

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 Проектирование конструкции устройства для кратковременного повышения
тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

Обучающийся

Т.С. Долматов
(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)

Тольятти 2025

Аннотация

Дипломный проект на тему: «Проектирование конструкции устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей».

Цель работы: разработка компактного универсального устройства, обеспечивающего оперативное улучшение сцепных характеристик колес грузового автомобиля в сложных дорожных условиях (гололед, снег, грязь, мокрая поверхность).

Задачи работы:

- анализ существующих технических решений для повышения сцепления,
- определение оптимального принципа действия устройства,
- разработка механической конструкции и системы управления,
- оценка экономической целесообразности применения.

Методы исследования:

- компьютерное моделирование (CAD/CAE системы),
- сравнительный анализ различных технических решений,
- методы инженерных расчетов на прочность.

Основные результаты:

- разработана модульная конструкция устройства с быстрым монтажом;
- определены оптимальные режимы работы для различных дорожных условий.

Практическая ценность проекта состоит в том, что разработанное устройство позволяет снизить аварийность в зимний период, уменьшить простои грузового транспорта, повысить проходимость без существенных доработок автомобиля, сократить расход топлива при пробуксовке.

Работа структурирована следующим образом: начинается введением, далее следуют шесть основных разделов, содержащих основное содержание

исследования. Завершается работа заключительной частью, обобщающей выводы. За ней приводится библиографический список использованной литературы и информационных ресурсов, а также приложены дополнительные материалы в виде отдельного приложения.

В первом разделе был детально проанализирован механизм воздействия сыпучих абразивных материалов (фракционированного песка, гранитной крошки и противогололедных реагентов) на коэффициент трения в контакте шина-дорога.

Во втором разделе проведен анализ динамических характеристик грузового автомобиля КамАЗ 4326, представлены расчёты, определяющие тяговые возможности и динамику транспортного средства при различных режимах движения.

В третьем разделе выполнено технико-эксплуатационное обоснование разрабатываемого устройства экстренного повышения сцепных характеристик. Все решения разработаны с учетом требований оперативного монтажа/демонтажа и совместимости со стандартной конструкцией грузовых автомобилей КамАЗ.

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 92 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Abstract

The title of the graduation project is: «The development of a device for emergency short-term increase of the traction and braking qualities of the «KAMAZ» vehicles».

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

The key issue of the graduation project is the construction design of a device that enhances the traction and braking capabilities of freight vehicles under challenging road conditions.

The aim of the project is to develop a functional and efficient solution that temporarily increases wheel grip, improving vehicle safety and performance on slippery or uneven surfaces.

The graduation project can be structured into several logically interconnected sections, including:

- research on a method to enhance tire-road adhesion using a bulk material (sand, granite dust, salt) dispensing system;
- traction and dynamic performance analysis of a KAMAZ vehicle;
- review of an emergency traction and braking enhancement device for KAMAZ trucks;
- conceptual design and development of the proposed system;
- selection of the assembly method, estimation of labor requirements, and manufacturing process planning;
- safety and environmental impact assessment;
- economic feasibility analysis of the project.

This research contributes to the advancement of automotive safety systems by proposing an innovative and practical approach to enhancing the traction and braking performance of trucks in adverse conditions.

The graduation project has a practical application for motor transport enterprises and for organizations which provide the communal services.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	8
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	13
3 Конструкторская часть	26
3.1 Общее описание устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей	26
3.2 Разработка конструкции устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей.....	33
4 Технологический раздел.....	41
4.1 Обоснование выбора технологического процесса.....	42
4.2 Проектирование технологического процесса сборки устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей	48
5 Безопасность и экологичность проекта	53
5.1 Структурно-функциональный анализ	55
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	57
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	60
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	66
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей	71
6 Экономическая эффективность проекта.....	75
Заключение	83
Список используемой литературы и используемых источников.....	84
Приложение А. Спецификация	88

Введение

Современные грузовые автомобили играют ключевую роль в транспортной системе, обеспечивая перевозку грузов в различных дорожных и климатических условиях. Однако в сложных эксплуатационных ситуациях, таких как движение по скользким или рыхлым поверхностям, возникает необходимость кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств транспортного средства. Это особенно актуально для грузового транспорта, поскольку его масса и нагрузка на оси значительно выше, чем у легковых автомобилей, что увеличивает риск потери сцепления с дорогой.

Существующие системы повышения проходимости (например, цепи противоскольжения) не всегда удобны в использовании и требуют времени на монтаж, что снижает оперативность их применения в критических ситуациях.

Одним из традиционных и широко применяемых методов является использование сыпучих материалов (песка, щебня, гранитной крошки), которые механически увеличивают коэффициент трения и снижают скольжение. В данном разделе рассматриваются принципы действия, преимущества, недостатки и эффективность данного способа.

Принцип повышения сцепления за счёт сыпучих материалов основан на следующих процессах:

- увеличение шероховатости – твёрдые частицы создают микронеровности, уменьшая коэффициент скольжения;
- разрушение ледяного слоя – абразивные материалы (щебень, крошка) разрушают наледь, улучшая контакт шины с дорогой;
- поглощение влаги – мелкодисперсные материалы (песок) частично впитывают воду, снижая образование гололёда.

В связи с этим актуальной задачей является разработка устройства, способного оперативно и эффективно улучшать сцепные свойства колес грузового автомобиля без значительных временных затрат.

Целью данного дипломного проекта является проектирование конструкции устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей.

В рамках работы предполагается:

- провести анализ существующих решений и выявить их недостатки;
- определить основные требования к проектируемому устройству;
- разработать конструкцию и рассчитать ее основные параметры;
- оценить эффективность предложенного решения.

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения безопасности и надежности грузовых автомобилей в сложных дорожных условиях, а также снижения риска аварийных ситуаций, связанных с потерей сцепления колес с дорожным покрытием. Результаты исследования могут быть использованы при модернизации существующих транспортных средств и разработке новых систем активной безопасности.

1 Состояние вопроса

Климатические факторы играют ключевую роль в функционировании системы «водитель-автомобиль-дорога-окружающая среда».

Согласно статистическим данным, около 5% всех ДТП происходят непосредственно из-за неблагоприятных погодных условий. Однако реальное влияние климатических факторов значительно шире, так как они часто выступают косвенной причиной аварий, особенно в случаях ухудшения сцепных качеств дорожного покрытия.

Исследования показывают, что коэффициент сцепления между шиной и дорожным полотном определяется комплексом параметров, включая:

- тип и состояние покрытия,
- температурный режим,
- наличие эффектов скольжения и пробуксовки.

На сухих асфальтобетонных и цементобетонных покрытиях этот показатель достигает 0,7-0,8, тогда как на заснеженных поверхностях он снижается до 0,2-0,3, а на обледенелых участках - до критических 0,1-0,2.

Для реализации тягового усилия необходимо соблюдение фундаментального условия – наличия достаточного трения в контакте колеса с дорожным покрытием. Преобразование крутящего момента от двигателя в поступательное движение возможно только при условии надежного сцепления шин с поверхностью. В противном случае возникает пробуксовка, приводящая к потере управляемости и снижению эффективности транспортного средства.

Особенно остро эта проблема проявляется в сельскохозяйственной технике, где пробуксовка вызывает целый комплекс негативных последствий:

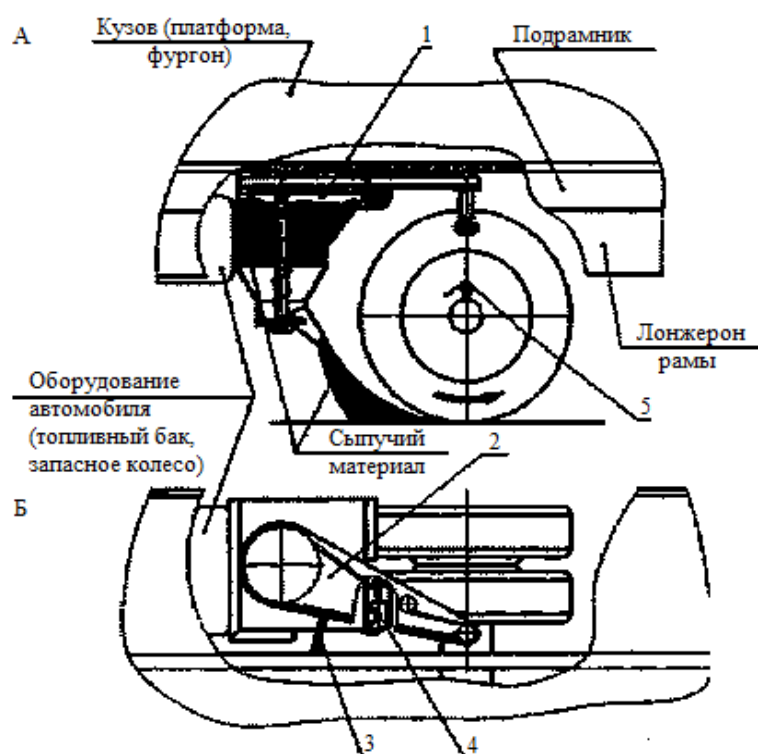
- прямые эффекты: снижение производительности, увеличение расхода топлива, ухудшение динамических характеристик, повышение аварийности;

- косвенные последствия: повреждение дорожного покрытия и полевых угодий, создание аварийно-опасных ситуаций.

Для борьбы с пробуксовкой на поверхностях с низким коэффициентом трения применяют различные технические решения:

- дифференциалы различных типов (с принудительной блокировкой, самоблокирующиеся);
- специальные противоскользящие устройства: цепи (витые, браслетного типа, траковые), противоскользящие колодки, арочные шины.

В рамках данного исследования предлагается решение - автоматизированная система распределения сыпучих материалов (рисунок 1). Это устройство позволяет оперативно повышать коэффициент сцепления на проблемных участках дорожного покрытия, обеспечивая безопасность движения в сложных погодных условиях.



А – вид со стороны правого борта; Б – вид сверху

Рисунок 1 – Принципиальная схема автоматического устройства для разбрасывания сыпучих материалов

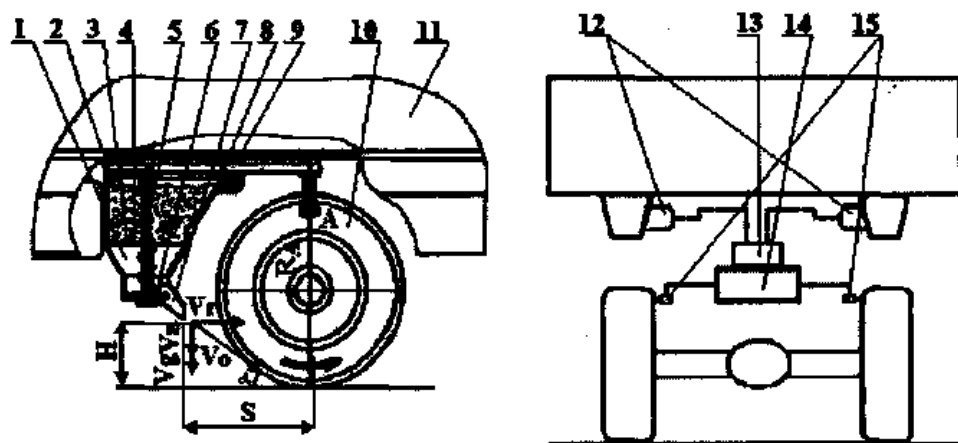
«Разработанное устройство обеспечивает значительное повышение проходимости транспортных средств без необходимости внесения существенных конструктивных изменений, одновременно способствуя повышению безопасности дорожного движения.

Наибольшую эффективность решение демонстрирует в сложных дорожных условиях, характерных для горной местности, где:

- отсутствуют альтернативные маршруты объезда;
- затруднено оперативное прибытие ремонтных и эвакуационных служб;
- наблюдаются резкие изменения погодных условий;
- существенно ограничена видимость» [5].

«Устройство включает следующие ключевые компоненты (рисунок 2):

- бункер 1 – емкость для хранения сыпучего материала;
- механизм распределения: поворотная консоль 2 с ременной передачей, пружина 3 растяжения консоли;
- система управления: соленоид (электромагнит) 4, индуктивные датчики 5, сравнитель угловых ускорений с усилителем.



- 1 – бункер; 2 – сыпучий материал; 3 – окно; 4 – регулировочная колонка; 5 – вал с ворошителем; 6 – разбрасывающее устройство; 7 – конусный направляющий желоб; 8 – салазки; 9 – замковое устройство; 10 – колесо мобильной машины; 11 – кузов;
- 12 – приводной механизм устройства; 13 – усилитель; 14 – сравнитель угловых ускорений; 15 – индуктивные датчики

Рисунок 2 – Схема установки автоматического устройства на АТС

Конструкция монтируется на платформе кузова между ведущим колесом и топливным баком (либо запасным колесом) посредством специального крепежного устройства, состоящего из салазок с замковым узлом» [3].

