	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля»	<p>Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания.</p> <p>Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией.</p> <p>Санитарно-гигиенические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; <p>обеспечение дистанционного управления оборудованием</p>	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Повышенный уровень шума»	<p>Мониторинг здоровья работников:</p> <ul style="list-style-type: none"> – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. <p>Инструктаж по:</p> <ul style="list-style-type: none"> – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противозумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. <p>Техническая модернизация:</p> <ul style="list-style-type: none"> – плановый контроль уровня шума оборудования – внедрение шумопоглощающих 	<p>Защитные противозумные наушники, беруши противозумные» [20].</p>

Продолжение таблицы 14

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны);</p> <ul style="list-style-type: none"> – приоритетная замена устаревшего шумного оборудования. <p>Организация рабочего процесса:</p> <ul style="list-style-type: none"> – введение регламентированных «тихих пауз»; – создание зон акустической разгрузки; – оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки. <p>Тренинги по:</p> <ul style="list-style-type: none"> – техникам стрессоустойчивости; – методам звуковой релаксации; – профилактике слухового утомления. <p>Консультации корпоративного психолога</p> <p>Инженерные решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – установка звукопоглощающих панелей; – применение антивибрационных креплений; – модернизация вентиляционных систем; – использование шумоподавляющих материалов 	
«Возможность поражения электрическим током	<p>Образовательные мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электрозащитных средств; – организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев <p>Практическая подготовка</p> <ul style="list-style-type: none"> – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях, технике безопасного отключения 	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 14

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>оборудования, особенностям работы под напряжением; внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала</p> <p>Техническая защита:</p> <ul style="list-style-type: none"> – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. <p>Профилактический контроль:</p> <ul style="list-style-type: none"> – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов: – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования, – ведение электронного журнала технического состояния. <p>Административный надзор:</p> <ul style="list-style-type: none"> – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссия инспекция, – автоматизированная система учета нарушений <p>Медицинское сопровождение:</p> <ul style="list-style-type: none"> – углубленные медосмотры для электротехперсонала: – проверка нервной системы, – контроль сердечно-сосудистых показателей, – тесты на скорость реакции 	
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение	–

Продолжение таблицы 14

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках).</p> <p>Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)</p>	
<p>«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой</p>	<p>Оздоровительно-профилактические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ; – правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащённости средствами комплексной и малой механизации; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27]. 	<p>—</p>
<p>«Монотонность труда</p>	<ul style="list-style-type: none"> – чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлечённости; – внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы; – регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в 	<p>—</p>

Продолжение таблицы 14

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>течение рабочего дня;</p> <ul style="list-style-type: none"> – использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда; – психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса; – оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение). <p>Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ)</p>	

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

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

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

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

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

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 15).

Таблица 15 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Агрегатный участок»	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТО	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [17].

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

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

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

«Выполним классификацию средств пожаротушения, применяемых для данного технического объекта:

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

- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

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

Цели разработки планов:

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

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

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

Обязателен для всех общественных зданий, офисов, школ, больниц и так далее.

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

План противопожарных мероприятий содержит:

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

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

Разработка планов состоит из 5 этапов:

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

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при сборке тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ (таблица 16).

Таблица 16 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности»	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007»	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования»	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ»	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения»	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей»

Продолжение таблицы 16

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [26]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143-2009, ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [15]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

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

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

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

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ

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

Ключевые аспекты:

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

Основные направления:

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

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

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ и сведем их в таблицу 17.

Таблица 17 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ»	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [35].

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

Выполним разработку мероприятий, направленных на снижение негативного антропогенного воздействия при сборке тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ:

- атмосферу – использование технологий снижения выбросов и загрязнений: установка фильтров на промышленные предприятия, ограничение использования транспорта с высокими выбросами, утилизация отходов, популяризация и переход на использование возобновляемых источников энергии (установка солнечных панелей, ветрогенераторов, гидроэлектростанций и так далее);
- гидросферу – «контроль за процессами утилизации и захоронения выбросов, стоков и осадков сточных вод. Персональная ответственность за охрану окружающей среды» [24];
- литосферу – внедрение программ по сбору и переработке отходов. Это включает создание системы отдельного сбора мусора, развитие рынка вторсырья.

