

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра Проектирование и эксплуатация автомобилей

(наименование)

23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства»

(код и наименование направления подготовки/специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Разработка стенда для ресурсных испытаний амортизаторов
грузовых автомобилей

Обучающийся

С.И. Мухамадиев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Консультанты

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

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

канд. пед. наук, доцент А.В. Кириллова (Егорова)

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

канд. физ.-мат. наук, доцент Д.А. Романов

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Тольятти 2024

Аннотация

В расчетно-пояснительной записке представлена дипломная работа на тему «Разработка стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей».

Амортизаторы грузовых автомобилей подвержены значительным нагрузкам из-за тяжелых условий эксплуатации, таких как перевозка крупных грузов, длительные маршруты и различные дорожные покрытия. Разработка стенда для ресурсных испытаний позволит точно оценивать надежность и долговечность амортизаторов, что критически важно для обеспечения безопасности и эффективности грузовых перевозок.

Современные грузовые автомобили оснащаются все более сложными и высокотехнологичными системами подвески. Традиционные методы тестирования амортизаторов могут быть недостаточно точными или эффективными для оценки новых конструкций и материалов. Специализированный стенд для ресурсных испытаний позволит применять передовые методы и технологии для тестирования и оптимизации новых моделей амортизаторов. Разработка и внедрение нового испытательного стенда имеет значительное научное и техническое значение. Проект включает исследование новых методов тестирования, применение современных технологий и материалов, что способствует развитию инженерной науки и техники в области автомобилестроения.

Структура дипломного проекта разделена на несколько связанных между собой разделов, а именно: введение, шесть глав, раскрывающих тему проекта, заключение и список использованных источников, включая иностранные. Инженерно-графический раздел выпускной квалификационной работы изложен на 10 листах формата А1.

Цель данного дипломного проекта — разработка стенда для исследования амортизаторов грузовых автомобилей. Такой стенд позволит моделировать реальные условия эксплуатации, измерять ключевые параметры

взаимодействия амортизаторов и анализировать полученные данные для улучшения конструкции амортизаторов грузовых автомобилей. В рамках проекта будет проведен анализ существующих методик и оборудования для испытания шин, разработаны технические требования и конструкция стенда, а также проведены экспериментальные исследования с использованием различных типов амортизаторов грузовых автомобилей.

Логическая структура дипломного проекта представляет совокупность ряда проведенных исследований, а именно:

- анализ конструкции стендов для испытания амортизаторов транспортных средств;
- формирование предложений по конструкции испытательного стенда;
- проведение необходимых конструкторских расчетов;
- разработка необходимых технологических операций сборки узлов стенда;
- разработка требований по безопасности организации и проведению сборочных работ;
- расчет экономического эффекта от внедрения конструкции в производство;
- формирование заключения по результатам проделанной работы.

Таким образом, тема дипломного проекта «Разработка стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей» является актуальной и востребованной. Она направлена на решение важных задач в области надежности и безопасности грузовых автомобилей, способствует техническому прогрессу и развитию индустрии, а также имеет значительный экономический и научный потенциал.

Abstract

The calculation and explanatory note presents a thesis on the topic “Development of a stand for life testing of shock absorbers of trucks.”

Truck shock absorbers are subject to significant stress due to severe operating conditions, such as transporting large loads, long routes and varying road surfaces. The development of a life test bench will allow us to accurately assess the reliability and durability of shock absorbers, which is critical to ensuring the safety and efficiency of freight transportation.

Modern trucks are equipped with increasingly complex and high-tech suspension systems. Traditional shock absorber testing methods may not be accurate or efficient enough to evaluate new designs and materials. A specialized stand for endurance testing will allow the use of advanced methods and technologies for testing and optimizing new models of shock absorbers. The development and implementation of a new test bench has significant scientific and technical significance. The project includes the study of new testing methods, the use of modern technologies and materials, which contributes to the development of engineering science and technology in the field of automotive manufacturing.

The structure of the diploma project is divided into several interconnected sections, namely: introduction, six chapters revealing the topic of the project, conclusion and list of sources used, including foreign ones. The engineering and graphic section of the final qualifying work is presented on 10 sheets of A1 format.

The purpose of this diploma project is to develop a stand for studying shock absorbers of trucks. Such a stand will allow simulating real operating conditions, measuring key parameters of shock absorber interaction and analyzing the data obtained to improve the design of truck shock absorbers. The project will analyze existing methods and equipment for testing tires, develop technical requirements and stand design, and conduct experimental studies using various types of truck shock absorbers.

The logical structure of the diploma project represents the totality of a number of studies conducted, namely:

- analysis of the design of stands for testing vehicle shock absorbers;
- generation of proposals for the design of the test bench;
- carrying out the necessary design calculations;
- development of the necessary technological operations for assembling stand components;
- development of requirements for the safety of the organization and assembly work;
- calculation of the economic effect from introducing the design into production;
- drawing up a conclusion based on the results of the work done.

Thus, the topic of the diploma project “Development of a stand for life testing of shock absorbers of trucks” is relevant and in demand. It is aimed at solving important problems in the field of reliability and safety of trucks, promotes technical progress and industry development, and also has significant economic and scientific potential.

Содержание

Введение	8
1 Обзор промышленных аналогов разрабатываемого стенда ресурсных испытаний амортизаторов	11
2 Конструкторский раздел дипломного проекта	19
2.1 Тяговый расчёт автомобиля	19
2.2 Техническое задание на разработку стенда ресурсных испытаний амортизаторов грузового автомобиля	36
2.3 Техническое предложение на разработку стенда ресурсных испытаний амортизаторов грузового автомобиля	39
2.4 Силовые и прочностные расчеты узлов и деталей конструкции	51
3 Технологический процесс ресурсных испытаний амортизаторов автомобилей	60
3.1 Параметры проверки состояния амортизатора грузового автомобиля	60
3.2 Наиболее характерные неисправности амортизаторов	61
3.3 Технологический процесс проведения ресурсных испытаний амортизатора грузового автомобиля	63
3.4 Технологический процесс сборки узлов стенда испытаний амортизаторов	63
4 Безопасность и экологичность участка механической сборки	66
4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технического объекта	66
4.2 Идентификация профессиональных рисков	69
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	70
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	72
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта ...	76

5 Экономический раздел дипломного проекта	78
5.1 Технико-экономическое обоснование объекта разработки дипломного проекта	78
5.2 Расчет затрат и экономической эффективности	72
5.3 Расчет экономического эффекта от разработанной конструкции	86
Заключение	90
Список используемых источников	96

Введение

Современная транспортная индустрия предъявляет высокие требования к надежности, безопасности и долговечности компонентов грузовых автомобилей. Одним из ключевых элементов, обеспечивающих комфорт и безопасность при движении, являются амортизаторы. Они играют важную роль в системе подвески, смягчая удары и вибрации, возникающие при движении по различным типам дорог. В условиях интенсивной эксплуатации грузовых автомобилей амортизаторы подвержены значительным нагрузкам, что требует особого внимания к их качеству и долговечности.