Данная система обеспечивает автоматизированное распределение сыпучих материалов непосредственно в зоне контакта колеса с дорожным покрытием, что особенно важно в условиях:

- крутых подъемов/спусков,
- обледенелых участков,
- заснеженных трасс.

Рассмотрим конструктивные особенности устройства.

«Верхняя часть оборудована откидным загрузочным лотком, выполняющим функцию крышки. Средняя часть содержит регулировочную колонку, внутри корпуса на подшипниковых узлах размещены: валы привода разбрасывающего диска, ворошитель.

Нижняя часть включает: вертикально вращающийся диск с лопастями, конусный насадок.

На боковой стенке бункера закреплен соленоид толкающего типа, соединенный через шток с регулируемой консолью» [5].

«Система включает:

- резьбовую втулку со сферическим наконечником;
- пружину, фиксирующую консоль и ограничивающую ход штока;
- защитный кожух, закрывающий приводной механизм.

Консоль представляет собой поворотный механизм с валами для ведомого и ведущего шкивов, натяжным роликом, пластмассовой шарнирной втулкой, обеспечивающей ограниченный угол поворота

В систему контроля буксования входят индуктивные датчики (типа Холла) на раме, фиксирующие:

- частоту вращения колес,
- угловую скорость» [5].

Сравнитель угловых ускорений анализирует данные:

- порог срабатывания: $\varepsilon > 10...25 \text{ с}^{-2}$,
- активирует соленоид при превышении порога.

Принцип работы:

При буксовании колеса увеличивается его угловая скорость, сравнитель фиксирует разницу ускорений. Соленоид толкает консоль, обремененный ролик прижимается к колесу

Передача движения: осуществляется через клиноременную передачу на вал бункера.

Активируется разбрасывающий диск и ворошитель.

При восстановлении сцепления:

- материал подается под колесо (слой 1,5-3 мм);
- ширина разбрасывания: $B = h_{\text{ш}} + 2c$ (где c равно 0,15-0,2 м).

Отключение системы: при выравнивании ускорений, пружина возвращает консоль в исходное положение.

При одновременном буксовании колес требуется ручное включение тумблером.

Выводы по разделу.

В разделе представлена система, автоматически повышающая коэффициент сцепления колес транспортного средства с обледенелым или мокрым покрытием. Метод основан на точечном дозированном распределении сыпучих материалов (песка, гранитной крошки, технической соли) под ведущие колеса при обнаружении пробуксовки.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Внешний вид автомобиля КамАЗ 4326 представлен на рисунке 3.

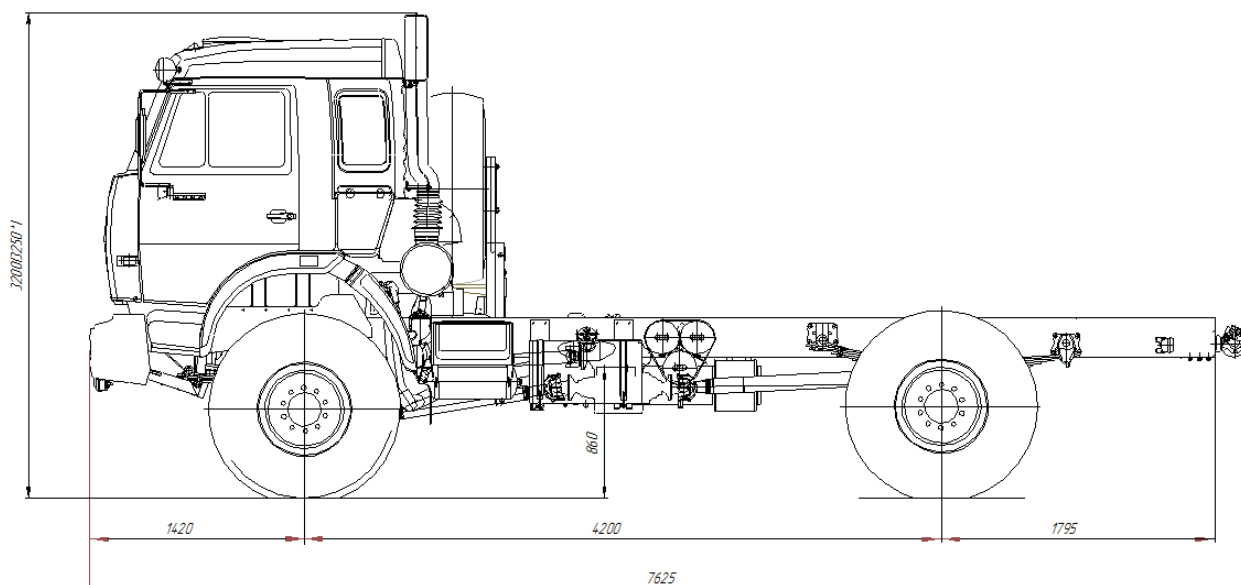


Рисунок 3 – Внешний вид автомобиля КамАЗ 4326

Техническая характеристика автомобиля:

«Грузоподъёмность, кг.....4000.

Максимальная нагрузка, кг:

– на переднюю ось.....5300;

– на заднюю ось.....7400.

Габаритные размеры, мм:

– длина.....7625;

– ширина.....2900;

– высота.....3200;

– база автомобиля.....4200;

– колея передних колёс2050;

– колея задних колёс2050» [1].

«Двигатель

– тип.....четырёхтактный, дизельный;

- расположение и число цилиндров V-образное, 8;
- диаметр цилиндра/ход поршня, мм..... 120/120;
- рабочий объём цилиндров, л.....10,85;
- номинальная мощность, кВт.....165;
- максимальный крутящий момент (при 1100-1500об/мин), Н·м.....760.

Передаточные числа в КПП:

- 1 передача.....7,82;
- 2 передача.....4,03;
- 3 передача.....2,5;
- 4 передача.....1,53;
- 5 передача.....1;
- з.х.7,38;
- передаточное число главной передачи.....6,53.

Передаточные числа раздаточной коробки:

- пониженная передача.....1,9;
- повышенная передача0,93» [1].

«Сцепление: сухое, однодисковое, с центральной нажимной пружиной диафрагменного типа.

Привод выключения сцепления: пневмогидравлический.

Коробка передач: механическая, пятиступенчатая, с синхронизаторами инерционного типа;

Раздаточная коробка: механическая, двухступенчатая, для включения переднего моста и блокировки дифференциала используются электропневматические клапаны;

Карданная передача: открытого типа, состоит из трёх валов (основного между коробкой передач и раздаточной коробкой, привода заднего моста между раздаточной коробкой и главной передачей заднего моста, привода переднего моста между раздаточной коробкой и главной передачей переднего моста). Карданные шарниры на игольчатых подшипниках;

Тип мостов: задний – ведущий, передний мост – управляемый и ведущий;

Главные передачи: одноступенчатые, состоящие из пары конических шестерён со спиральными зубьями.

Дифференциал мостов: конический, симметричный» [2].

Выполним тяговый расчет АТС.

Расчет потребной мощности двигателя

«Потребная мощность рассчитывается по формуле:

$$N_e = \frac{P_k \cdot v_{\max} \cdot 10^{-3}}{\eta_{mp}}, \quad (1)$$

где P_k – касательная сила тяги на движителе, необходимая для преодоления суммарной силы сопротивления движению, Н;

$v_{\max}$ – максимальная скорость движения АТС, м/с;

η_{mp} – КПД трансмиссии, с отключенным передним мостом равен 0,834, для полного привода 0,8» [20].

«Касательная сила тяги определяется по выражению:

$$P_k = (G + Q) \cdot (f \cos \alpha + \sin \alpha) + k \cdot F \cdot v^2, \quad (2)$$

где G – собственный вес автомобиля;

Q – вес пассажиров и груза;

f – коэффициент сопротивления качению автомобиля;

α – уклон дороги, град.;

k – коэффициент обтекаемости, принимаем для данного типа автомобиля 0,61;

F – лобовая площадь автомобиля, для данного автомобиля равна 5,5м²» [20].

«Сила сцепления колеса с грунтом определяется по выражению:

$$P_{\varphi} = G_{\text{сц}} \cdot \varphi, \quad (3)$$

где $G_{\text{сц}}$ – сцепной вес автомобиля;

φ – коэффициент сцепления движителя с грунтом.

Необходимо соблюдение условия $P_k < P_{\varphi}$.

Ведется для следующих скоростей движения:

- минимальная скорость с максимальной нагрузкой при худших дорожных условиях равна 5 км/ч или 1,4 м/с, коэффициент сопротивления качению автомобиля – 0,2, коэффициент сцепления движителя с грунтом – 0,3, а угол уклона дороги – 0 град.;
- рабочая скорость с грузом при хороших дорожных условиях равна 50 км/ч или 13,9 м/с, коэффициент сопротивления качению автомобиля – 0,02, коэффициент сцепления движителя с грунтом – 0,7, а угол уклона дороги – 3 град.;
- максимальная скорость с грузом при хороших дорожных условиях равна 90 км/ч или 25 м/с, коэффициент сопротивления качению автомобиля – 0,015, коэффициент сцепления движителя с грунтом – 0,7, а угол уклона дороги – 0 град.» [20].

При минимальной скорости с максимальной нагрузкой при худших дорожных условиях:

$$P_k = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,2 + 0,61 \cdot 5,5 \cdot 1,4^2 = 25406,6 \text{ Н},$$

$$N_e = \frac{25406,6 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 44,5 \text{ кВт},$$

$$P_{\varphi} = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,3 = 38100 \text{ Н}.$$

При рабочей скорости с грузом при хороших дорожных условиях:

$$P_k = 127 \cdot 10^3 \cdot (0,02 \cos 3^\circ + \sin 3^\circ) + 0,61 \cdot 5,5 \cdot 13,9^2 = 9828,0 \text{ Н},$$

$$N_e = \frac{9828,0 \cdot 13,9 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 170,8 \text{ кВт},$$

$$P_\phi = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 88900 \text{ Н}.$$

При максимальной скорости с грузом при хороших дорожных условиях.

$$P_k = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,015 + 0,61 \cdot 5,5 \cdot 25^2 = 4001,9 \text{ Н},$$

$$N_e = \frac{4001,9 \cdot 25 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 125,1 \text{ кВт},$$

$$P_\phi = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 88900 \text{ Н}.$$

«По рассчитанному максимальному значению мощности выбран двигатель КамАЗ-740.31-240.

Техническая характеристика:

- дизельный, V-образный, 8 -цилиндровый,
- максимальная мощность 165 кВт (400 л.с.),
- максимальный крутящий момент 760 Н·м при 1100 - 1500 мин⁻¹,
- рабочий объём цилиндров 10,5 л» [12].

«Скоростная характеристика поршневого двигателя внутреннего сгорания отображает взаимосвязь таких его важнейших выходных параметров как частота вращения коленчатого вала двигателя, мощность, крутящий момент, удельный расход топлива и часовой расход топлива.

Данный двигатель серийно устанавливался на автомобили КамАЗ-4326 заводом изготовителем» [6].

Для построения внешней скоростной характеристики воспользуемся следующими формулами:

«Мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_e = N_e \cdot \left[a \cdot \left(\frac{n_{ei}}{n_{en}} \right) + b \cdot \left(\frac{n_{ei}}{n_{en}} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_{ei}}{n_{en}} \right)^3 \right], \quad (4)$$

где N_e – номинальная мощность двигателя;

n_{ei} – текущее значение числа оборотов коленчатого вала;

n_{en} – число оборотов коленчатого вала при номинальной мощности» [20].

«Крутящий момент двигателя определяется по формуле:

$$M_e = 9546 \cdot \frac{N_e}{n_e}. \quad (5)$$

Удельный расход топлива определяется по формуле:

$$g_e = g_{e \max} \cdot \left(A_0 - B_0 \cdot \frac{n_{ei}}{n_{eN}} + C_0 \cdot \frac{n_e^2}{n_{eN}^2} \right), \quad (6)$$

где A_0 , B_0 , C_0 – коэффициенты корректировки, 1,55, 1,55 и 1 соответственно;

g_e – средний удельный расход топлива, 175 г/кВт·ч» [20].

Часовой расход топлива:

$$G_T = \frac{g_e \cdot N_e}{1000}. \quad (7)$$

Пример расчета при частоте вращения коленчатого вала 600 об/мин представлен ниже.

$$N_e = 165 \cdot \left[0,5 \cdot \left(\frac{600}{2200} \right) + 1,5 \cdot \left(\frac{600}{2200} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{600}{2200} \right)^3 \right] = 37,56 \text{ кВт},$$

$$M_e = 9546 \cdot \frac{37,56}{600} = 597,58 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$g_e = 175 \cdot \left(1,55 - 1,55 \cdot \frac{600}{2200} + \frac{600^2}{2200^2} \right) = 210,29 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

$$G_T = \frac{37,56 \cdot 210,29}{1000} = 7,90 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Подставляя значения оборотов двигателя в приведенные выше формулы, получим данные для построения ВСХ и занесем их в таблицу 1.