Выводы по разделу.

В рамках обеспечения производственной и экологической безопасности проекта выполнены следующие работы:

- составлен технологический паспорт процесса сборки тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором КамАЗ;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

6 Экономическая эффективность проекта

«Экономический эффект от конструкторской разработки усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором достигается:

- за счет снижения расходуемой мощности двигателя на привод компрессора;
- за счет увеличения ресурса компрессора;
- в результате уменьшается время простоя автомобиля в неисправном состоянии» [34].

6.1 Расчет статей затрат на внедрение конструкции

«Для определения экономической эффективности внедрения в производство конструктивной разработки необходимо рассчитать затраты на изготовление.

Рассчитываем затраты на изготовление конструкции усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором по формуле:

$$C_{ц}^{u} = C_{к.д} + C_{о.д} + C_{п.д} + C_{сб.п} + C_{он}, \quad (53)$$

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

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

$C_{п.д}$ – цена покупных деталей;

$C_{сб.п}$ – полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке конструкции;

$C_{он}$ – общепроизводственные расходы» [26].

«Рассчитываем стоимость изготовления корпусных деталей по формуле:

$$C_{к.д} = Q_{к} \cdot C_{з.д}, \quad (54)$$

где $Q_{к}$ – масса материала на изготовление корпусных деталей;

$C_{з.д}$ – средняя стоимость одного килограмма готовых деталей» [26].

$$C_{к.д} = 0,53 \cdot 6,5 + 0,47 \cdot 7,5 = 9,97 \text{ р.}$$

«Рассчитываем затраты на изготовление оригинальных деталей по формуле:

$$C_{о.д} = C_{пр.н} + C_{м}, \quad (55)$$

где $C_{пр.н}$ – полная заработная плата рабочих, занятых на изготовлении оригинальных деталей;

$C_{м}$ – стоимость материала заготовок» [26].

«Рассчитываем полную заработную плату рабочих, занятых на изготовлении оригинальных деталей по формуле:

$$C_{пр.н} = C_{пр} + C_{д} + C_{соц}, \quad (56)$$

где $C_{пр}$ – заработная плата рабочих, занятых на изготовлении оригинальных деталей;

$C_{д}$ – дополнительная заработная плата;

$C_{соц}$ – начисления по социальному страхованию.

$$C_{пр} = t + C_{ч} \cdot k_t, \quad (57)$$

где t – трудоемкость изготовления оригинальных деталей, $t_1=1,3$ чел.-ч.,

$t_2=0,8$ чел.-ч.;

C_v – часовая ставка рабочих по среднему разряду.

k_i – коэффициент, учитывающий дополнительную оплату к основной заработной плате, принимается равным 1,03» [26].

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 января 2025 года МРОТ составляет 23562 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $23562/(7 \cdot 21)=160,28$ р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [14].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $160,28 \cdot 1,42=227,6$ р./ч.

$$C_{np} = (1,3 + 0,8) \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 492,3 \text{ р.},$$

$$C_o = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{np}}{100}, \quad (58)$$

$$C_o = \frac{10 \cdot 492,3}{100} = 49,23 \text{ р.},$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (C_{np} + C_o)}{100}, \quad (59)$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (492,3 + 49,23)}{100} = 7,47 \text{ р.}$$

Рассчитываем полную заработную плату рабочих, занятых на изготовлении оригинальных деталей:

$$C_{np,n} = 492,3 + 49,23 + 7,47 = 549 \text{ р.}$$

«Рассчитываем стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей по формуле:

$$C_m = C_1 \cdot Q_3, \quad (60)$$

где C_1 – цена 1 кг материала заготовки;

Q_3 – масса заготовок» [26].

$$C_m = 0,74 \cdot 7,5 + 0,25 \cdot 6,5 = 7,2 \text{ р.}$$

$$C_{o.o} = 42,6 + 7,2 = 49,8 \text{ р.}$$

Цена покупных изделий берется по прейскуранту.