Разработка стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей является актуальной задачей, направленной на повышение надежности и эффективности транспортных средств. Такой стенд позволит проводить комплексные и точные испытания амортизаторов, выявляя их слабые места и оценивая срок службы в реальных условиях эксплуатации. Это особенно важно для производителей автокомпонентов, стремящихся к улучшению своих продуктов и соответствию высоким стандартам качества.

Амортизаторы играют ключевую роль в обеспечении безопасности грузовых автомобилей, влияя на управляемость, устойчивость и тормозной путь транспортного средства. Ресурсные испытания на специализированных стендах позволяют тщательно проверить и подтвердить надежность и долговечность амортизаторов в условиях, приближенных к реальной эксплуатации. Это снижает риск отказов и аварийных ситуаций, связанных с неисправностями подвески. Использование надежных амортизаторов продлевает срок службы компонентов подвески и снижает частоту технического обслуживания и ремонта. Ресурсные испытания позволяют выявлять и устранять потенциальные дефекты на стадии разработки, что уменьшает количество гарантийных случаев и связанных с ними затрат. Таким образом, инвестиции в испытательные стенды окупаются за счет сокращения эксплуатационных расходов.

Многие страны и международные организации устанавливают строгие стандарты и нормативы для автокомпонентов, включая амортизаторы. Специализированные стенды для ресурсных испытаний позволяют производителям обеспечить соответствие своей продукции установленным требованиям, что является обязательным условием для выхода на рынок и сертификации продукции. Ресурсные испытания позволяют проводить всестороннюю оценку качества амортизаторов, выявлять слабые места и проводить корректировки в конструкции и производственном процессе. Это приводит к созданию более качественных и долговечных продуктов, что повышает доверие потребителей и улучшает репутацию производителя на рынке. Испытательные стенды являются инструментом для научных исследований и разработок новых технологий. Они позволяют инженерам и ученым проводить экспериментальные исследования, разрабатывать и тестировать новые материалы и конструкции амортизаторов. Это способствует инновациям и техническому прогрессу в отрасли. Производители, которые могут продемонстрировать высокую надежность и долговечность своей продукции, получают конкурентные преимущества на рынке. Наличие специализированных стендов для ресурсных испытаний позволяет компании улучшить свои продукты и предложить потребителям более надежные и качественные решения, что повышает их привлекательность на конкурентном рынке.

Грузовые автомобили эксплуатируются в разнообразных и часто экстремальных условиях, включая различные климатические зоны и дорожные покрытия. Ресурсные испытания на стендах позволяют моделировать эти условия и проверять амортизаторы на устойчивость к различным видам нагрузок и воздействий. Это обеспечивает создание универсальных и адаптивных продуктов, способных эффективно работать в любых условиях.

Основная цель данного дипломного проекта заключается в разработке и создании испытательного стенда, способного моделировать реальные

эксплуатационные условия и обеспечивать точное измерение характеристик амортизаторов. В проекте будут рассмотрены следующие аспекты:

- анализ существующих методов и оборудования для испытаний амортизаторов;
- разработка технических требований и конструкторских решений для стенда;
- моделирование и оптимизация конструктивных элементов стенда;
- проведение экспериментальных исследований и анализ полученных данных;

Реализация данного проекта имеет значительный научный и практический потенциал. Она позволит не только повысить качество и надежность амортизаторов, но и сократить затраты на их разработку и испытания. Внедрение разработанного стенда на производстве обеспечит конкурентные преимущества для компаний, занимающихся выпуском амортизаторов, и станет важным шагом в повышении безопасности и эффективности грузовых перевозок.

Введение включает в себя обзор актуальности темы, постановку целей и задач проекта, а также описание структуры дипломной работы. В дальнейшем проект будет подробно рассмотрен по следующим разделам: обзор литературы, методология и проведение экспериментов, результаты и их обсуждение, выводы и рекомендации.

1 Обзор промышленных аналогов разрабатываемого стенда ресурсных испытаний амортизаторов

Для разработки стенда ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей необходимо проанализировать существующие промышленные аналоги. Рассмотрение текущих решений позволит выделить ключевые характеристики и функциональные возможности, а также выявить направления для улучшений.

Компания MTS Systems Corporation предлагает разнообразные стенды для испытаний амортизаторов, которые широко используются в автомобильной промышленности. Одним из таких является стенд для испытания амортизаторов автомобиля MTS1000+, представленный на рисунке 1.

Основными характеристиками стенда являются высокая точность измерений и возможность воспроизведения сложных циклов нагрузок. Автоматизированные системы управления стенда обеспечивают точный контроль параметров проводимых испытаний. Стенд обеспечивает поддержку различных типов амортизаторов, включая однотрубные, двухтрубные и электронно-управляемые модели.

Преимуществами стенда для испытания амортизаторов автомобиля MTS1000+ являются:

- высокая степень автоматизации и интеграция с программным обеспечением для анализа данных;
- надежность и долговечность оборудования.

Недостатками стенда для испытания амортизаторов автомобиля MTS1000+ являются:

- высокая стоимость оборудования;
- необходимость специализированного обучения для работы с системой.

Технические характеристики стенда приведены в таблице 1



Рисунок 1 – Стенд для испытания амортизаторов автомобиля MTS1000+

«Другим найденным в результате поиска промышленным аналогом проектируемого стенда будет являться стенд "CENTURION" S400AM. Внешний вид стенда представлен на рисунке 2. Технические характеристики приведены в таблице 1.» [15]



Рисунок 2 – Стенд испытания амортизаторов "CENTURION" S400AM

«При проверке амортизаторов на стенде производится замер усилия сопротивления амортизатора на ходе сжатия и отбоя, с возможностью построения рабочей диаграммы амортизатора и скоростной характеристики.

Программный модуль стенда позволяет проводить адаптацию проверок под специфические задачи, выбирать количество циклов прокачки и скорости прокачки, добавлять и редактировать типы и параметры амортизаторов подлежащих испытаниям. Программная оболочка стенда позволяет накапливать, хранить и редактировать базу данных по испытаниям как локально, так и в сети.