Таблица 1 – Значения показателей ВСХ

n_e , об/мин	N_e , кВт	M_e , Н·м	g_e , г/(кВт·ч)	G_m , кг/ч
150	6,72	427,87	253,57	1,70
300	15,43	491,11	237,52	3,67
450	25,82	547,69	223,09	5,76
600	37,56	597,61	210,29	7,90
750	50,35	640,88	199,12	10,03
900	63,87	677,49	189,57	12,11
1050	77,81	707,44	181,65	14,14
1200	91,86	730,74	175,36	16,11
1350	105,70	747,38	170,70	18,04
1500	119,01	757,37	167,66	19,95
1650	131,48	760,70	166,25	21,86
1800	142,81	757,37	166,47	23,77
1950	152,67	747,38	168,31	25,70
2100	160,75	730,74	171,78	27,61
2200	165	707,44	176,88	29,49

На рисунке 4 показана ВСХ, полученная для данного двигателя.

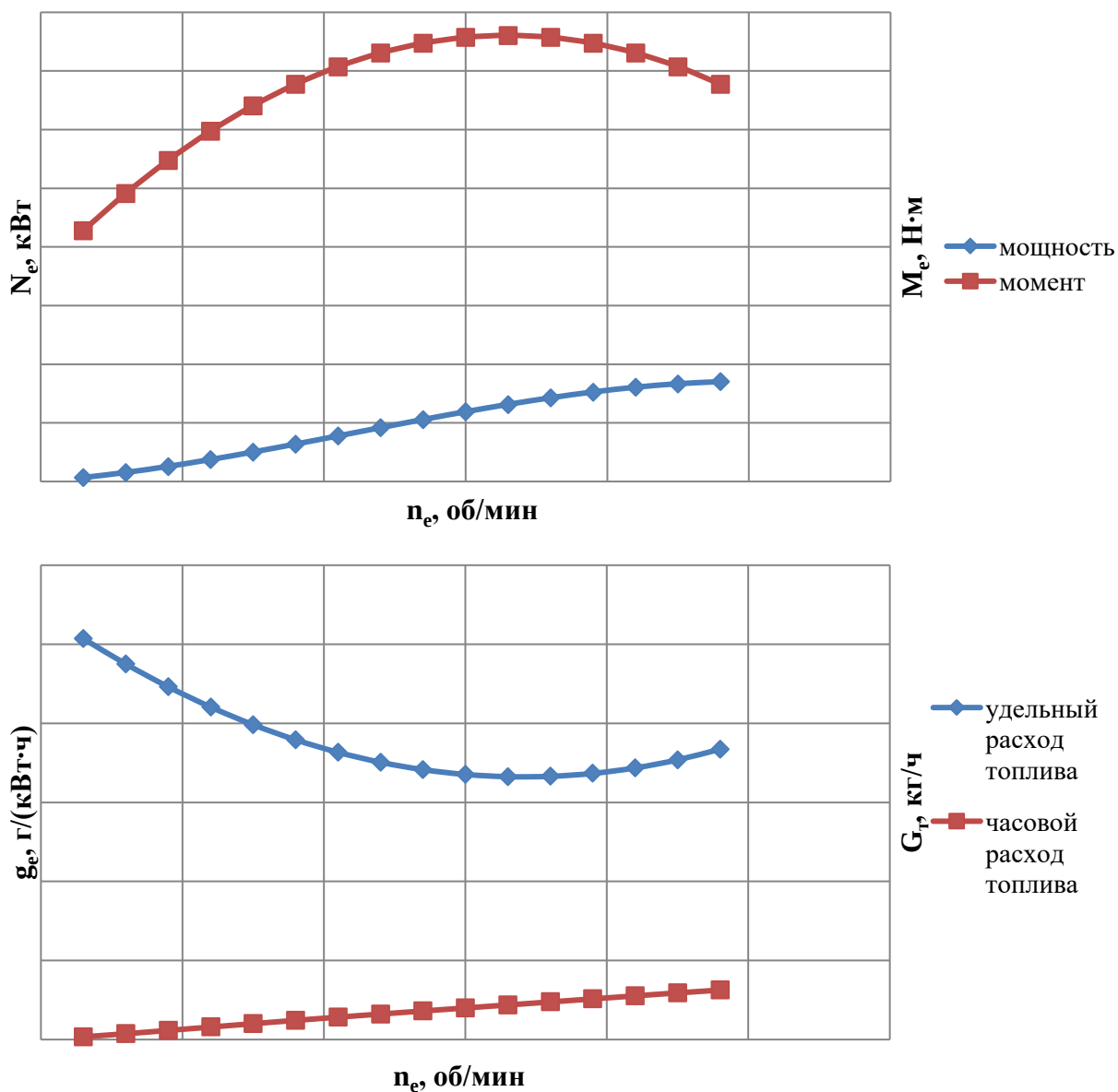


Рисунок 4 – Внешняя скоростная и топливная характеристика

Построение тягово-динамической характеристики.

$$i_{mp} = i_{kn} \cdot i_{pk} \cdot i_{zn}, \quad (8)$$

«Передаточные числа трансмиссии на высшей передаче:

$$i_{mp1} = 7,82 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 47,49,$$

$$i_{mp2} = 4,03 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 24,47,$$

$$i_{mp3} = 2,5 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 15,18,$$

$$i_{mp4} = 1,53 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 9,29,$$

$$i_{mp5} = 1 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 6,07.$$

«Значение свободной силы тяги P_a АТС на всех передачах:

$$P_a = P_k - P_w,$$

где P_k – касательная сила тяги;

P_w – сила сопротивления воздушной среды» [22].

$$P_k = \frac{M_e \cdot \eta_{mp} \cdot i_{mp}}{r_\partial}, \quad (9)$$

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a^2, \quad (10)$$

где k – коэффициент обтекания, 0,61;

F – лобовая площадь автомобиля, 5,53» [20].

Скорость движения АТС на всех передачах:

$$V_a = 0,104 \cdot \frac{r_\partial \cdot n_e}{i_{mp}}. \quad (11)$$

Пример расчёта при 600 об/мин на первой передаче и с отключенным передним мостом:

$$P_k = \frac{597,61 \cdot 0,834 \cdot 47,49}{0,599} = 39514,89 \text{ Н},$$

$$V_a = 0,104 \cdot \frac{0,599 \cdot 600}{47,49} = 0,79 \text{ м/с},$$

$$P_w = 0,61 \cdot 5,53 \cdot 0,79^2 = 2,09 \text{ Н},$$

$$P_a = 39514,89 - 2,09 = 39512,81 \text{ Н}.$$

Тягово-динамическая характеристика представлена на рисунке 5.

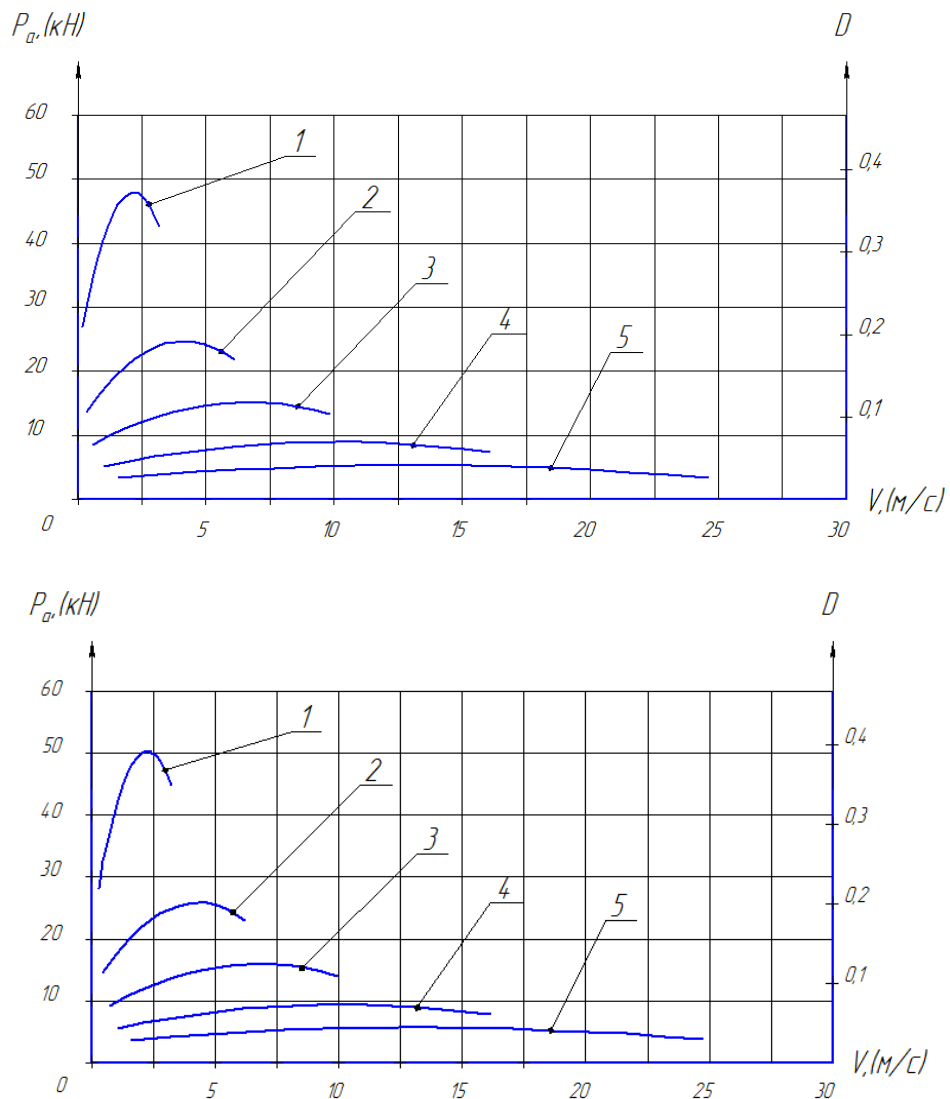


Рисунок 5 – Тягово-динамическая характеристика (4×4 сверху, 4×2 снизу)

Расчет и построение экономической характеристики АТС [4].

«Путевой расход топлива в общем случае определяется по формуле:

$$Q_s = \frac{100 \cdot G_T}{\gamma \cdot V_a}, \quad (12)$$

где γ – удельная масса топлива 0,86кг/л.

$$Q_s = \frac{100 \cdot g_e \cdot N_e}{3,6 \cdot 10^3 \cdot \gamma \cdot V_a}. \quad (13)$$

Мощность, развиваемая двигателем, определяется как

$$N_e = \frac{(\psi \cdot (G_a + G_{zp}) + P_w) \cdot V_a}{10^3 \cdot \eta_{mp}}, \quad (14)$$

$$g_e = k' \cdot k'' \cdot g_{e.n.}, \quad (15)$$

где ψ – коэффициент дорожного сопротивления, принимаем равными $\psi_1=0,02$, $\psi_2=0,03$;

k' и k'' – коэффициенты учитывающие влияние на удельный расход топлива соответственно скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя, для рассматриваемого случая коэффициенты равны 0,96 и 0,9 соответственно» [20];

Пример расчета при частоте вращения коленчатого вала 600 об/мин и коэффициенте дорожного сопротивление 0,02 представим ниже.

$$N_e = \frac{(0,02 \cdot (12700 \cdot 9,81) + 127,67) \cdot 6,15}{10^3 \cdot 0,834} = 19,33 \text{ кВт.}$$

$$g_e = 0,96 \cdot 0,9 \cdot 210,29 = 173,28 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

$$Q_1 = \frac{100 \cdot 173,28 \cdot 19,33}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 0,86 \cdot 6,15} = 17,58 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}},$$

$$Q_2 = \frac{100 \cdot 210,29 \cdot 37,56}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 860 \cdot 6,15} = 41,45 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}.$$

Результаты расчетов для прямой передачи при полной нагрузке (4×2) в таблице 2.

Таблица 2 – Данные для построения топливной характеристики (4×2)

n_e , об/мин	g_{en} , г/(кВт·ч)	Q_1 , л/100км	Q_2 , л/100км	Q_s , л/100км
«150	253,57	21,73	39,06	35,79
300	237,52	19,67	35,26	38,48
450	223,09	18,18	31,99	40,30
600	210,29	17,58	27,88	41,45
750	199,12	16,77	24,53	42,09
900	189,57	16,00	23,17	42,36
1050	181,65	15,34	22,54	42,39
1200	175,36	15,11	21,93	42,27
1350	170,70	14,82	21,79	42,08
1500	167,66	15,06	23,53	41,88
1650	166,25	15,86	25,89	41,71
1800	166,47	16,90	27,22	41,59
1950	168,31	19,43	28,94	41,49
2100	171,78	23,77	31,43	41,41
2250	176,88	26,70	34,45	41,27
2400	183,61	31,05	39,58	41,03» [1]

Результаты расчетов для прямой передачи при полной нагрузке (4×4) в таблице 3.