К покупным изделиям относим: электромагнит – 120 р., блок управления – 190 р., болт – 6 р., заклепка – 0,8 р., пружина большая – 16 р., пружина малая – 3 р., выключатель – 10 р.

$$C_{n.o} = 120 \cdot 4 + 190 + 6 \cdot 16 + 0,8 \cdot 9 + 16 + 3 + 10 \cdot 5 = 842,2 \text{ р.}$$

«Рассчитываем заработную плату рабочих, занятых на сборке, по формуле:

$$C_{сб.н} = C_{сб} + C_{д.сб} + C_{соц.сб}, \quad (61)$$

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_c \cdot k_t,$$

где $T_{сб}$ – нормативная трудоемкость на сборочных работах.

$$T_{сб} = k_c \cdot t_{сб}, \quad (62)$$

где k_c – коэффициент учитывающий соотношение между полным трудом и оперативным временем сборки, принимается равным 1,08; $t_{сб}$ – трудоемкость составных частей конструкции, 0,8 чел.-ч» [21].

$$T_{сб} = 1,08 \cdot 0,5 = 0,84 \text{ чел. - ч.}$$

$$C_{сб} = 0,84 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 196,92 \text{ р.}$$

Рассчитываем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{д.сб} = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{сб}}{100}, \quad (63)$$

$$C_{д.сб} = \frac{10 \cdot 196,92}{100} = 19,69 \text{ р.,}$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (C_{сб} + C_{д.сб})}{100}, \quad (64)$$

$$C_{соц} = \frac{1,38 \cdot (196,92 + 19,69)}{100} = 2,99 \text{ р.}$$

Рассчитываем полную заработную плату:

$$C_{сб.п} = 196,92 + 19,69 + 2,99 = 219,6 \text{ р.}$$

«Рассчитываем общепроизводственные накладные расходы на изготовление по формуле:

$$C_{он} = \frac{C'_{np} \cdot k_{он}}{100}, \quad (65)$$

где C'_{np} – основная заработная плата производственных рабочих;

$k_{он}$ – коэффициент общепроизводственных расходов, принимается равным 18%» [26].

$$C'_{np} = C_{np} + C_{сб}, \quad (66)$$

$$C'_{np} = 492,3 + 196,92 = 689,22 \text{ р.}$$

$$C_{on} = \frac{689,22 \cdot 18}{100} = 124,06 \text{ р.}$$

$$C_{ц}^u = 9,97 \cdot 4 + 49,8 \cdot 4 + 842,2 + 549 \cdot 4 + 124,06 = 3401,34 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление конструкции усовершенствованной тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором составляют 3401, 34 р.

6.2 Расчет статей доходов от внедрения проекта

«Экономия топлива одним автомобилем за один год составит:

$$Q = \frac{t_p}{20} \cdot g_e \cdot T_{см} \cdot c \cdot D_{pz}, \quad (67)$$

где $T_{см}$ – время смены;

c – число смен;

D_{pz} – число рабочих дней в году» [33].

$$Q = \frac{0,5}{20} \cdot 225 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 255 = 22950 \text{ г} \approx 23 \text{ кг.}$$

«Рассчитываем сумму средств, сэкономленных от снижения расхода топлива за год по парку автомобилей по формуле:

$$C_T = Q \cdot \rho \cdot C_0 \cdot A_u, \quad (68)$$

где ρ – плотность топлива, для дизельного топлива, 0,85 кг/м³;

C_0 – стоимость одного литра дизельного топлива, при розничной торговле, по данным Самарастата по состоянию на 01.03.2025 г. стоимость 1 л дизельного топлива составляет 67,04 р.;

A_u – списочное количество автомобилей» [31].

$$C_T = 23 \cdot 0,825 \cdot 67,04 \cdot 68 = 86501,71 \text{ р.}$$

После внедрения предлагаемой конструкции снижение времени работы компрессора составит:

$$T = 3 \cdot t_p \cdot T_{см} \cdot c \cdot D_{pz}, \quad (69)$$
$$T = 3 \cdot 0,5 \cdot 8 \cdot 2 \cdot 255 = 102 \text{ ч.}$$

Среднегодовое время работы компрессора будет составлять 1020 часов.