Стенд контроля и диагностики амортизаторов позволяет определять усилия ходов сжатия и отбоя амортизаторов, строить диаграмму Монро и скоростную характеристику амортизатора, определять давление газового подпора, выдавать результаты замеров в числовом, графическом виде и в виде заключения о соответствии либо несоответствии параметров. Графическое представление результатов измерений можно масштабировать, чтобы проанализировать работу разных узлов амортизатора.» [16]

Таблица 1 – Технические характеристики стенда испытания амортизаторов "CENTURION" S400AM

ПАРАМЕТР	ЗНАЧЕНИЕ
Максимальное контролируемое усилие, кг	350
Точность измерения усилий, не более, кг	0,1
Ход штока амортизатора при диагностике, мм	70
Скорость испытания, до м/с	0,73
Максимальная длина корпуса испытываемого амортизатора, мм	500
Максимальный размер корпуса испытываемого амортизатора по ширине, мм	300
Максимальный размер корпуса испытываемого амортизатора в глубину от его оси, не менее, не менее, мм	70
Минимальный рабочий выход штока испытываемого амортизатора, мм	90
Габаритные размеры стенда, В x Ш x Г, мм.	1940 x 500 x 460
Количество испытываемых амортизаторов, шт.	1
Напряжение питания, В	380 (3P+N+PE)
Потребляемая мощность, не менее, кВт	2,2

Еще один стенд для проверки амортизаторов, который был обнаружен в ходе поиска патентных аналогов, это универсальный стенд для испытания гасителей колебаний по патенту 2556768, Россия. Внешний вид стенда представлен на рисунке 3.

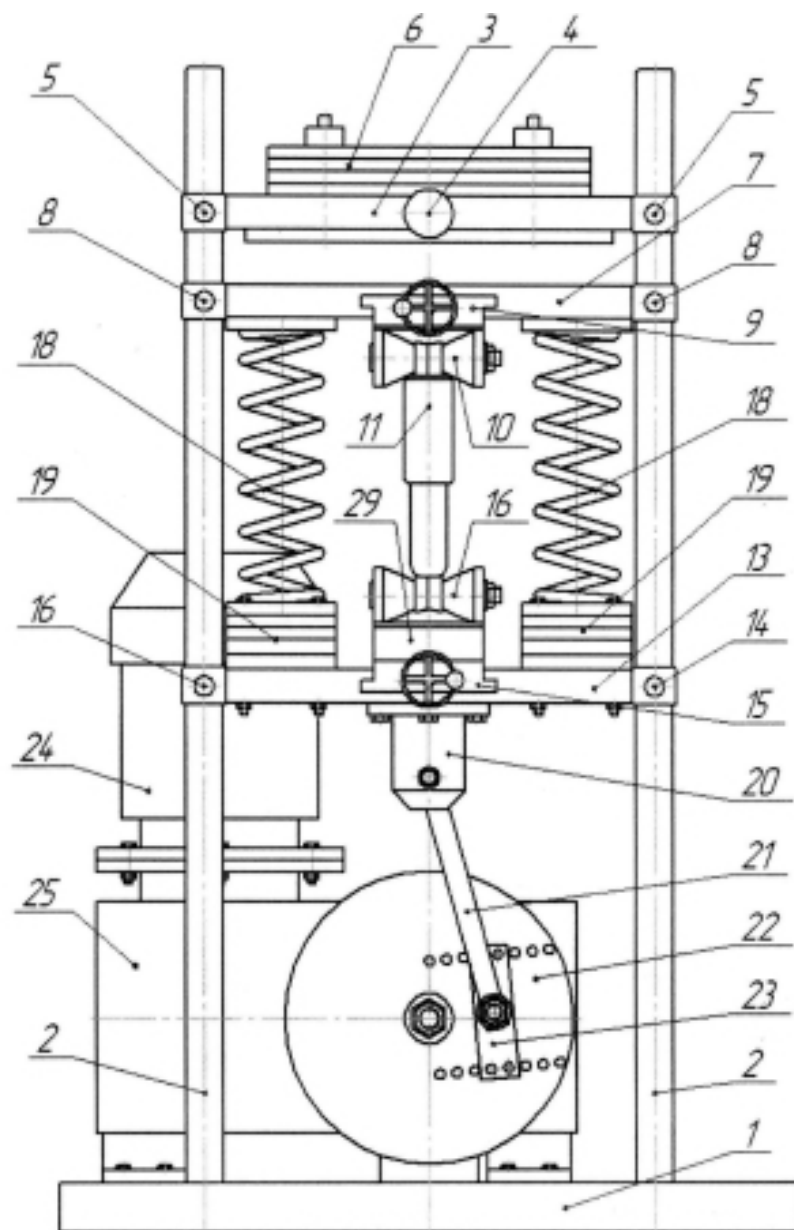


Рисунок 3 – Универсальный стенд для испытания гасителей колебаний по патенту 2556768, Россия

«Стенд содержит основание, направляющие, привод, устанавливаемые с возможностью замены друг на друга кривошипно-ползунный механизм или сменные эксцентрики различных форм и размеров, предназначенные для имитации условий эксплуатации и контактирующие с роликом, устройство регулировки амплитуды колебаний, верхнюю и нижнюю плиты с фиксаторами и опорами для крепления гасителя, съемные упругие элементы, пластину с

грузом, силоизмерительное устройство, П-образный корпус крепления верхней головки шатуна или ролика, контактирующего с эксцентриком. Опоры для крепления гасителя установлены с возможностью перемещения вдоль плит. Упругие элементы установлены с возможностью согласования длины с длиной гасителя. Плиты и пластина с грузом расположены на вертикальных направляющих и снабжены фиксаторами положения. Обеспечивается возможность проведения различных видов испытаний, моделирования различных режимов работы гасителей колебаний транспортных средств на одном стенде.» [16]

«Стенд предназначается для проведения ресурсных испытаний амортизаторов автомобилей различных типов. При проведении испытания может изменяться ход штока, амплитуда нагружения, частота нагружения, сила воздействия и т.п. параметры. Привод амортизатора осуществляется посредством кривошипно-шатунного механизма, обеспечивающего ход амортизатора в вертикальной плоскости.» [16]

«Также в процессе поиска промышленных аналогов был обнаружен стенд, принятый в качестве базового. Сравнение остальных аналогов будет производиться относительно этого стенда. Принятый в качестве базового стенд обладает наиболее типичными признаками для стендов данного типа и при этом обладает наиболее низкой стоимостью. В качестве базового принимается стенд для диагностики амортизаторов «ПС-63». Внешний вид стенда представлен на рисунке 4.

Стенд ПС-63 предназначается для проведения ресурсных испытаний гидравлических и гидропневматических амортизаторов автомобилей в условиях, приближенных к условиям эксплуатации. Нагрузка на амортизатор создается гидравлическим цилиндром.» [5]



Рисунок 4 – Стенд для диагностики амортизаторов ПС-63

Анализ промышленных аналогов показал, что существующие стенды для ресурсных испытаний амортизаторов обладают высоким уровнем автоматизации, точности и универсальности. Однако они также характеризуются высокой стоимостью и сложностью эксплуатации. Разработка нового стенда должна учитывать выявленные преимущества и недостатки существующих решений, с целью создания более доступной, эффективной и легкой в использовании системы, адаптированной под специфические условия испытаний амортизаторов грузовых автомобилей.