Таблица 3 – Данные для построения топливной характеристики (4×4)

n_e , об/мин	g_{en} , г/(кВт·ч)	Q_1 , л/100км	Q_2 , л/100км	Q_s , л/100км
«150	253,57	24,16	40,72	35,79
300	237,52	20,51	36,76	38,48
450	223,09	19,20	33,35	40,30
600	210,29	18,10	30,42	41,45
750	199,12	17,48	27,17	42,09
900	189,57	16,68	24,76	42,36
1050	181,65	16,41	23,50	42,39
1200	175,36	15,95	23,43	42,27
1350	170,70	15,86	24,14	42,08
1500	167,66	15,70	25,97	41,88
1650	166,25	16,53	26,99	41,71
1800	166,47	18,09	28,38	41,59
1950	168,31	20,25	30,17	41,49
2100	171,78	25,06	32,76	41,41
2250	176,88	27,83	35,92	41,27
2400	183,61	32,37	41,26	41,03» [1]

На рисунке 6 представлена топливная характеристика.

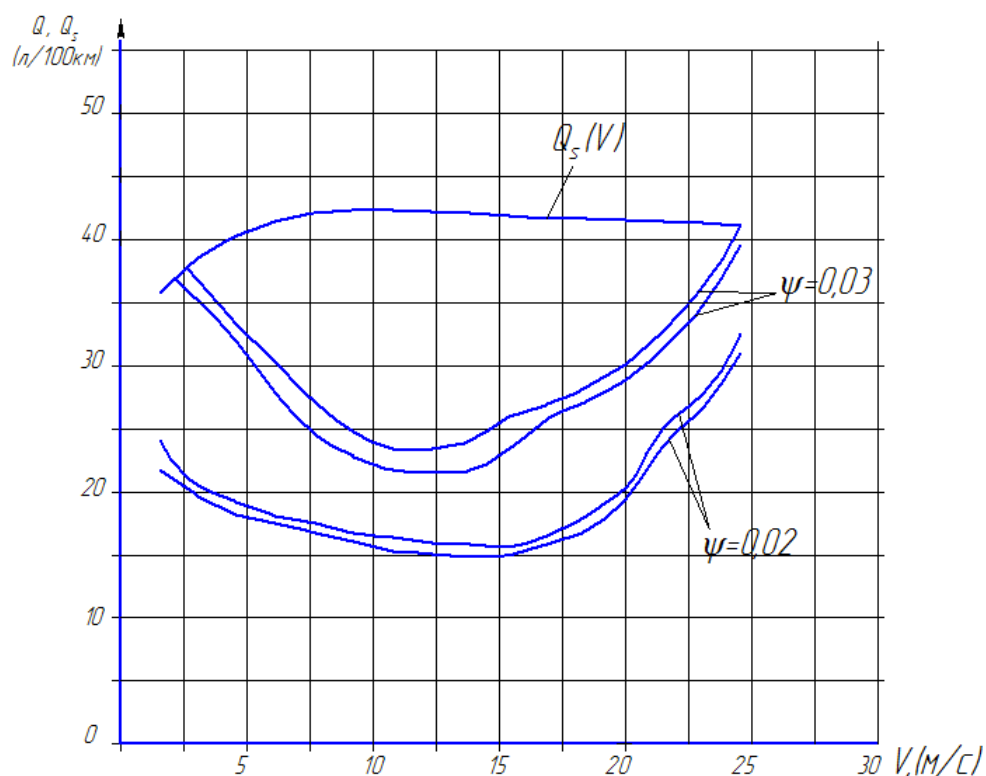


Рисунок 6 – Топливная характеристика

Выводы по разделу.

Данный раздел содержит выполненный тягово-динамический расчет автомобиля, в результате которого были определены ключевые эксплуатационные параметры. На основе расчетных данных построены следующие графические зависимости:

- внешнескоростная характеристика (зависимость мощности и крутящего момента от частоты вращения коленвала);
- динамический фактор (показатель способности автомобиля преодолевать сопротивление движению);
- топливная экономичность (удельный расход топлива в различных режимах работы).

Все графики представлены в графической части проекта на листе формата А1, что обеспечивает наглядность интерпретации результатов

3 Конструкторская часть

3.1 Общее описание устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

«Главной причиной ограниченной проходимости технически исправного автомобиля по влажным, рыхлым и скользким поверхностям является слабое сцепление колес с почвой» [2]. Недостаточная сила взаимодействия вызывает пробуксовку ведущих колес, что ведет к уменьшению сцепления частиц почвы между собой и разрушению верхнего слоя покрытия, например травяного дерна. В определенных ситуациях результатом становится засорение протекторов колес грязью (засаливание).

«Дополнительно повышается сопротивление движению колес, поскольку они погружаются глубже в почву. Тем не менее, существуют условия, при которых слабоувлажненное покрытие скрывает прочный нижний слой грунта, тогда буксование может способствовать улучшению сцепления. Подобное явление характерно и для случаев движения колесных машин по утрамбованным снежным дорогам и льду» [2].

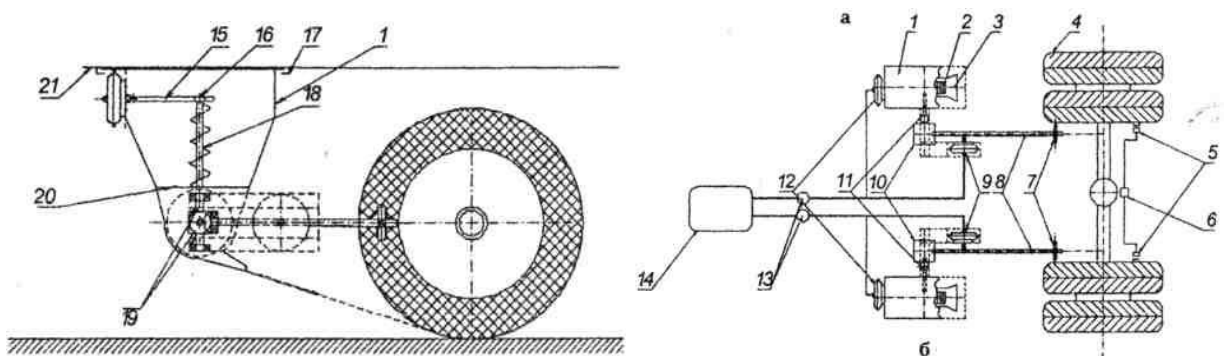
«Буксование ведущих колес может быть отдельным и совместным, а первое полным, частичным или переменным. Совместное буксование в основном зависит от соответствия колесного движителя условиям движения. В том и другом случае оно оказывает влияние на тягово-сцепные свойства и проходимость машины при движении по опорным поверхностям с малой несущей способностью, характерной для условий сельского хозяйства» [26].

«Буксование машин, как правило, приводит к прямым и косвенным последствиям. К первым относятся такие, вследствие которых происходят снижение производительности, повышенный износ шин, узлов, деталей, усложнение деятельности водителя в управлении автомобилем, снижение уровня безопасности его труда и др. Косвенные последствия связаны с нарушением поверхности полей и дорог (образование колеи, выбоины,

смятие грунта со срывом верхнего слоя и другое), изменением плодородия почвы, снижением урожайности сельхозкультур вследствие дисбаланса посевных площадей, усложнением движения транспорта, вероятностью возникновения ДТП. На скользких несущих поверхностях буксование колесных движителей зачастую приводит к заносам, опрокидыванию транспортных средств и возникновению аварийных ситуаций» [27].

«Для предотвращения буксования, увеличения проходимости и тягово-сцепных свойств машины разработано автоматическое устройство для разбрасывания сыпучих материалов (песок, мелкий гравий, шлак и другое) под ведущие колеса транспортного средства, устанавливаемое для каждого из них» [2].

На рисунке рисунок 7 представлена схема устройства.



а – вид сверху; б – вид сбоку

- 1 – бункер; 2 – разбрасыватель (крыльчатка); 3 – направляющая разбрасывателя (желоб);
 4 – ведущее колесо; 5 – индуктивный датчик; 6 – сравнитель угловых ускорений;
 7 – обремененный ролик; 8 – ведущий вал; 9 – тормозная камера (со штоком) ведущего вала; 10 – конический редуктор; 11 – ведомый карданный вал; 12 – тормозная камера (со штоком) ворошителя; 13 – электромагнитный клапан; 14 – ресивер; 15 – рейка;
 16 – шестерня вала ворошителя; 17 – салазки; 18 – ворошитель; 19 – полуоси;
 20 – регулировочная колонка; 21 – нижняя площадка кузова

Рисунок 7 – Схемы автоматического устройства для разбрасывания сыпучего материала под буксирующее колесо и его привода

«При попадании колеса на скользкую поверхность – оно начинает буксовать. Если угловое ускорение буксующего колеса достигнет значения $\varepsilon \geq 10...25 \text{с}^{-2}$ и выше [3], то включается в работу сравнитель угловых

ускорений 6. Электрическая цепь замыкается, открывается электромагнитный клапан 13, и сжатый воздух из ресивера 14 подается в тормозные камеры 9 и 12. Шток камеры 12 двигает рейку 15, которая приводит во вращение шестерню 16 и ворошитель 18. Шток камеры 9 прижимает вал 8 с жестко закрепленным на нем роликом 7 к боковине ведущего колеса 4. Вращение колеса передается на ролик и ведущий вал, затем через конический редуктор 10 на ведомый карданный вал 11, далее на разбрасыватель (крыльчатку) 2. Двигаясь по направляющей разбрасывателя (желобу) 3, сыпучий материал попадает под буксующее колесо. После того, как оно перестает буксовать, сравнитель угловых ускорений выключается из работы (при этом $\varepsilon \leq 10...25 \text{ с}^{-2}$), электромагнитный клапан закрывается, и автоматическая подача сыпучего материала под ведущее буксующее колесо прекращается» [27].

На рисунке 8 представлена принципиальная схема подачи сыпучего материала под ведущее буксующее колесо.

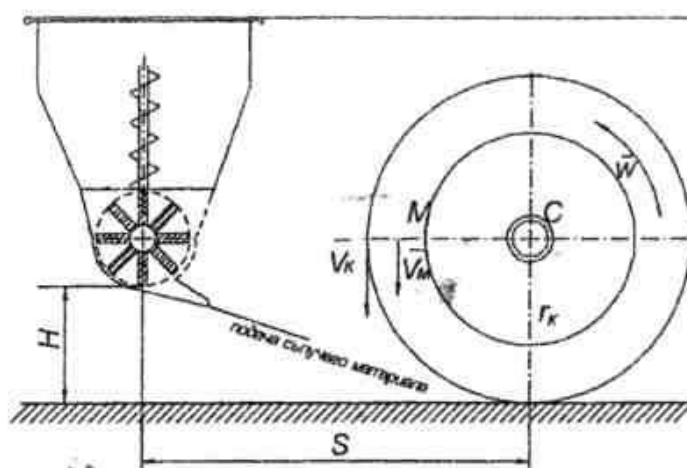


Рисунок 8 – Принципиальная схема подачи сыпучего материала под ведущее буксующее колесо

«Если одновременно пробуксовывают оба ведущих колеса (так называемое совместное буксование) или необходимо улучшить тормозные качества на скользком покрытии, автоматическое устройство сравнения угловых ускорений не задействуется. В подобной ситуации водитель имеет

возможность вручную активировать систему подачи сыпучего материала под ведущие колеса с помощью специальной кнопки, расположенной в кабине. Эта мера существенно улучшает сцепление колес с поверхностью дороги и значительно повышает надежность торможения на скользких участках дорожного полотна.

Эффективная эксплуатация устройства требует грамотного подбора диаметра крыльчатки и её частоты вращения, определяющих начальную скорость выброса частиц. Скорость должна учитывать высоту размещения аппарата над землей и дальность полета частичек сыпучего материала. Неправильно подобранная скорость выброса приведет к тому, что вещество не попадёт точно в рабочую зону контакта шины с дорогой, вследствие чего не произойдёт требуемого снижения эффекта пробуксовки колес» [7].