В процентном соотношении среднее время работы компрессора снизится на:

$$\Delta = 1 - \frac{1122 - 1020}{1122} = 0,09.$$

Следовательно, годовая потребность в компрессорах составит:

$$N = \Delta \cdot N_0, \quad (70)$$
$$N = 0,09 \cdot 36 = 33.$$

«Рассчитываем годовую экономию от снижения количества замен отказавших компрессоров по формуле (79):

$$C_k = C_0 \cdot (N_0 - N), \quad (71)$$

где C_0 – затраты связанные с ремонтом одного компрессора» [25].

$$C_k = 620 \cdot 3 = 1860 \text{ р.} \quad (72)$$

«Примем для условного предприятия среднесуточный пробег равным 120 км, при средней грузоподъемности автомобиля 8 тонн и тарифной ставке 150 р., убыток от простоя одного автомобиля за час составит» [25]:

$$P = \frac{l_{cc} \cdot q \cdot C_{TKM}}{T_{CM} \cdot c}, \quad (73)$$

$$P = \frac{120 \cdot 8 \cdot 150}{8 \cdot 2} = 9000 \text{ р.}$$

«Простой автомобиля, связанный с заменой компрессора равен 3,2 часа, следовательно, годовая экономия от сокращения простоев автомобилей рассчитываем по формуле» [25]:

$$C_{np} = T_{np} \cdot P \cdot (N_0 - N), \quad (74)$$

$$C_{np} = 9000 \cdot 3,2 \cdot (36 - 33) = 83700 \text{ р.}$$

Годовая экономия от простоя составляет 83700 р.

6.3 Расчет показателей экономической эффективности

Рассчитываем капитальные вложения по формуле:

$$K = C_y^u \cdot A_u, \quad (75)$$

$$K = 3401,34 \cdot 68 = 231291,12 \text{ р.}$$

Рассчитываем приведенные затраты по формуле:

$$\Pi_3 = C_y^u + 0,15 \cdot K \quad (76)$$

$$\Pi_3 = 3401,34 \cdot 68 + 0,15 \cdot 231291,12 = 265984,79 \text{ р.}$$

«Рассчитываем срок окупаемости по формуле:

$$T = \frac{K}{\sum C_i}, \quad (77)$$

где $\sum C_i$ – сумма экономии от внедрения усовершенствованной конструкции» [32].

$$T = \frac{231291,12}{86501,71 + 1860 + 83700} = 1,34 \text{ лет.}$$

Выводы по разделу.

Затраты на модернизацию составляют 3401,34 руб., что является экономически обоснованным вложением для повышения надежности и безопасности тормозной системы.

Срок окупаемости проекта – 1,34 года, что свидетельствует о его высокой эффективности и быстрой возвратности инвестиций.

Внедрение модернизированной тормозной камеры позволит снизить эксплуатационные расходы за счет уменьшения частоты отказов и сокращения простоев автомобиля.

Повышение надежности тормозной системы увеличит срок службы узлов и снизит риск аварийных ситуаций, что положительно скажется на экономике эксплуатации автомобиля КАМАЗ.

Таким образом, проект модернизации тормозной системы является экономически целесообразным и может быть рекомендован к внедрению в эксплуатацию грузовых автомобилей КАМАЗ.

Заключение

В ходе выполнения дипломного проекта была проведена модернизация тормозной камеры грузового автомобиля КАМАЗ с пружинным энергоаккумулятором. Работа включала анализ существующих конструкций, разработку усовершенствованной модели, ее расчетное обоснование, технологическую проработку, а также оценку безопасности, экологичности и экономической эффективности проекта.

На первом этапе проведен детальный анализ современных тормозных систем, включая пневматические энергоаккумуляторы и комбинированные тормозные камеры. Выявлены их преимущества и недостатки, что позволило сформулировать основные направления модернизации.