Существующие промышленные стенды, предлагаемые компаниями MTS, Instron, Servotest, Schenck и Moog, демонстрируют высокие стандарты точности, надежности и автоматизации. Эти системы обладают широким функционалом и способны проводить комплексные испытания амортизаторов

в различных режимах и условиях эксплуатации. Современные стенды обеспечивают высокую точность измерений, возможность программирования сложных циклов испытаний и интеграцию с программным обеспечением для анализа данных. Они могут адаптироваться под различные типы амортизаторов и условия испытаний, что делает их универсальными и эффективными инструментами для тестирования.

Несмотря на высокие технические характеристики, существующие решения характеризуются значительными начальными инвестициями, сложностью установки и требованиями к наличию специализированного технического персонала для эксплуатации и обслуживания. Высокие затраты на приобретение и эксплуатацию могут ограничивать доступность этих систем для небольших компаний.

Анализ выявил несколько областей для потенциальных улучшений. Это включает в себя разработку более доступных по стоимости решений, упрощение интерфейсов управления, снижение требований к техническому обслуживанию и увеличение адаптивности под специфические условия испытаний амортизаторов грузовых автомобилей. Грузовые автомобили требуют специфических испытательных условий из-за более высоких нагрузок и разнообразия эксплуатационных ситуаций. Разработка специализированного стенда, адаптированного под эти условия, является важным шагом для обеспечения надежности и долговечности амортизаторов в реальных условиях эксплуатации.

Обзор промышленных аналогов подтвердил актуальность и необходимость разработки нового стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей. Такой стенд должен сочетать в себе передовые технологии, высокую точность и надежность, при этом быть более доступным и простым в эксплуатации по сравнению с существующими решениями. Это позволит расширить возможности тестирования и повысить качество продукции, что имеет критическое значение для обеспечения безопасности и эффективности грузовых перевозок.

2 Конструкторский раздел дипломного проекта

2.1 Тяговый расчёт автомобиля

«В качестве автомобиля аналога выбираем МАЗ-4371W1. МАЗ-4371W1– среднетоннажный двухосный грузовой автомобиль с колесной формулой 4х2, соответствующие по уровню выбросов экологическому классу Евро-4, предназначенные для перевозки различных народнохозяйственных грузов (продукты питания, одежда, обувь, галантерея, бытовая техника, мебель и др.) по автомобильным дорогам общей транспортной сети, допускающим осевые массы, указанные в технической характеристике. Автомобиль представлен на рисунке 5.» [1]



Рисунок 5 – Грузовой автомобиль МАЗ-4371W1

Техническая характеристика МАЗ-4371W1 представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Техническая характеристика МАЗ-4371W1

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Грузоподъемность, кг		8000
Полная масса, кг		14950
Колесная база	мм	4200
Объем платформы	м ³	30
Двигатель		Cummins ISF 3.8e4 168
Максимальная мощность, при 2100 об/мин	л.с. (кВт)	180 (132,4)
Максимальный крутящий момент при 1500 об/мин,	кгс·м (Н·м)	68 (666,8)
Коробка передач	-	5-ступенчатая с синхронизаторами на II, III, IV и V передачах
Передаточные числа: коробки передач	-	5,26; 2,90; 1,52; 1,00; 0,66; з.х. – 5,48;
главной передачи	-	7,24
Топливный бак	л	200
Размерность шин	-	235/75R17,5

«Площадь лобового сопротивления и коэффициент воздушного сопротивления определяются в зависимости от грузоподъемности автомобиля: $A_B = 5,21 \text{ м}^2$ – площадь лобового сопротивления; $k_B = 0,8 \text{ Нс}^2/\text{м}^4$ – коэффициент воздушного сопротивления.

Произведем расчёт внешней скоростной характеристики двигателя автомобиля, исходя из технических характеристик двигателя Cummins, который устанавливается на этот автомобиль. Расчет мощности и крутящего момента представим в таблице 3. Графики эффективной мощности и крутящего момента представим на рисунках 6 и 7» [1]

Таблица 3 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

n_x	N_e	M_e
300	21,17	670
600	45,63	720
900	70,56	749
1200	94,12	750
1500	113,9	725
1800	127,8	670
2100	132,4	602
2400	127,1	505