«Начальная скорость вылета частицы сыпучего материала:

$$v_H = \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot m \cdot g}{2 \cdot S \cdot k_p \cdot \sin \cdot \frac{\left(\arctg \frac{H}{s}\right)}{2} - m \cdot \sin \cdot \frac{\left(\arctg \frac{H}{s}\right)}{2}}}, \quad (16)$$

где S – расстояние между точками отрыва частицы от лопатки и ее приземления на дорогу (начала соприкосновения вращающейся шины с поверхностью дороги по ходу движения), м;

m – масса частицы сыпучего материала, кг;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

k_p – коэффициент пропорциональности, Нс²/м², принимается в диапазоне от 0,0022 до 0,0024;

H – расстояние между точкой отрыва частицы от лопатки крыльчатки до поверхности дороги, м» [4].

«Для работы устройства также необходимо определить передаточное отношение шестерен конического редуктора:

$$i = \frac{\omega_p}{\omega_{кр}}, \quad (17)$$

где ω_p – угловая скорость ролика;

$\omega_{кр}$ – угловая скорость крыльчатки.

Угловая скорость крыльчатки и колеса определяются в соответствии с формулами (18, 19):

$$\omega_{кр} = \frac{v_H}{r_{кр}}, \quad (18)$$

где $r_{кр}$ – радиус крыльчатки, м.

$$\omega_k = \frac{v_k}{r_k}, \quad (19)$$

где v_k – линейная скорость элементов беговой дорожки шины, м/с;

r_k – радиус колеса, м.

Линейная скорость боковины шины в месте соприкосновения обрешиненного ролика с колесом (точка M , рисунок 8):

$$V_M = \omega_k \cdot R = \frac{v_k \cdot R}{r_k}, \quad (20)$$

где R – расстояние от центра колеса до точки соприкосновения обрешиненного ролика с колесом, м» [21].

«Линейная скорость колеса в точке M равна линейной скорости обрешиненного ролика в этой точке:

$$v_M = v_p = \frac{v_k \cdot R}{r_k}. \quad (21)$$

Так как последний жестко закреплен на ведущем валу, то угловая скорость ведущего вала и ролика равны, то есть:

$$\omega_p = \frac{v_p}{r_p} = \frac{v_k \cdot R}{r_k \cdot r_p}, \quad (22)$$

где r_p – радиус обрешиненного ролика» [19].

«Получим следующую зависимость для определения передаточного отношения редуктора:

$$i = \frac{v_k \cdot R \cdot r_{kp}}{r_k \cdot r_p \sqrt{\frac{2 \cdot S \cdot m \cdot g}{2 \cdot S \cdot k_p \cdot \sin \cdot \frac{\left(\arctg \frac{H}{S}\right)}{2} - m \cdot \sin \cdot \frac{\left(\arctg \frac{H}{S}\right)}{2}}}}. \quad (23)$$

Для предотвращения буксования необходимо, чтобы слой насыпаемого материала составлял по высоте от 1,5 до 3 мм. Так как при буксовании колесной машины может наблюдаться явление юза, то необходимо, чтобы ширина захвата B разбрасывания сыпучего материала составляла [2]:

$$B = h_u + 2 \cdot c, \quad (24)$$

где h_u – ширина беговой дорожки (протектора) колеса машины, м;

c – величина перекрытия ширины беговой дорожки шины? принимается равной в диапазоне от 0,15 до 0,2» [19].

«Производительность крыльчатки или подача сыпучего материала:

$$W = P = p_n \cdot B \cdot h \cdot v_o, \quad (25)$$

где p_n – плотность сыпучего материала, кг/м³;

h – высота слоя сыпучего материала, м;

v_{∂} – действительная скорость автомобиля, м/с.

Полезная мощность на ведомом валу:

$$N = \frac{W \cdot v_h}{2}. \quad (26)$$

С учетом потерь в подшипниках, редукторе, шарнире карданного вала, месте контакта обрезиненного ролика и боковины ведущего колеса мощность на ведущем валу:

$$N_{\text{вв}} = \frac{N}{\eta_{\text{подш}} \cdot \eta_{\text{кард}} \cdot \eta_{\text{ред}} \cdot \eta_{\text{рол}}}, \quad (27)$$

где $\eta_{\text{подш}}$ – КПД подшипников, принимается равным 0,99;

$\eta_{\text{кард}}$ – КПД карданного вала, принимается равным 0,99;

$\eta_{\text{ред}}$ – КПД конического редуктора, принимается равным 0,97

$\eta_{\text{рол}}$ – КПД передачи с боковины ведущего колеса на ролик, принимается равным 0,98» [13].

«Устойчивая работа устройства обеспечивается при условии:

$$N_{\text{сн}} \geq N_{\text{вв}} \quad (28)$$

где $N_{\text{сн}}$ – снимаемая с колеса мощность, Вт.

Мощность, снимаемая с колеса, определяется по формуле:

$$N_{\text{сн}} = F_{\text{нр}} \cdot \varphi_p \cdot v_p, \quad (29)$$

где $F_{\text{нр}}$ – сила прижатия ролика к колесу, Н;

φ_p – коэффициент трения» [14].

Сила прижатия ролика к боковине ведущего колеса определяется по формуле:

$$F_{np} = \frac{N_{св}}{\varphi_p \cdot v_p} \geq \frac{W \cdot 2 \cdot S \cdot m \cdot g}{\left(2 \cdot S \cdot k_p \sin \frac{\left(\arctg \frac{H}{S} \right)}{2} - m \sin \frac{\left(\arctg \frac{H}{S} \right)}{2} \right) \cdot 2 \cdot \eta_{подш} \cdot \eta_{кард} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{рол}}, \quad (30)$$

«Полученные формулы позволяют рассчитать все необходимые параметры автоматического устройства для разбрасывания сыпучего материала в зависимости от конструктивных особенностей автомобиля и места установки устройства (H и S)» [8].

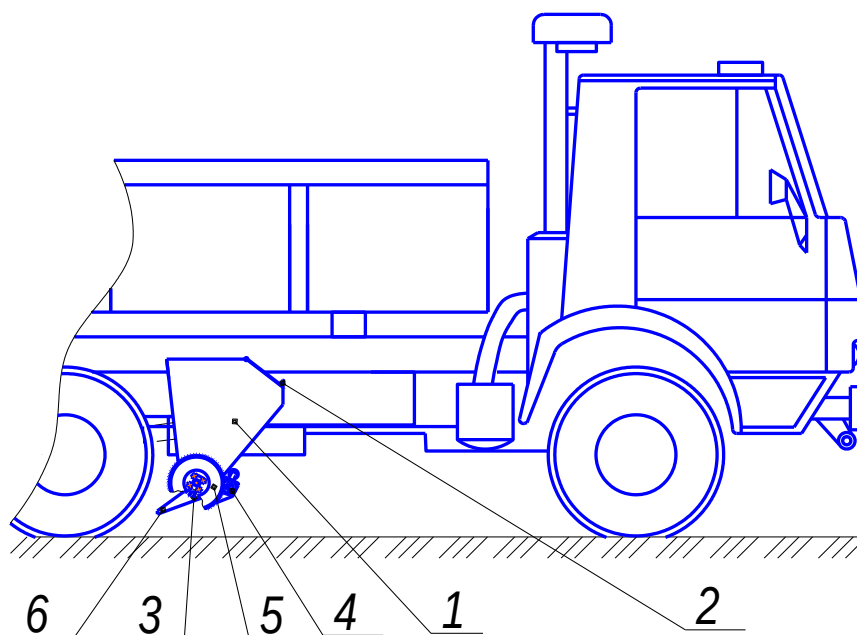
Использование данной конструкции способствует увеличению производительности, снижению расхода топлива и улучшению условий труда. Кроме того, она повышает уровень безопасности, обеспечивая дополнительную защиту работников.

3.2 Разработка конструкции устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

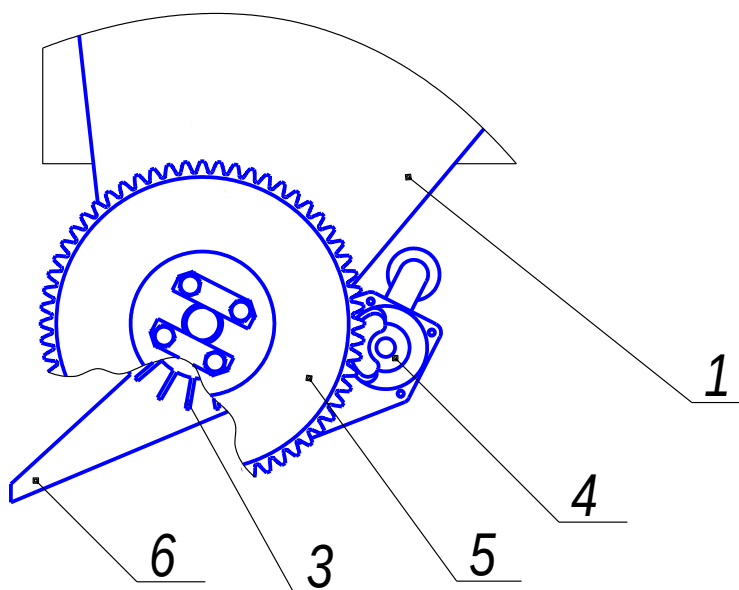
«Предлагаемое устройство предназначено для оперативного повышения тяговых и тормозных характеристик автомобилей КАМАЗ путём своевременной подачи под ведущие колёса абразивных материалов (например, песка, измельчённого гранита, соли и др.). Оно легко адаптируется к семейству автомобилей КАМАЗ, однако при необходимости может быть доработано и применено на иных моделях грузового транспорта (например, МАЗ, ГАЗ и другие), путём внесения изменений в конструкцию

крепёжных элементов» [9].

Устройство на автомобиле КАМАЗ показано на рисунке 9.



а)



б)

а) вид расположение устройства на автомобиле; б) вид основные элементы устройства

1 – бункер; 2 – крышка бункера; 3 – метательное колесо; 4 – стартер;
5 – маховик; 6, 7 – лоток направляющий

Рисунок 9 – Устройство для экстренного кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств автомобилей КАМАЗ

Конструкция включает два симметрично закреплённых на раме автомобиля бункера с крышками, предназначенных для сыпучих материалов. Внутри каждого бункера расположен шнековый механизм, оснащённый метательным диском. Привод шнеков — электрический, с оригинальным решением: для запуска используется стартёр от ВАЗ-2101, который входит в зацепление с маховиком, зафиксированным на оси шнека. Вращаясь, шнек подаёт материал к лопаткам диска, а затем через жёлоб система направляет его непосредственно к ведущим колёсам. В качестве маховика применён элемент от двигателя ВАЗ-2101. Учитывая напряжение бортовой сети КАМАЗ в 24 вольта, подключение стартёров выполняется лишь к одному блоку аккумуляторов напряжением 12 вольт. Стартеры бункеров разных бортов подсоединяются к различным аккумуляторам. Управление стартёрами раздельное, осуществляется с помощью клавиш управления на приборной панели, что даёт возможность подать песок или другой сыпучий материал конкретно под те колёса, которые временно утратили сцепление с дорожным полотном. «Бункер на левом борту устроен аналогичным образом, но зеркально симметрично, а сама винтовая поверхность шнека закручена в обратную сторону» [26].

Расчет сварного соединения пластины крепления к бункеру.

Схема данного соединения изображена на рисунке 10.

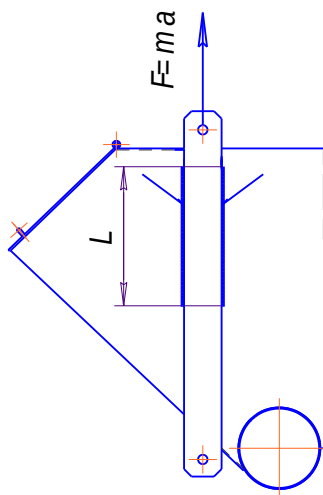


Рисунок 10 – Схема сварного соединения пластины и бункера

«Согласно схеме, вся нагрузка, обеспечивающая устойчивое крепление бункера к опорной пластине, равномерно распределяется между двумя сварными швами одинаковой длины L . Для расчета длины швов примем катет размером 3 мм, что соответствует минимальной толщине свариваемых элементов – стенке бункера.

Учитывая, что пластина ориентирована практически вертикально, параллельно направлению силы тяжести, можно считать воздействующую нагрузку симметричной» [10].

«Определим силу, действующую на сварное соединение:

$$F = m \cdot a, \quad (31)$$

где m – масса полностью загруженного бункера, принимается равной 450 кг;

a – ускорение, которое действует на данную массу при движении автомобиля» [10].

Ускорение на раме грузового автомобиля может достигать значений:

$$a = 4 \cdot g, \quad (32)$$

$$a = 4 \cdot 9,8 = 39,2 \text{ м} \cdot \text{с}^2,$$

$$F = 450 \cdot 39,2 = 17640 \text{ Н}.$$

«Уравнение прочности на срез:

$$\tau_{cp} = \frac{F}{S} \leq [\tau_{cp}], \quad (33)$$

где S – площадь поперечного сечения сварного шва.

$$S = 0,7 \cdot k \cdot L, \quad (34)$$

где L – длина поперечного сечения сварного шва» [16].