В рамках тягово-динамического расчета определены ключевые характеристики автомобиля КАМАЗ, включая внешние скоростные и тяговые свойства, динамику разгона и топливную экономичность. Полученные данные подтвердили необходимость повышения надежности тормозной системы без ухудшения эксплуатационных показателей.

Разработана усовершенствованная конструкция тормозной камеры с пружинным энергоаккумулятором, включающая новую схему управления и модернизированные элементы. Проведены прочностные и функциональные расчеты, подтверждающие работоспособность предложенного решения.

В технологическом разделе обоснован выбор рационального метода сборки, разработан технологический процесс, обеспечивающий высокое качество и надежность изделия.

Оценка безопасности и экологичности проекта позволила выявить потенциальные профессиональные риски и предложить меры по их минимизации. Особое внимание уделено пожарной и экологической безопасности, что соответствует современным нормативным требованиям.

Экономический анализ подтвердил целесообразность внедрения проекта: рассчитанные показатели эффективности демонстрируют снижение

эксплуатационных затрат и повышение надежности тормозной системы, что обеспечит экономическую выгоду для предприятий, эксплуатирующих автомобили КАМАЗ.

Затраты на модернизацию составляют 3401,34 руб., что является экономически обоснованным вложением для повышения надежности и безопасности тормозной системы.

Срок окупаемости проекта – 1,34 года, что свидетельствует о его высокой эффективности и быстрой возвратности инвестиций.

Таким образом, разработанная модернизированная тормозная камера с пружинным энергоаккумулятором обладает улучшенными технико-эксплуатационными характеристиками, соответствует требованиям безопасности и экологичности, а ее внедрение является экономически обоснованным. Результаты проекта могут быть использованы в серийном производстве и при модернизации существующего парка грузовых автомобилей.

Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов «Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Саратов. полигр. комб.). 521 с.
- 2 Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.
- 3 Горина Л. Н. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Учеб.-метод. пособие / Л. Н. Горина, М. И. Фесина; ТГУ; Ин-т машиностроения; каф. «Управление промышленной и экологической безопасностью». ТГУ. Тольятти. 2018. 41 с.
- 4 Гуревич Л.В., Меламуд Р.А. Пневматический тормозной привод автотранспортных средств: Устройство и эксплуатация. М.: Транспорт, 1988. 224 с.
- 5 Дарков А.В., Шпиро Г.С. Соппротивление материалов. Учебник для вузов. 4-е изд. М.: Высш. шк., 1975. 654 с.
- 6 Демкин В.В., Дремкин А.П., Зацепилов К.И. Грузовой транспорт КАМАЗ и его модификации. Руководство по эксплуатации. М.: Атласы автомобилей, 2001. 512 с.
- 7 Зимелев Г.В. Теория автомобилей. М.: Военное издательство Министерства обороны СССР, 1957 455 с.
- 8 Иванов М.Н. Детали машин: Учеб. для студентов высш. техн. учеб. Заведений. – 5-е изд., перераб. М.: Высш. шк., 1991. 383 с.
- 9 Карагодин В.И., Карагодин Д.В. Автомобили КамАЗ: устройство, техническое обслуживание и ремонт. М.: Транспорт, 2001. 342 с.
- 10 Кузнецов Е.С. Сядельный тягач КАМАЗ. Устройство и техническая эксплуатация. М.: Транспорт, 1976. 288 с.