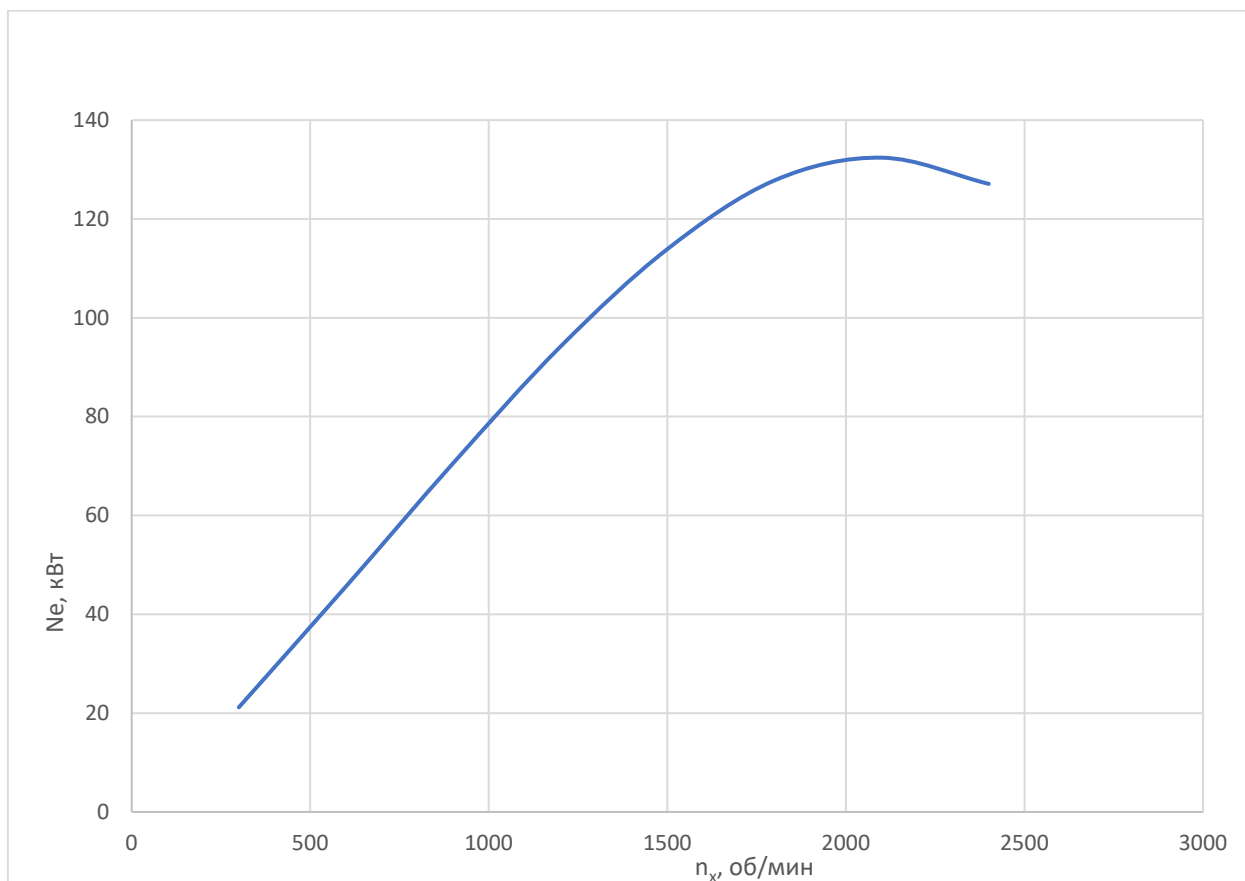


Рисунок 6 – График мощности двигателя

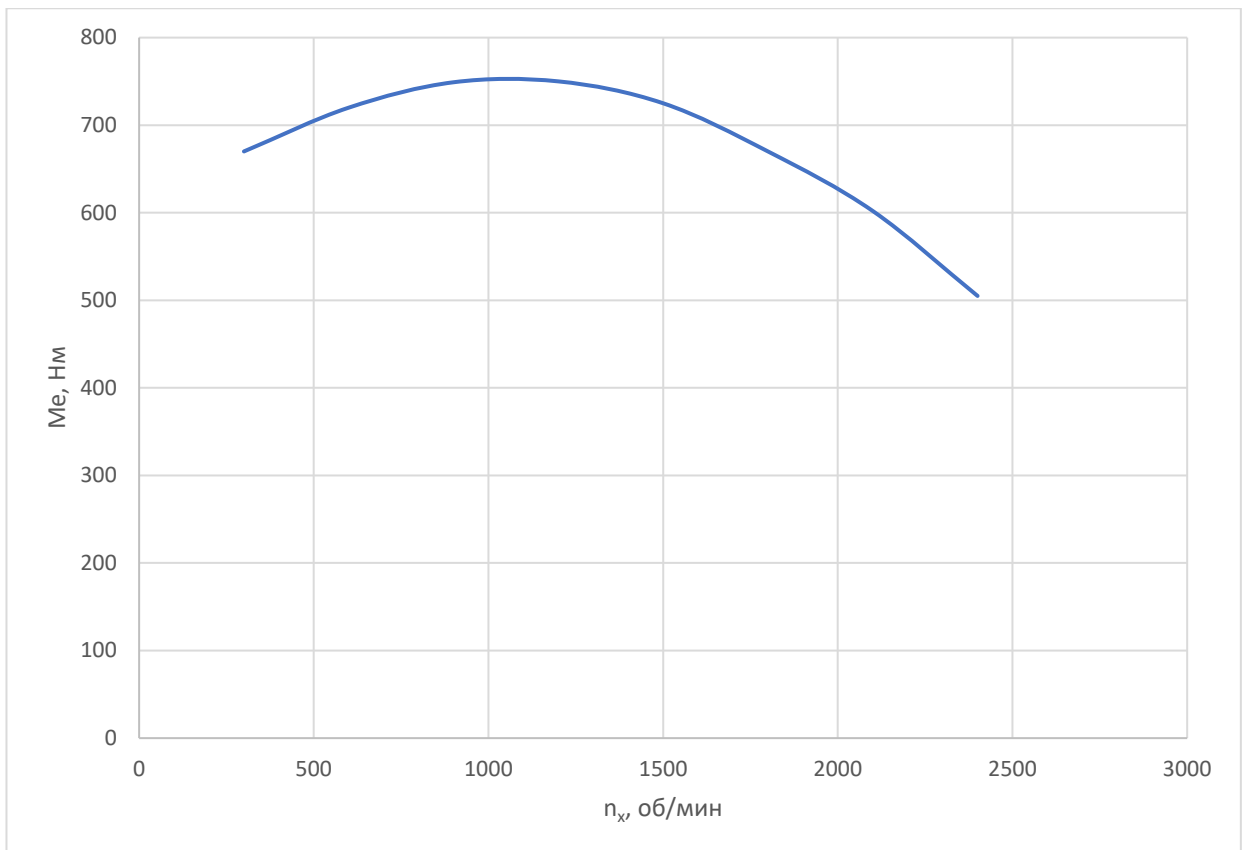


Рисунок 7 – График крутящего момента двигателя

«Рассчитаем силу тяги на колесах ведущего моста, таблица 6:

$$P_k = \frac{M_e \cdot i_k \cdot i_o}{r_k} \eta_T, \quad (1)$$

M_e – крутящий момент двигателя, Н·м;

i_k – передаточное число коробки передач;

i_o – передаточное число главной передачи;

r_k – радиус качения колеса, м;

η_T – коэффициент полезного действия трансмиссии» [1]

$$P_k = \frac{670 \cdot 5,26 \cdot 7,24}{567,5} 0,85 = 43,4 \text{ Н}$$

Скорость движения автомобиля определяется по формуле:

$$V_a = 0,337 \frac{r_k \cdot n_e}{i_k \cdot i_o}, \frac{\text{км}}{\text{ч}} \quad (2)$$

$$V_a = 0,337 \frac{567,5 \cdot 300}{5,26 \cdot 7,24} = 1,4, \frac{\text{км}}{\text{ч}}$$

«Радиус качения колеса

$$r_k = \frac{d}{2} + H(1 - \lambda_{ш}), \quad (3)$$

d – внутренний диаметр шины, м;

H – высота профиля шины в свободном состоянии;

$\lambda_{ш}$ – коэффициент нормальной деформации шины.