«Принимая допускаемое напряжение на срез материала шва равным:

$$[\tau_{cp}] = \alpha \cdot [\sigma_p], \quad (35)$$

где α – коэффициент, учитывающий тип сварки, при ручной сварке принимается равным 0,6» [18].

$$[\tau_{cp}] = 0,6 \cdot 120 = 72 \text{ МПа.}$$

Определим необходимую длину шва:

$$L = \frac{F}{[\tau_{cp}] \cdot k}, \quad (36)$$

$$L = \frac{17640}{72 \cdot 0,7 \cdot 3} = 117 \text{ мм.}$$

«Учитывая критическую роль данного соединения для безопасности движения, принимаем повышенный запас прочности: увеличиваем расчетную длину сварного шва в три раза. В результате окончательная длина шва составляет 350 мм.

Переходим к расчету минимального сечения крепежной пластины, обеспечивающего необходимую несущую способность» [10].

«Уравнение прочности пластины на растяжение имеет вид:

$$\sigma_p = \frac{F}{S} \leq [\sigma_p], \quad (37)$$

где F – растягивающая сила, Н;

S – площадь поперечного сечения пластины;

σ_p – допускаемое напряжение на разрыв, МПа» [11].

Из этого выражения минимально необходимая площадь сечения пластины:

$$S \geq \frac{F}{[\sigma_p]}. \quad (38)$$

«Материалом для изготовления пластины была выбрана обычная углеродистая сталь марки Ст3 в соответствии с требованиями государственного стандарта ГОСТ 380-94. При знакопеременном характере нагрузок данное изделие обладает предельно допустимым пределом прочности на растяжение, составляющим 70 МПа» [10].

$$S \geq \frac{17640}{70 \cdot 10^6} = 252 \cdot 10^{-6} \text{ мм}^2 = 250 \text{ мм}^2.$$

«Наиболее узкое сечение крепежной пластины (с учетом отверстия) имеет ширину 60 мм. Минимальная расчетная толщина – 4,2 мм, но для повышения надежности выбрана толщина 12 мм (трёхкратный запас).

Переходим к расчету шпоночного соединения между шнеком и колесом метателя

Схема данного соединения изображена на рисунке 11» [10].

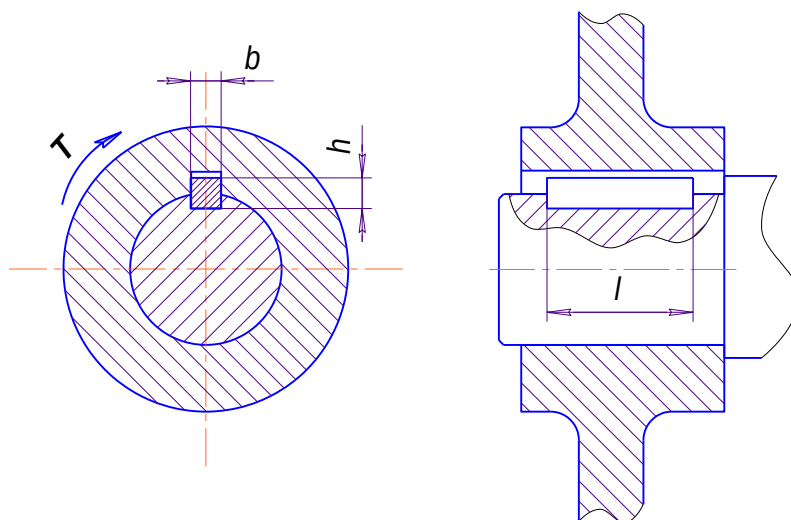


Рисунок 11 – Шпоночное соединение колеса метательного со шнеком

«Далее необходимо рассчитать шпоночное соединение вала диаметром 25 мм с метательным колесом, имеющим ступицу длиной 60 мм. Передаваемый крутящий момент составляет 300 Н·м. Материал вала, колеса и самой шпонки – сталь 45. Допустимые напряжения для материала шпонки составляют: на срез – 80 МПа, на смятие – 120 МПа» [11].

Подбираем размеры поперечного сечения шпонки, исходя из диаметра вала. Согласно справочным данным, устанавливаем следующие размеры шпонки: ширина – 8 мм, высота – 7 мм.

Из условия прочности на срез длина шпонки:

$$l_1 \geq \frac{2 \cdot T}{d \cdot b \cdot [\tau_{cp}]}, \quad (39)$$

$$l_1 \geq \frac{2 \cdot 300 \cdot 10^3}{30 \cdot 8 \cdot 90} = 31,25 \text{ мм} = 40 \text{ мм}.$$

Проверку прочности шпонки на смятие выполняем по формуле:

$$\sigma_{cm} \geq \frac{4 \cdot T}{d \cdot h \cdot l_1}, \quad (40)$$

$$\sigma_{cm} \geq \frac{4 \cdot 300 \cdot 10^3}{30 \cdot 7 \cdot 40} = 142 > [\sigma_{cm}] = 120 \text{ МПа}.$$

Выбранная длина шпонки не обеспечивает необходимую прочность соединения, поэтому длину шпонки следует выбирать из условия прочности на смятие:

$$l_1 \geq \frac{4 \cdot T}{d \cdot h \cdot [\sigma_{cm}]}, \quad (41)$$

$$l_1 \geq \frac{4 \cdot 300 \cdot 10^3}{30 \cdot 7 \cdot 120} = 37,62 \text{ мм} \approx 40 \text{ мм}.$$

Принимаем рабочую длину шпонки из условия прочности на смятие равную 40 мм.

Выводы по разделу.

В данном разделе представлено детальное описание разработанного устройства, предназначенного для временного улучшения тяговых и тормозных свойств грузового транспорта. Прилагаемая конструкторская документация отражает этапы проектирования и оптимизации устройства, включая ключевые инженерные решения.

Ключевые особенности устройства:

- простота конструкции – устройство не требует сложных технологических процессов для изготовления и может быть произведено в условиях автотранспортных предприятий;
- экстренное применение – предназначено для кратковременного использования в сложных дорожных условиях (гололёд, снежная каша, бездорожье);
- улучшение сцепления – повышает тяговые характеристики при трогании и движении, а также эффективность торможения;
- адаптивность – может быть установлено на стандартные модели КамАЗ без серьёзных доработок.

Устройство представляет собой практичное решение, которое может быть внедрено в эксплуатацию без значительных затрат.

Возможные направления доработки и исследования:

- испытания в различных дорожных и климатических условиях,
- оптимизация конструкции для разных модификаций грузовиков,
- оценка экономической эффективности внедрения устройства.

4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [17].

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 Обоснование выбора технологического процесса

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 устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит минимизировать издержки за счёт гибкости производства, избежать избыточных запасов комплектующих и 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:

$$T_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (42)$$

где $F_{\text{д}}$ – 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.» [15].

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

«Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства» [15].

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая графическую схему последовательности

операций и детальное описание всех сборочных этапов. Данный подход обеспечивает четкую стандартизацию производственных этапов, контроль трудоемкости операций, минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки для устройства для кратковременного повышения тягово-цепных и тормозных качеств грузовых автомобилей приведена в таблице 4.

Таблица 4 – Перечень сборочных работ

Содержание основного и вспомогательного перехода	Технические требования	Время на выполнение операции, мин.
«Взять бункер	Бункер должен быть чистым, без следов коррозии	1
Осмотреть бункер на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, вмятин, деформаций	3
Подборка шнека	—	—
Взять вал	Вал должен быть ровным, без механических повреждений	0,5
Осмотреть вал на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие биения, коррозии, заусенцев	1
Взять сектор винтовой (8 шт.)	Все секторы должны быть идентичными по размерам	1
Осмотреть сектор винтовой на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие деформаций, трещин, соответствие чертежам дефектов	2
Установить сектор винтовой на вал при помощи сварки	Сварные швы должны быть герметичными, без пор	16
Взять цапфу (2 шт.)	Цапфы должны быть без дефектов, соответствовать размерам	1
Осмотреть цапфу на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, сколов, коррозии	1
Установить цапфу на передний конец вала при помощи сварки	Сварка должна быть прочной, без перекосов	3
Установить цапфу на задний конец вала при помощи сварки	Аналогично передней цапфе	3
Взять колесо метательное	Колесо должно быть сбалансированным	0,5
Осмотреть колесо метательное на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие дисбаланса, трещин, заусенцев» [1].	1

Продолжение таблицы 4

Содержание основного и вспомогательного перехода	Технические требования	Время на выполнение операции, мин.
«Взять шпонку 8×7×40	Шпонка должна соответствовать ГОСТу	0,2
Установить колесо метательное на шнек в сборе и зафиксировать шпонкой	Фиксация без люфтов, плотная посадка	0,8
Взять подшипниковую опору	Подшипник должен быть исправным, без заклиниваний	0,2
Осмотреть подшипниковую опору на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие люфтов, следов износа дефектов	0,5
Взять винт М12×30 (4 шт.)	Винты должны быть чистыми, резьба неповрежденной	0,2
Установить подшипниковую опору на бункер при помощи винтов М12×30	Затяжка с моментом, указанным в спецификации винтов М12×30	3
Установить шнек в сборе в бункер	Шнек должен вращаться свободно, без заеданий	2
Осмотреть подшипниковую опору на наличие повреждений и дефектов	Проверить отсутствие перекосов после установки	0,2
Взять винт М12×30 (4 шт.)	Аналогично предыдущим винтам	0,5
Установить подшипниковую опору на бункер при помощи винтов М12×30	Затяжка равномерная, без перекосов винтов М12×30	0,2
Взять переходную пластину	Пластина должна быть ровной, без деформаций	3
Осмотреть переходную пластину на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, соответствие размерам	0,6
Взять маховик	Маховик должен быть сбалансированным	0,6
Осмотреть маховик на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие дисбаланса, трещин	1
Взять болт М14×40 (6 шт.)	Болты должны быть без повреждений резьбы	0,5
Установить переходную пластину на маховик при помощи болтов М14×40	Затяжка с указанным моментом, равномерное прилегание болтов М14×40	5
Взять шпонку 8×7×40	Шпонка должна соответствовать ГОСТу	0,3
Установить маховик с переходной пластиной на вал и зафиксировать шпонкой	Фиксация без люфтов, плотная посадка» [1]	1
Взять стартер ВА3-2101	Стартер должен быть исправным	0,5

Продолжение таблицы 4

Содержание основного и вспомогательного перехода	Технические требования	Время на выполнение операции, мин.
Осмотреть стартер ВАЗ-2101 на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие повреждений контактов, корпуса	1
Взять болт М12×20 (4 шт.) и гайку М12 (4 шт.)	Крепеж должен быть чистым, резьба неповрежденной	0,5
Установить стартер ВАЗ-2101 на предусмотренное место крепления на бункере при помощи болтов М12×20 и гаек М12	Затяжка с моментом, указанным в спецификации	4
Проверить работу устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей на свободное вращение шнека	Шнек должен вращаться свободно, без вибраций	15
Провести испытания устройства и при необходимости регулировки	Устройство должно соответствовать ТУ, без утечек регулировки	30
Итого:		104,8

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n} . \quad (43)$$

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:

$$t_{ит}^{общ} = t_{он}^{общ} + t_{он}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (44)$$

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

$$t_{\text{ит}}^{\text{общ}} = 104,8 + 104,8 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 113,18 \text{ мин.}$$

Суммарную трудоемкость процесса принимаем равной 113,2 мин.

4.2 Проектирование технологического процесса сборки устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 5.

Таблица 5 – Технологический процесс сборки устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
«005	Сборочная	1	Взять бункер	Кран-балка, стропы, линейка, щуп, фонарь,	4
		2	Осмотреть бункер на наличие повреждений и дефектов		
010	Сборочная	1	Подсборка шнека	штангенциркуль, микрометр, лупа, сварочный аппарат, электроды, защитная маска, отвертка, ключ рожковый, динамометрический ключ,	28,5
		2	Взять вал		
		3	Осмотреть вал на наличие повреждений и дефектов		
		4	Взять сектор винтовой (8 шт.)» [7].		
		«5	Осмотреть сектор винтовой на наличие повреждений и		

Продолжение таблицы 5

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			дефектов	молоток, оправка, мультиметр	
		6	Установить сектор винтовой на вал при помощи сварки		
		7	Взять цапфу (2 шт.)		
		8	Осмотреть цапфу на наличие повреждений и дефектов		
		9	Установить цапфу на передний конец вала при помощи сварки		
		10	Установить цапфу на задний конец вала при помощи сварки» [7].		
«015	Сборочная	1	Взять колесо метательное		27,3
		2	Осмотреть колесо метательное на наличие повреждений и дефектов		
		3	Взять шпонку 8×7×40		
		4	Установить колесо метательное на шнек в сборе и зафиксировать шпонкой		
		5	Взять подшипниковую опору		
		6	Осмотреть подшипниковую опору на наличие повреждений и дефектов		
		7	Взять винт М12×30 (4 шт.)		
		8	Установить подшипниковую опору на бункер при помощи винтов М12×30		
		9	Установить шнек в сборе в бункер		
		10	Осмотреть подшипниковую опору на наличие повреждений и дефектов» [7].		