- 11 Маевская Е. Б. Экономика организации: учебник / Е. Б. Маевская. Москва: ИНФРА-М, 2017. 351 с.
- 12 Марченко, П. Ф. Теория и конструкция лесных колесных и гусеничных / П. Ф. Марченко. Архангельск: РИО АЛТИ, 1990. 37 с.
- 13 Мащенко А.Ф., Розанов В.Г. Тормозные системы автотранспортных средств. М.: Транспорт, 1972. 144 с.
- 14 Методические указания по изучению конструкции пневмопривода тормозных механизмов автомобиля КамАЗ. Уфа: БГАУ, 2002. 25 с.
- 15 Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика: Учеб. М.: Дрофа, 1996. 352 с.
- 16 Мясищев Д. Г. Лесотранспортные машины: Методические указания к выполнению курсовой работы / Д. Г. Мясищев. Архангельск: РИО АГТУ, 1994. 32 с.
- 17 Обливин В. Н. Безопасность жизнедеятельности в лесопромышленном производстве и лесном хозяйстве: Учебник / В. Н. Обливин. М.: МГУЛ, 2002. 496 с.
- 18 Перевязкин, Ю. Д. Расчет закрытых зубчатых и червячных передач: Методические указания к курсовому проектированию / Ю. Д. Перевязкин. Архангельск: РИО АГТУ, 1995. 32 с.
- 19 Полетайкин В.Ф. Проектирование лесопромышленного оборудования. Учебное пособие. Красноярск: Издательство Краснояр. ун-та, 1988. 176с.
- 20 Прокофьев Г. Ф. Основы конструирования: учебное пособие / Г. Ф. Прокофьев. Архангельск: Изд-во АГТУ, 2006. 187 с.
- 21 Сердечный, В. Н. Нормы расхода топлива – смазочных материалов в лесной промышленности: Справочник / В. Н. Сердечный. М.: Лесная промышленность, 1990. 432 с.
- 22 Смирнов Н. Н. Проектирование и расчет специальных лесных машин: Методические указания к выполнению контрольных работ / Н. Н. Смирнов. Архангельск: Изд-во АЛТИ, 1986. 36 с.

- 23 Смирнова, И. В. Планирование ремонтного обслуживания лесозаготовительной техники и затрат на её содержание / И. В. Смирнова. Архангельск: РИО АГТУ, 1996. 33 с.
- 24 Справочник технолога- машиностроителя. В 2-х т. Т. II / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с.
- 25 Фалькевич Б.С. Теория автомобиля. М.: Машгиз, 1963 263 с.
- 26 Федотов А.В. Расчет и проектирование индуктивных измерительных устройств. Учеб. пособие. М.: Высш. шк., 1990. 185 с.
- 27 Чернавский С. А. Курсовое проектирование деталей машин: Учебное пособие/ С. А. Чернавский. М.: Машиностроение, 1988. 416 с.
- 28 Чумаков, Л. Л. Раздел выпускной квалификационной работы «Экономическая эффективность проекта». Уч.-методическое пособие / Л. Л. Чумаков. Тольятти: изд-во ТГУ, 2016. 37 с.
- 29 Эрдеди А.А. Детали машин: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. – 5-е изд. перераб. и доп. М.: Академия, 2012. 106 с.
- 30 Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 368 с.
- 31 Arnold, M. Simulation Algorithms in Vehicle System Dynamics / M. Arnold // Technical Report 27. - Martin-Luther-University Halle, Department of Mathematics and Computer Science, 2004. 27 p.
- 32 Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, - Raleigh, 1998. 209 p.
- 33 Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. Linkoping, 1997. 150 p.
- 34 Puhs, Allen E., Hybrid vehicles. CRC Press, London, NewYork 2009. 505 p.
- 35 Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. Vol. 7 (109). 64-70 p.

Приложение А
Спецификации

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>						
А4			25.ДПО1.135.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
А1			25.ДПО1.135.61.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
<i>Сборочные единицы</i>						
		1	25.ДПО1.135.61.01.000	Расторماживатель	1	
		2	25.ДПО1.135.61.02.000	Электромагнит	1	
<i>Детали</i>						
		3	25.ДПО1.135.61.00.003	Толкатель	2	
		4	25.ДПО1.135.61.00.004	Болт направляющий	2	
		5	25.ДПО1.135.61.00.005	Прошина штока	1	
		6	25.ДПО1.135.61.00.006	Винт направляющий	2	
		7	25.ДПО1.135.61.00.007	Втулка фиксатора направляющая	1	
		8	25.ДПО1.135.61.00.008	Корпус тормозной камеры	1	
		9	25.ДПО1.135.61.00.009	Диафрагма	1	
		10	25.ДПО1.135.61.00.010	Втулка	1	
		11	25.ДПО1.135.61.00.011	Толкатель	1	
		12	25.ДПО1.135.61.00.012	Пыльник	1	
			25.ДПО1.135.61.00.000			
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
Разраб.		Храмов А.С.				Тормозная камера с энергоаккумулятором
Проб.		Зотов А.В.				
Н.контр.		Зотов А.В.				ТГУ, АТс-2001Б
Утв.		Бобровский А.В.				
Инв. № подл.						
Лит.		Лист	Листов			
Д		1	3			
Копировал				Формат А4		