Примем коэффициент $\lambda_{ш}$, равным 0,1

«Величины d и H по маркировке шин» [2]

$$r_k = 508 + 70 \cdot (1 - 0,15) = 567,5$$

Таблица 4 – Расчет тяговой силы на колесах

n _e , об/мин	Передача									
	I		II		III		IV		V	
	V _{a,км/ч}	P _{к,кН}	V _{a,км/ч}	P _{к,кН}	V _{a,км/ч}	P _{к,кН}	V _{a,км/ч}	P _{к,кН}	V _{a,км/ч}	P _{к,кН}
300	1,4	43,4	2,8	23,9	5,1	12,5	7,8	8,2	12	5,4
600	3,3	43,4	6,1	23,8	11,6	12,4	17,7	8,1	27,2	5,3
900	5	42,8	9,1	23,5	17,4	12,3	26,5	8,1	40,9	5,3
1200	6,7	42,5	12,2	23,6	23,3	12,4	35,4	7,9	54,5	5,4
1500	8,4	41,3	15,3	22,8	29,1	11,9	44,2	7,8	68,1	5,1
1800	10	38,2	18,3	21	35	11	53	7,2	81,8	4,7
2100	11,8	34,3	21,4	18,9	40,7	9,9	61,9	6,5	95,4	4,3
2400	13,4	28,8	24,5	15,8	46,6	8,3	70,8	5,4	109	3,6

График тяговых сил на ведущих колесах по произведенным расчётам представлены на рисунке 8.

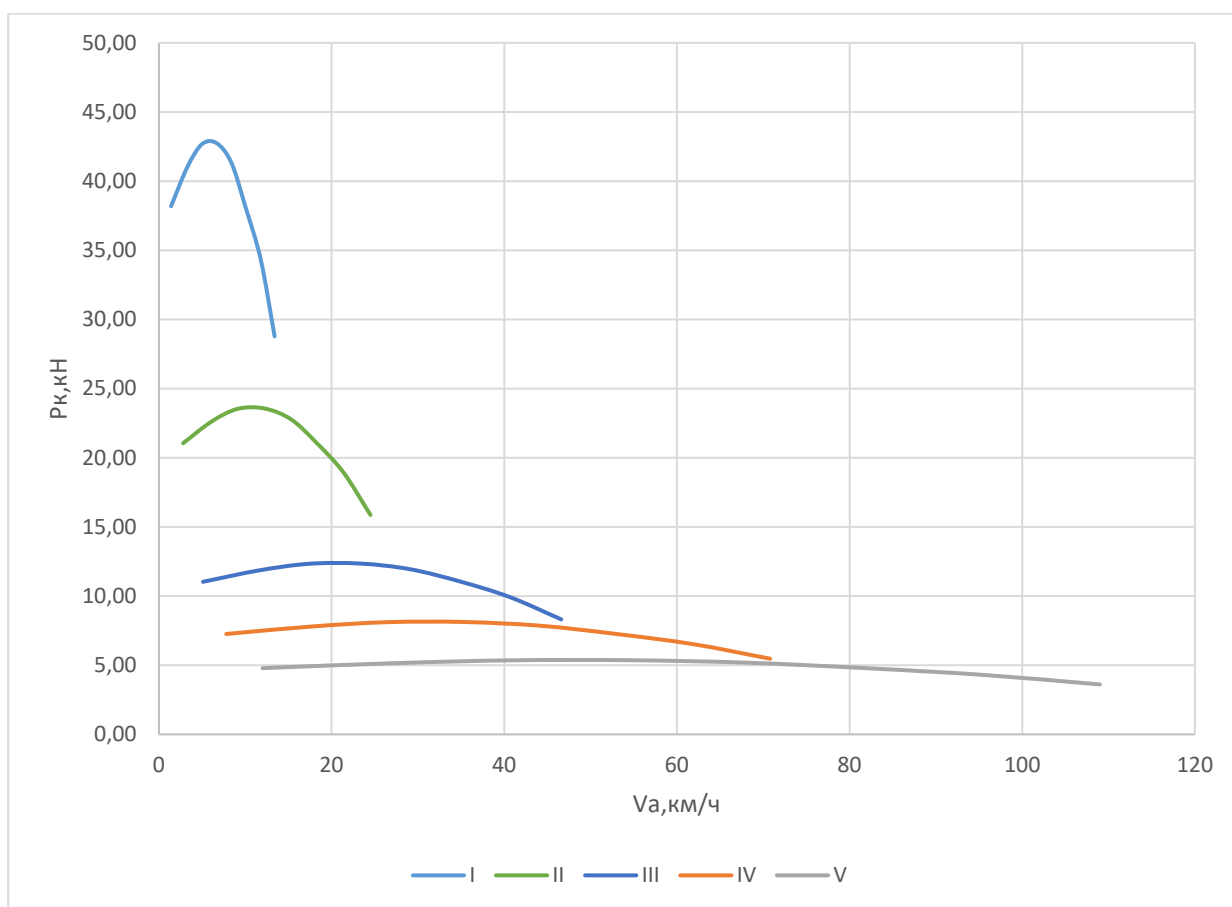


Рисунок 8 – График тяговых сил на ведущих колесах

«Суммарная сила сопротивления дороги определяется по формуле:

$$P_{\psi} = \psi \cdot G_a , \quad (4)$$

Ψ – коэффициент суммарного сопротивления дороги;

G_a – полный вес автомобиля, кН.

Коэффициент суммарного сопротивления дороги

$$\psi = f \cos \alpha \pm \sin \alpha \quad (5)$$

f – коэффициент сопротивления качения;

α – угол подъема дороги.» [1]

«Коэффициент (ψ) суммарного сопротивления дороги равен коэффициенту (f) сопротивления качения.

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

f_0 - коэффициент сопротивления качению, относящийся к малым скоростям движения автомобиля; $f_0 = 0,015$;

V_a – скорость движения автомобиля, км/ч.

Принимаем

Сила сопротивления воздуха в кН определяется по формуле (6):

$$f = 0,015 \left(1 + \frac{70^2}{20000} \right) = 0,018$$

$$P_\psi = 0,018 \cdot 14950 = 2691$$

$$P_w = \frac{k_w \cdot F \cdot V_a^2}{13000}, \quad (7)$$

k_w – коэффициент сопротивления воздуха;

F – лобовая площадь автомобиля, м².» [2]

$$F = B_a \cdot H_a \quad (8)$$

$$F = 1,917 \cdot 2,720 = 5,21 \text{ м}^2$$

$$P_w = \frac{0,65 \cdot 5,21 \cdot 70^2}{13000} = 1,27$$

V_a - наибольшая ширина автомобиля, м;

H_a – наибольшая высота автомобиля, м.

Расчет сил сопротивления движению автомобиля сводится в таблицу 5.

Результаты расчета в виде графика представляются на рисунке 9.