Продолжение таблицы 5

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		«11	Взять винт М12×30 (4 шт.)		
		12	Установить подшипниковую опору на бункер при помощи винтов М12×30		
		13	Взять переходную пластину		
		14	Осмотреть переходную пластину на наличие повреждений и дефектов		
		15	Взять маховик		
		16	Осмотреть маховик на наличие повреждений и дефектов		
		17	Взять болт М14×40 (6 шт.)		
		18	Установить переходную пластину на маховик при помощи болтов М14×40		
		19	Взять шпонку 8×7×40		
		20	Установить маховик с переходной пластиной на вал и зафиксировать шпонкой		
		21	Взять стартер ВА3-2101		
		22	Осмотреть стартер ВА3-2101 на наличие повреждений и дефектов		
		23	Взять болт М12×20 (4 шт.) и гайку М12 (4 шт.)		
		24	Установить стартер ВА3-2101 на предусмотренное место крепления на бункере при помощи болтов М12×20 и гаек М12» [7].		
«020	Регулировочная	1	Проверить работу	—	45

Продолжение таблицы 5

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
			устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей на свободное вращение шнека		
		2	Провести испытания устройства и при необходимости регулировки» [12]		

Дополнительные требования при сборке и испытаниях.

Общие требования:

- все работы должны выполняться в соответствии с технической документацией (чертежи, ТУ, ГОСТ);
- перед сборкой провести входной контроль всех деталей на соответствие геометрии и отсутствие дефектов.

Требования к сварочным работам:

- сварка секторов шнека и цапф должна выполняться в среде аргона (для защиты от окисления);
- после сварки провести дефектоскопию швов (ультразвуковой или визуальный контроль);
- запрещается работа при температуре ниже +5°C без предварительного подогрева зоны сварки.

Требования к монтажу подшипников и крепежа

- подшипниковые опоры должны устанавливаться с точным соблюдением соосности;
- резьбовые соединения (болты, винты) затягивать динамометрическим ключом с указанным моментом;

- для предотвращения самоотвинчивания использовать фиксатор резьбы (Loctite 243).

Требования к балансировке:

- маховик и метательное колесо должны быть динамически отбалансированы (допустимый дисбаланс $\leq 1 \text{ г}\cdot\text{см}$);
- после балансировки провести контрольный запуск на холостом ходу (без нагрузки).

Требования к испытаниям

- перед испытаниями проверить свободное вращение шнека (вручную, без заеданий);
- испытания проводить на специальном стенде под нагрузкой, соответствующей рабочим условиям.

Контролировать:

- отсутствие вибраций (допуск $\leq 0,1 \text{ мм}$),
- температуру подшипников (не выше $+70^\circ\text{C}$),
- герметичность соединений (отсутствие утечек смазки).

Результаты испытаний занести в протокол, при необходимости провести регулировку.

Графическая часть выпускной квалификационной работы содержит технологическую схему сборки устройства, предназначенного для аварийного кратковременного улучшения сцепления и торможения автомобилей КАМАЗ. Предложенная схема сборки обеспечивает стабильное качество изделия при серийном производстве и соответствует требованиям ГОСТ Р 41.13-Н для автомобильных вспомогательных систем

Выводы по разделу.

В настоящем разделе приведены обоснования выбора оптимального технологического процесса, проведены расчёты трудоёмкости сборочных работ и разработан наглядный алгоритм последовательности производственных операций для изготовления представленного устройства.

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 6 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 6 – 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 и 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 тщательного изучения этапов сборки или техпроцесса обслуживания, учета особенностей конструкции и организационно-технических аспектов, важно подготовить специальный технологический паспорт, который будет содержать всю необходимую информацию. Такой паспорт рекомендуется оформить в виде таблицы (таблица 7).

Таблица 7 – Технологический паспорт процесса сборки устройства

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Сборка устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей	«1 Собрать корпус (бункер) устройства. 2 Установить в корпус исполнительный механизм (вал со шнеком). 3 Установить привод устройства. 4 Установить устройство на грузовой автомобиль КАМАЗ» [12]. 5 Выполнить испытания устройства для экстренного	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда	Кран-балка, стропы, линейка, щуп, фонарь, штангенциркуль, микрометр, лупа, сварочный аппарат, электроды, защитная маска, отвертка, ключ рожковый, динамометрический ключ, молоток, оправка, мультиметр	Перчатки, ветошь

Продолжение таблицы 7

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
	кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств автомобилей КАМАЗ			

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.

Таблица 8 отражает систематизацию сведений о выявленных профессиональных рисках, специфичных для процедуры сборки устройства, предназначенного для кратковременного улучшения тяговых и тормозных характеристик грузовых автомобилей.

Таблица 8 – 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 Собрать корпус (бункер) устройства. 2 Установить в корпус исполнительный механизм (вал со шнеком). 3 Установить привод устройства. 4 Установить устройство на грузовой автомобиль КАМАЗ. 5 Выполнить испытания устройства для экстренного кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств автомобилей КАМАЗ	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей автомобиля	Элементы конструкции автомобиля КАМАЗ, бункер пескоразбрасывателя» [12]

Продолжение таблицы 8

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	«Запыленность и загазованность воздуха»	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум автомобиля
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции автомобиля, привод устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей» [26].
	«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» [17].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой. Напряжение зрительных анализаторов. Монотонность труда, вызывающая монотонию.	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [6]

«Методика оценки рисков проводится в соответствии с ГОСТ 12.0.230-2007. Она помогает выявить возможные риски на каждом этапе технологического процесса и своевременно принять профилактические меры для предотвращения несчастных случаев и развития профессиональных заболеваний» [6].

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 остановки оборудования,
- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

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

Особое внимание уделяется:

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

Реализация данных мер позволяет:

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

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

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

«Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль» [3].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Методы минимизации профессиональных угроз и рисков на рабочем месте	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].

Продолжение таблицы 9

Профессиональный риск	Методы минимизации профессиональных угроз и рисков на рабочем месте	Средства индивидуальной защиты
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; – обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Повышенный уровень шума	Мониторинг здоровья работников: – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. Инструктаж по: – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противошумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. Техническая модернизация: – плановый контроль уровня шума оборудования – внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); – приоритетная замена устаревшего шумного оборудования.	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [22].

Продолжение таблицы 9

Профессиональный риск	Методы минимизации профессиональных угроз и рисков на рабочем месте	Средства индивидуальной защиты
	Организация рабочего процесса: – введение регламентированных «тихих пауз»; – создание зон акустической разгрузки; – оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки. Тренинги по: – техникам стрессоустойчивости; – методам звуковой релаксации; – профилактике слухового утомления. Консультации корпоративного психолога Инженерные решения: – установка звукопоглощающих панелей; – применение антивибрационных креплений; – модернизация вентиляционных систем; – использование шумоподавляющих материалов	
«Возможность поражения электрическим током	Образовательные мероприятия: – проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электрозащитных средств; – организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев Практическая подготовка – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением; – внедрение системы ежегодной аттестации	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 9

Профессиональный риск	Методы минимизации профессиональных угроз и рисков на рабочем месте	Средства индивидуальной защиты
	электротехнического персонала Техническая защита: – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. Профилактический контроль: – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов: – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования, – ведение электронного журнала технического состояния. Административный надзор: – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссионная инспекция, – автоматизированная система учета нарушений Медицинское сопровождение: – углубленные медосмотры для электротехперсонала: – проверка нервной системы – контроль сердечно-сосудистых показателей тесты на скорость реакции	
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках).	—

Продолжение таблицы 9

Профессиональный риск	Методы минимизации профессиональных угроз и рисков на рабочем месте	Средства индивидуальной защиты
	Оптимальным решением для естественного освещения помещений являются прозрачные архитектурные конструкции, позволяющие свободно проникать солнечному свету внутрь здания. Использование стеклянных перегородок, остеклённых фасадов или светопрозрачных панелей создаёт комфортное и равномерное распределение дневного света внутри пространства, исключая необходимость применения искусственного освещения.	
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27].	—
«Монотонность труда	– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности; – внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы; – регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня;	—

Продолжение таблицы 9

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

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

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 10).

Таблица 10 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Участок тюнинга»	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)» [24];
- 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 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);
- определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
- разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
- согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
- обучение персонала и проведение тренировок.

«Обеспечение пожарной безопасности при эксплуатации устройств, путём установления порядка действий персонала, правил поведения сотрудников, особенностей размещения оборудования и мероприятий по поддержанию необходимого уровня противопожарной защиты территории предприятия» [6].

Перечень мероприятий представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке устройства

Комплекс превентивных мер по предупреждению пожаров и обеспечению высокой степени пожарной безопасности	Критерии и стандарты обеспечения эффективной пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [6]
«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» [15]
«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» [14]
«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» [26].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [24]

«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» [25]

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 устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

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. Экологическая безопасность выходит далеко за рамки простой заботы о природе – это целостная стратегия, направленная на достижение устойчивого баланса между деятельностью человека и сохранением природных экосистем.

Производим выявление возможных отрицательных экологических факторов, появляющихся в процессе сборки устройства, предназначенного для быстрого повышения тяговых и тормозных характеристик грузовых автомобилей. Выявленные факторы классифицируем и оформляем в виде таблицы №12.

Таблица 12 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы, металлический лом» [11].

Последствия игнорирования негативных факторов:

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

Для минимизации вреда от пыли и СОЖ требуется комплексный подход:

- технический – фильтрация и модернизация оборудования,
- организационный – обучение персонала, контроль норм,
- экологический – правильная утилизация отходов.

Составляем сводную таблицу 13 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 13 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

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

Продолжение таблицы 13

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
– металлическая стружка и лом; – промасленная ветошь, спецодежда; – твердые коммунальные отходы (ТКО)	Обезжиривание + сжигание в спецпечах. Сортировка +захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

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

Выводы по разделу.

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

- составлен технологический паспорт сборки устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей;
- 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

Определение финансовых затрат на проектирование и реализацию любого устройства требует учёта нескольких ключевых факторов:

- стоимость материалов. Важно заранее определиться с перечнем и качеством сырья, необходимого для изготовления конструкции, и оценить итоговую сумму закупки;
- трудозатраты. Необходимо выяснить объём трудовых ресурсов, который потребуется на весь цикл разработки, и рассчитать расходы на оплату труда специалистов в зависимости от действующих тарифов.
- оборудование. Следует проанализировать потребности в инструментах, станочном парке и прочих средствах производства, необходимых для воплощения конструкции, и произвести оценку стоимости их приобретения или аренды;
- дополнительные расходы. Помимо прочего, важно предусмотреть непредвиденные траты, такие как арендная плата за помещение, логистические издержки на перевозку комплектующих и оборудования, энергоресурсы и прочие сопутствующие расходы.

После всестороннего анализа всех вышеперечисленных факторов можно приступить к финальному этапу – определению совокупных финансовых затрат, необходимых для полного цикла проектирования и реализации устройства, способствующего временному усилению тяговых и тормозных характеристик грузового автотранспорта.

«Затраты на изготовление устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей определяем по формуле:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{сб.н}} + C_{\text{о.н}}, \quad (45)$$

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

$C_{o.d}$ – затраты на изготовление оригинальных деталей, р.;

$C_{n.d}$ – цена покупных деталей, изделий, агрегатов, р.;

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

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

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_k \cdot C_k, \quad (46)$$

где Q_k – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

C_k – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 142,0 р./кг» [7].

В данном проекте корпусной деталью будет являться бункер, массой 42 кг.

$$C_{к.д} = 42 \cdot 142,0 = 5964 \text{ р.}$$

Общая стоимость корпусных деталей составляет 5964 р.

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{o.d} = C_{прн} + C_m, \quad (47)$$

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

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

«Заработную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{np} = t \cdot C_q \cdot \kappa_t, \quad (48)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей,

(вал 1,5 чел.-ч.; шнек 2 чел.-ч., цапфа 1,1 чел.-ч.);

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

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

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

$$C_{np} = 4,6 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1078,37 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_o = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{np}}{100}, \quad (49)$$

$$C_o = \frac{10 \cdot 1078,37}{100} = 107,84 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{соц} = \frac{30 \cdot (C_{np} + C_{\partial})}{100}, \quad (50)$$

$$C_{соц} = \frac{30 \cdot (1078,37 + 107,84)}{100} = 355,86 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma np} = 1078,37 + 107,84 + 355,86 = 1542,07 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 1542,07 р.