Рисунок А.1 – Спецификация на тормозную камеру с энергоаккумулятором

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		13	25.ДПО1135.61.00.013	Манжета	1	
		14	25.ДПО1135.61.00.014	Корпус электромагнита	1	
		15	25.ДПО1135.61.00.015	Корпус тормозной камеры верхний	1	
		16	25.ДПО1135.61.00.016	Крышка корпуса электромагнита	1	
		17	25.ДПО1135.61.00.017	Корпус электромагнита	1	
		18	25.ДПО1135.61.00.018	Корпус магнитопровода	1	
		19	25.ДПО1135.61.00.019	Патрубок тормозной камеры	1	
		20	25.ДПО1135.61.00.020	Патрубок цилиндра	1	
		21	25.ДПО1135.61.00.021	Упор	1	
		22	25.ДПО1135.61.00.022	Корпус энергоаккумулятора	2	
		23	25.ДПО1135.61.00.023	Прокладка уплотнительная	1	
		25	25.ДПО1135.61.00.025	Пружина энергоаккумулятора	1	
		26	25.ДПО1135.61.00.026	Втулка	1	
		27	25.ДПО1135.61.00.027	Сердечник	1	
		28	25.ДПО1135.61.00.028	Направляющая энергоаккумулятора	1	
		29	25.ДПО1135.61.00.029	Перепускная трубка	1	
		30	25.ДПО1135.61.00.030	Корпус тормозной камеры	1	
		32	25.ДПО1135.61.00.032	Хомут	2	
		33	25.ДПО1135.61.00.033	Корпус тормозной камеры с энергоаккумулятором	1	
		34	25.ДПО1135.61.00.034	Шар упорный	6	
				Стандартные изделия		
		35		Болт М10х30х1,25 ГОСТ 7798-70	4	
		36		Шайба 10 ГОСТ 11371-78	4	
			Храмов А.С.			Лист
			Зотов А.В.			2
Изм.	Лист	№ докцм.	Подп.	Дата	25.ДПО1135.61.00.000	
				Копировал	Формат	А4

Рисунок А.2 – Спецификация на тормозную камеру с энергоаккумулятором

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
<i>Документация</i>							
A4			25.ДПО1135.62.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1		
A1			25.ДПО1135.62.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1		
<i>Сборочные единицы</i>							
		1	25.ДПО1135.62.01.000	Золотник	1		
<i>Детали</i>							
		2	25.ДПО1135.62.00.002	Колпачек грязеотталкивающий	1		
		3	25.ДПО1135.62.00.003	Диафрагма	1		
		4	25.ДПО1135.62.00.004	Манжета	1		
		5	25.ДПО1135.62.00.005	Корпус крана	1		
		6	25.ДПО1135.62.00.006	Корпуса клапана	1		
		7	25.ДПО1135.62.00.007	Крышка корпуса	1		
		9	25.ДПО1135.62.00.009	Ось ролика	1		
		10	25.ДПО1135.62.00.010	Поршень	1		
		11	25.ДПО1135.62.00.011	Кулачок	1		
		12	25.ДПО1135.62.00.012	Рукоятка	1		
		13	25.ДПО1135.62.00.013	Седло	1		
		14	25.ДПО1135.62.00.014	Стопор	1		
		15	25.ДПО1135.62.00.015	Клапан	1		
			25.ДПО1135.62.00.000				
Изм.		Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Разраб.		Храмов А.С.				Лит.	
Проб.		Зотов А.В.				1	
Н.контр.		Зотов А.В.				Лист	
Утв.		Бабровский А.В.				2	
Кран управления стояночным тормозом						ТГУ, АТс-2001б	
Копировал						Формат А4	

Рисунок А.4 – Спецификация на кран управления стояночным тормозом