Таблица 5 – Расчет сил сопротивления движению автомобиля

V_a , км/ч	V_a^2 , км/ч	P_ψ , кН	P_w , кН	$P_\psi + P_w$, кН
12	144	0,22586	0,03751	0,26338
27,2	739,84	0,23255	0,19273	0,4225
40,9	1672,81	0,24301	0,43577	0,673
54,5	2970,25	0,25755	0,77375	1,0275
68,1	4637,61	0,27625	1,2081	1,4762
81,8	6691,24	0,29928	1,74307	2,0392
95,4	9101,16	0,3263	2,37085	2,6262
109	11881	0,35747	3,095	3,3574

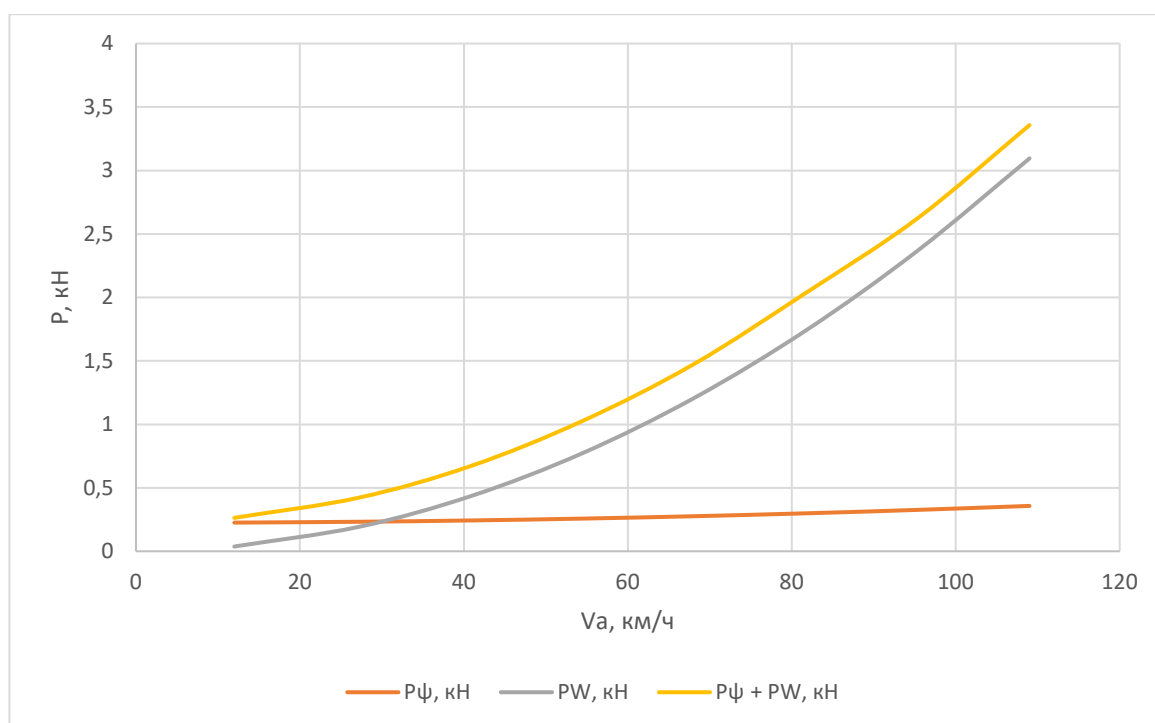


Рисунок 9 – Расчет сил сопротивления движению автомобиля

«Динамический фактор при полной нагрузке автомобиля:

$$D_{100} = \frac{P_k - P_w}{G_a}, \quad (9)$$

где: P_k - сила тяги на ведущих колесах автомобиля, кН;

P_w – сила сопротивления воздуха, кН;

G_a - полный вес автомобиля, кН» [1]

«При малых скоростях движения автомобиля сила (P_w) имеет очень малую величину, в то время как сила тяги (P_k) на низших передачах и малых скоростях движения имеет большие числовые значения. В этих случаях можно принимать $P_{iv} = 0$ и определять динамический фактор по упрощенной формуле:» [2]

$$D_{100} = \frac{P_k}{G_a}. \quad (10)$$

Результаты расчетов тяговой силы представлено в таблице 6 и на рисунке 10.

Таблица 6 – Расчет тяговой силы на ведущих колесах

Передача									
I		II		III		IV		V	
$V_{a, \text{км/ч}}$	$P_k, \text{кН}$	$V_{a, \text{км/ч}}$	$P_k, \text{кН}$	$V_{a, \text{км/ч}}$	$P_k, \text{кН}$	$V_{a, \text{км/ч}}$	$P_k, \text{кН}$	$V_{a, \text{км/ч}}$	$P_k, \text{кН}$
1,4	38,18	2,8	21,05	5,1	11,03	7,8	7,26	12	4,79
3,3	41,03	6,1	22,62	11,6	11,85	17,7	7,80	27,2	5,14
5	42,69	9,1	23,53	17,4	12,33	26,5	8,11	40,9	5,35
6,7	42,74	12,2	23,56	23,3	12,35	35,4	8,12	54,5	5,35
8,4	41,32	15,3	22,78	29,1	11,93	44,2	7,84	68,1	5,17
10	38,18	18,3	21,05	35	11,02	53	7,25	81,8	4,77
11,8	34,31	21,4	18,91	40,7	9,90	61,9	6,51	95,4	4,28
13,4	28,78	24,5	15,86	46,6	8,30	70,8	5,45	109	3,58