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

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (51)$$

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

Q_3 – масса заготовки, кг» [12].

$$C_M = 160 \cdot 8 = 1280 \text{ р.},$$

$$C_{o.\partial} = 1542,07 + 1280 = 2822,07 \text{ р.}$$

Таким образом, затраты на изготовление оригинальных деталей составляют 2342,89 р.

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

$$C_{сб.n} = C_{сб} + C_{\partial.сб} + C_{соц.сб}, \quad (52)$$

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

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

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

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

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (53)$$

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

$$T_{сб} = k_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (54)$$

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

k_c – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [7].

По справочным данным принимаем $t_{сб}$ равную 3,0 чел.-ч.

$$T_{сб} = 3 \cdot 1,0 = 3 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих равна:

$$C_{сб} = 3 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 703,28 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 703,28 = 70,33 \text{ р.,}$$

$$C_{соп.сб} = 0,3 \cdot (703,28 + 70,33) = 232,08 \text{ р.}$$

$$C_{сб.п} = 703,28 + 70,33 + 232,08 = 1005,69 \text{ р.}$$

Таким образом, полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке, составит 1005,69 р.

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{он} = \frac{(C_{np} \cdot R_{он})}{100}, \quad (55)$$

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

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

$$C'_{np} = (C_{np} + C_{сб}), \quad (56)$$

$$C'_{np} = 1078,37 + 1005,69 = 2084,06 \text{ р.},$$

$$C_{он} = \frac{(2084,06 \cdot 15)}{100} = 312,6 \text{ р.}$$

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

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

Значение	Числовое значение, руб.
Маховик (1 шт.)	2240
Стартер ВАЗ-2101 (1 шт.)	1568
Подшипниковые опоры (2 шт.)	1456
Электрические провода	896
Кнопка включения	336
Метизы	280
Итого:	6776

$$C_{но} = 2240 + 1568 + 1456 + 896 + 336 + 280 = 6776 \text{ р.}$$

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

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 5964 + 2822,07 + 1005,69 + 312,6 + 6776 = 16880,36 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление устройства сведем в таблицу 15.

Таблица 15 – Затраты на изготовление конструкторской разработки устройства

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	5964
Стоимость изготовления оригинальных деталей	2822,07
Общая заработная плата на сборку	1005,69
Общепроизводственные накладные расходы	312,6
Стоимость покупных изделий	6776
Итого:	16880,36

Общая себестоимость изготовления одного экземпляра устройства, предназначенного для кратковременного повышения тяговых и тормозных характеристик грузовых автомобилей, составляет 16,8 тыс. р. Данная цифра приведена для одной стороны транспортного средства. Таким образом, полная стоимость комплекта устройства, включая затраты на установку (коэффициент монтажа 1,12) составит 37,9 тыс. р.

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_r = C_{\text{пр}} - C_{\text{кон}}, \quad (57)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость прототипа, р» [9].

$$\mathcal{E}_r = 225000 - 37980,81 = 187019,19 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{кон}}}{\mathcal{E}_r}, \quad (58)$$

$$O_{\text{ок}} = \frac{37980,81}{187019,19} = 0,2 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\Phi} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{\text{кон}} \quad (59)$$

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\Phi} = 187019,19 - 0,15 \cdot 37980,81 = 181322,07 \text{ р.}$$

В таблице 16 представлены основные показатели проекта.

Таблица 16 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	225000	37980,81
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	187019,19
Экономический эффект	р.	–	181322,07
Срок окупаемости	год	–	0,2

Выводы по разделу.

Экономическая эффективность разработки подтверждена: стоимость создания устройства составляет 37980,81 руб., при этом срок окупаемости составляет 0,2 года (ориентировочно 2,4 месяца), что свидетельствует о высокой рентабельности проекта. Краткосрочная окупаемость (менее года) делает проект привлекательным для внедрения, так как инвестиции быстро возвращаются, а дальнейшая эксплуатация приносит чистую прибыль.

Перспективность разработки обусловлена значительным улучшением тягово-сцепных и тормозных характеристик грузовых автомобилей, что повышает безопасность и эффективность их работы в сложных дорожных условиях.

Учитывая низкие затраты и быструю окупаемость, проект целесообразно реализовать в производстве и внедрить в эксплуатацию для коммерческого использования.

Таким образом, разработка является экономически выгодной и технически обоснованной для применения в грузовом автотранспорте.

Заключение

Ключевая концепция работы основана на разработке конструкции устройства для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей, путем автоматической подачи сыпучих материалов (песка, мелкой гранитной крошки, технической соли) под ведущие колёса, что увеличивает уровень сцепления шин с дорожным покрытием, особенно на скользких участках дорог.

Задачи, успешно решённые в рамках дипломного проекта:

- разработан и исследован эффективный метод увеличения коэффициента сцепления автомобильных шин с мокрыми и скользкими покрытиями благодаря применению автоматического устройства для подачи сыпучих материалов под ведущие колеса;
- выполнен тягово-динамический расчёт, подтверждающий работоспособность устройства на примере автомобилей КАМАЗ;
- описана конструкция и принцип работы устройства, позволяющего быстро повышать сцепные и тормозные способности тяжёлого грузового транспорта, а также выполнена полноценная конструкторская разработка новой конструкции;
- обоснованы оптимальный технологический процесс производства устройства, рассчитан объём трудозатрат, составлен поэтапный технологический регламент сборки и проверки работоспособности устройств;
- проанализированы аспекты обеспечения безопасности труда и экологии при эксплуатации разработанной конструкции;
- подтверждена высокая практическая значимость и целесообразность введения конструкции устройства с экономической стороны для эффективного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей в экстремальных погодных условиях.

Список используемой литературы и используемых источников

- 1 Автомобили КамАЗ типа 6×4: Руководство по эксплуатации: 5320-3902005 РЭ / АО КамАЗ. Москва: Машиностроение, 1991. 335 с.
- 2 Белоусов Б. Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 (М.: Типография «Наука»). 727 с.
- 3 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта : Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов «Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). 521 с.
- 4 Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин: учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства по дисциплине Конструкции подъемно-транспортных, строительных, дорожных средств и оборудования: [практикум] / М. Д. Герасимов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Белгород: БГТУ им. В. Г. Шухова, 2017. 115 с.
- 5 Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.
- 6 Горина Л. Н., Фесина М. И. «Раздел бакалаврской работы Безопасность и экологичность технического объекта. Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. 22 с.
- 7 Гребнев В. П. Тракторы и автомобили [Электронный ресурс]: теория и эксплуатационные свойства: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению Агроинженерия/

В. П. Гребнев, О. И. Поливаев, А. В. Ворохобин ; под общ. О. И. Поливаева. - 2-е изд., стер. Москва: КНОРУС, 2015. 260 с.

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

9 Дубинин Н. Н. Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие для студентов специальности - Наземные транспортно-технологические средства специализации Технические средства природообустройства и защиты в чрезвычайных ситуациях / Н. Н. Дубинин; М-во образования и науки Российской Федерации, Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород : Изд-во БГТУ, 2014. 258 с.

10 Кондратьева-Бейер М. В. «Automobil und traktor [Текст] Автомобиль и трактор: Немецкая хрестоматия / М. В. Кондратьева-Бейер, Ю. В. Бейер. Москва; Ленинград: Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933. 179 с.

11 Конструирование, сравнительная оценка и выбор задних мостов тяжелых грузовиков [Текст]. Москва: ЦБТИ, 1957. 82 с.

12 Куликов М. И. Трансмиссия тяговых машин: Учеб. пособие / М. И. Куликов, Е. М. Крашенинников; Петрозавод. гос. ун-т им. О. В. Куусинена. - Петрозаводск: ПГУ, 1986. 103 с.

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

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

15 Основные характеристики и тенденции развития современных отечественных и зарубежных сельскохозяйственных тракторов: учебное пособие / А. П. Иншаков» [9].; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования Мордовский гос. ун-т им. Н. П. Огарева. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2007. 162 с.

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

17 Сухочев Г. А. Разработка технологического процесса изготовления детали : Учеб. пособие / Г.А. Сухочев, К.А. Яковлев; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. лесотехн. акад. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 67 с.

18 Транспортное обеспечение производства: учебное пособие / О. А. Лукашук, В. С. Великанов, А. А. Маркина, К. Ю. Летнев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. - Екатеринбург: УрФУ, 2024. - 133 с.

19 Уханов А. П. Конструкция и основы теории транспортных машин [Текст]: учебное пособие/ А. П. Уханов, Д. А. Уханов, М. В. Рыблов; М-во сельского хозяйства Российской Федерации, Пензенская государственная сельскохозяйственная академия. - Пенза : РИО ПГСХА, 2015. 226 с.

20 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта: электронное учебно-методическое пособие

/ Л. А. Черепанов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 с.

21 Янкин, Ю. С. Экономика автомобильного транспорта: рабочая программа, методические указания и задание на курсовую работу для студентов специальности 150200 - Автомобили и автомобильное хозяйство / Янкин Юрий Сергеевич; Министерство образования Российской Федерации, Московский государственный открытый университет, Кафедра автомобильного хозяйства и двигателей. Москва: МГОУ, 2001. 52 с.

22 Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 368 с.

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

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

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

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

27 Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. - Vol. 7 (109). 64 - 70 p.

Спецификации

Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата		Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
			Подп.	Дата					
Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.						
						Документация			
	A4				25.ДПО1105.6100.000.ПЗ	Пояснительная записка	1		
	A1				25.ДПО1105.6100.000.СБ	Сборочный чертеж	1		
						Сборочные единицы			
Справ. №			1		25.ДПО1105.6101.000	Бункер	1		
			2		25.ДПО1105.6102.000	Шнек в сборе	1		
			3		25.ДПО1105.6103.000	Маховик	1		
			4		25.ДПО1105.6104.000	Подшипник корпусный шариковый радиальный однорядный	1		
			5		25.ДПО1105.6105.000	Подшипник корпусный шариковый радиальный однорядный	1		
Подп. и дата						Детали			
			7		25.ДПО1105.6100.007	Пластина крепления маховика	1		
						Стандартные изделия			
			8			Болт М12х45 ГОСТ 7798-70	8		
			9			Болт М10х40 ГОСТ 7798-70	6		
			10			Болт М10х30 ГОСТ 7798-70	3		
			11			Гайка М10 ГОСТ 5915-70	3		
Подп. и дата									
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	25.ДПО1105.6100.000			
	Разраб.	Долматов Т.С.				Устройство для экстренного кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей	Лит.	Лист	Листов
	Проб.	Зотов А.В.					Д	1	2
	Н.контр.	Зотов А.В.					ТГУ, АТС-2001а		
	Утв.	Бобрювский АВ							

Рисунок А.1 – Спецификация на устройство для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

Продолжение Приложения А

[illegible]

Рисунок А.2 – Спецификация на устройство для кратковременного повышения тягово-сцепных и тормозных качеств грузовых автомобилей

Продолжение Приложения А

Формат Зона		Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чение
Перв. примен.						
<u>Документация</u>						
A1			25.ДПО1105.62.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
<u>Детали</u>						

Рисунок А.3 – Спецификация на бункер (правый)

Продолжение Приложения А

Перв. примен.		Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						Документация		
A3					25.ДП.01.105.63.02.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
						Детали		
A3		1			25.ДП.01.105.63.02.001	Цапфа	1	
A4		2			25.ДП.01.105.63.02.002	Вал	1	
A4		3			25.ДП.01.105.63.02.003	Сектор винтовой	5	
A4		4			25.ДП.01.105.63.02.004	Цапфа	1	
		</						

Рисунок А.4 – Спецификация на шнек

Продолжение Приложения А

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Справ. №					Документация		
	A3			25.ДП.01.105.63.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
					Сборочные единицы		
	A4	1		25.ДП.01.105.63.01.000	Колесо метательное	1	
	A4	2		25.ДП.01.105.63.02.000	Шнек	1	
					Стандартные изделия		
			3		Шпонка 8x7x40 ГОСТ 10748-79	1	
			19		Шплинт 3,2x36 ГОСТ 397-79	2	
Подп. и дата				25.ДП.01.105.63.00.000			
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
Инв. № подл.	Разраб.	Долматов Т.С.				Лит.	Лист
	Пров.	Зотов А.В.				Д	1
	Консульт.						
	Н.контр.	Зотов А.В.					
		Утв.	Бобровский А.В.				
Шнек в сборе						ТГУ, АТс-2001а	
Копировал						Формат А4	

Рисунок А.5 – Спецификация на шнек в сборе