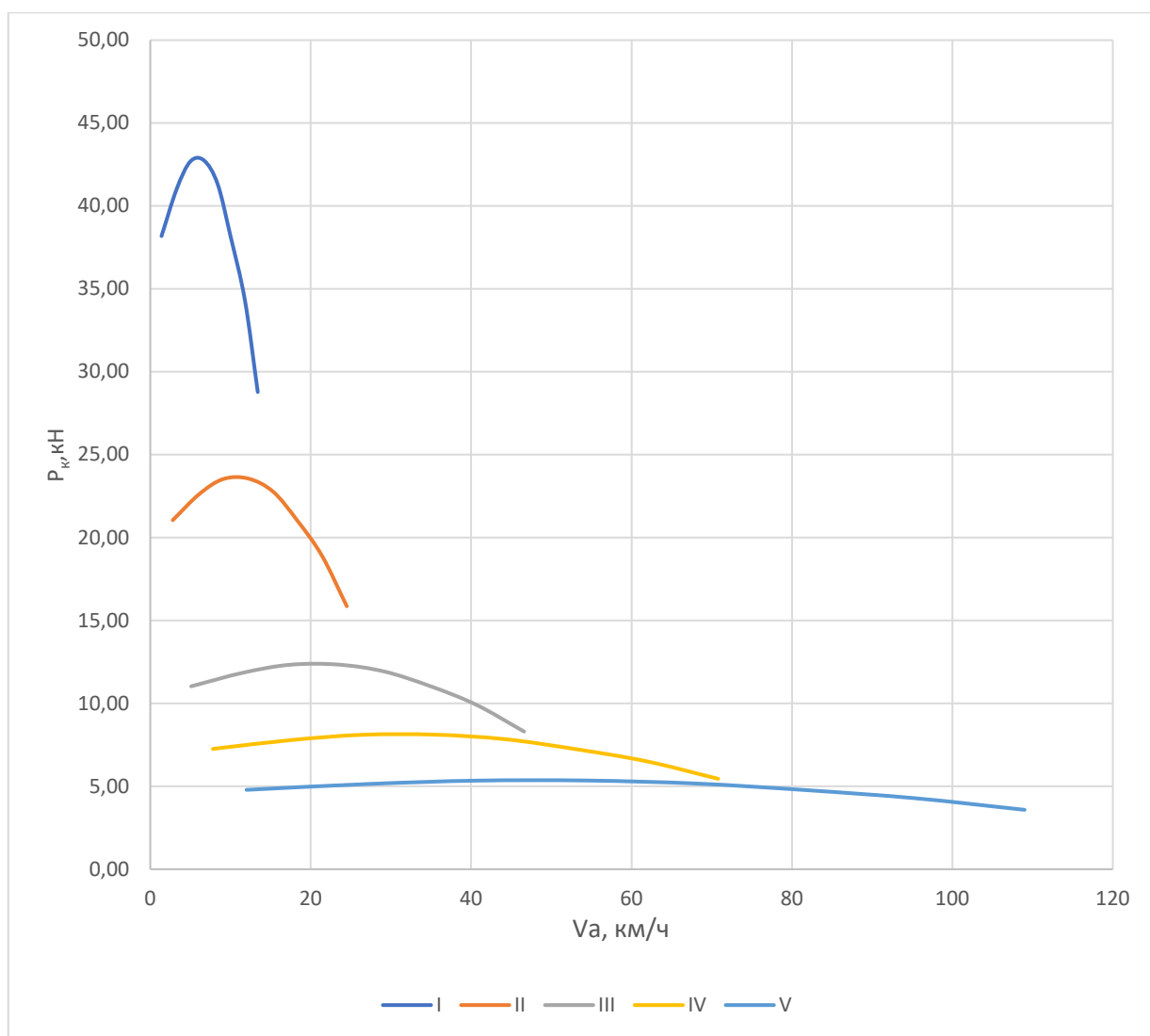


Рисунок 10 – Результаты расчетов тяговой силы на ведущих колесах

«Динамическая характеристика автомобиля позволяет решать эксплуатационные задачи при полной нагрузке автомобиля. Чтобы при изменении нагрузки автомобиля не пересчитывать значения динамического фактора, динамическую характеристику дополняют номограммой нагрузок.

Для построения шкалы D_0 вычисляют значение отрезка a_0 соответствующее значению $D_0 = 0,1$ при принятом значении отрезка a_{100} на шкале $D_{100} = 0,1$. Величина отрезка определяется, по отношению веса автомобиля без груза (G_0) и с полной нагрузкой по формуле:» [1]

$$a_0 = a_{100} \frac{G_0}{G_a}; \quad (11)$$

Далее одинаковые числовые значения шкал (D_0 и D_{100}) соединяют сплошными прямыми линиями.

«График контроля буксования совмещают при построении с номограммой нагрузок. При этом используют формулы:

$$D_{\varphi 0} = \varphi \frac{G_{0\text{сц}}}{G_0} \quad (12)$$

$$D_{\varphi 100} = \varphi \frac{G_{\text{сц}}}{G_a}, \quad (13)$$

где: $D_{\varphi 0}$ – динамический фактор по сцеплению для автомобиля без груза;

$D_{\varphi 100}$ – динамический фактор по сцеплению для автомобиля с полной нагрузкой;

Φ – коэффициент сцепления шин ведущих колес автомобиля с дорогой;

$G_{0\text{сц}}$ – вес, приходящийся на ведущие колеса автомобиля без груза, кН;

G_0 – вес автомобиля без груза, кН;

$G_{\text{сц}}$ – вес, приходящийся на ведущие колеса полностью груженого автомобиля, кН;

G_a – полный вес автомобиля, кН.» [10], [19]

«Для определения динамического фактора по сцеплению по формулам надо задаться значениями коэффициента сцепления (φ) в диапазоне 0,1...0,8 с интервалом 0,1. Результаты расчета приведены в таблице 7.» [3], [14]

Таблица 7 – Результаты расчета динамического фактора по сцеплению

φ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
$D_{\varphi 0}$	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4
$D_{\varphi 100}$	0,066	0,132	0,198	0,264	0,33	0,396	0,462	0,528

«Ускорение автомобиля (j , м/с^2) определяют по формуле:

$$j = \frac{D - \psi}{\delta} g, \quad (14)$$

где: D – динамический фактор автомобиля;

ψ – коэффициент суммарного сопротивления дороги;

δ – коэффициент учета влияния вращающихся масс;

g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.» [2], [18]

Коэффициент δ может быть определен по формуле:

$$\delta = 1 + \beta_1 \cdot i_{2k} + \beta_2, \quad (15)$$

где: β_1 и β_2 – постоянные (для данного автомобиля) коэффициенты;

i_k – передаточное число коробки передач;

Результаты подсчета ускорений автомобиля на всех передачах сводят в таблицу 8 и рисунок 11.

Таблица 8 – Результаты подсчета ускорений автомобиля на всех передачах

Передача														
I			II			III			IV			V		
Va, км/ч	D	j, м/с ²	Va, км/ч	D	j, м/с ²	Va, км/ч	D	j, м/с ²	Va, км/ч	D	j, м/с ²	Va, км/ч	D	j, м/с ²
1,4	0,28	0,43	2,8	0,14	0,375	5,1	0,05	0,32	7,8	0,054	0,25	12	0,03	0,17
3,3	0,25	0,41	6,1	0,1	0,36	11,6	0,07	0,3	17,7	0,05	0,23	27,2	0,03	0,16
5	0,24	0,39	9,1	0,1	0,34	17,4	0,07	0,28	26,5	0,05	0,205	40,9	0,03	0,143
6,7	0,24	0,36	12,2	0,07	0,31	23,3	0,08	0,25	35,4	0,05	0,175	54,5	0,03	0,12
8,4	0,22	0,32	15,3	0,05	0,255	29,1	0,07	0,22	44,2	0,046	0,145	68,1	0,02	0,09
10	0,19	0,28	18,3	0,18	0,19	35	0,06	0,18	53	0,03	0,11	81,8	0,019	0,06
11,8	0,15	0,22	21,4	0,04	0,11	40,7	0,05	0,13	61,9	0,02	0,07	95,4	0,02	0,03
13,4	0,1	0,13	24,5	0,01	0,015	46,6	0,03	0,06	70,8	0,02	0,02	109	0,02	0

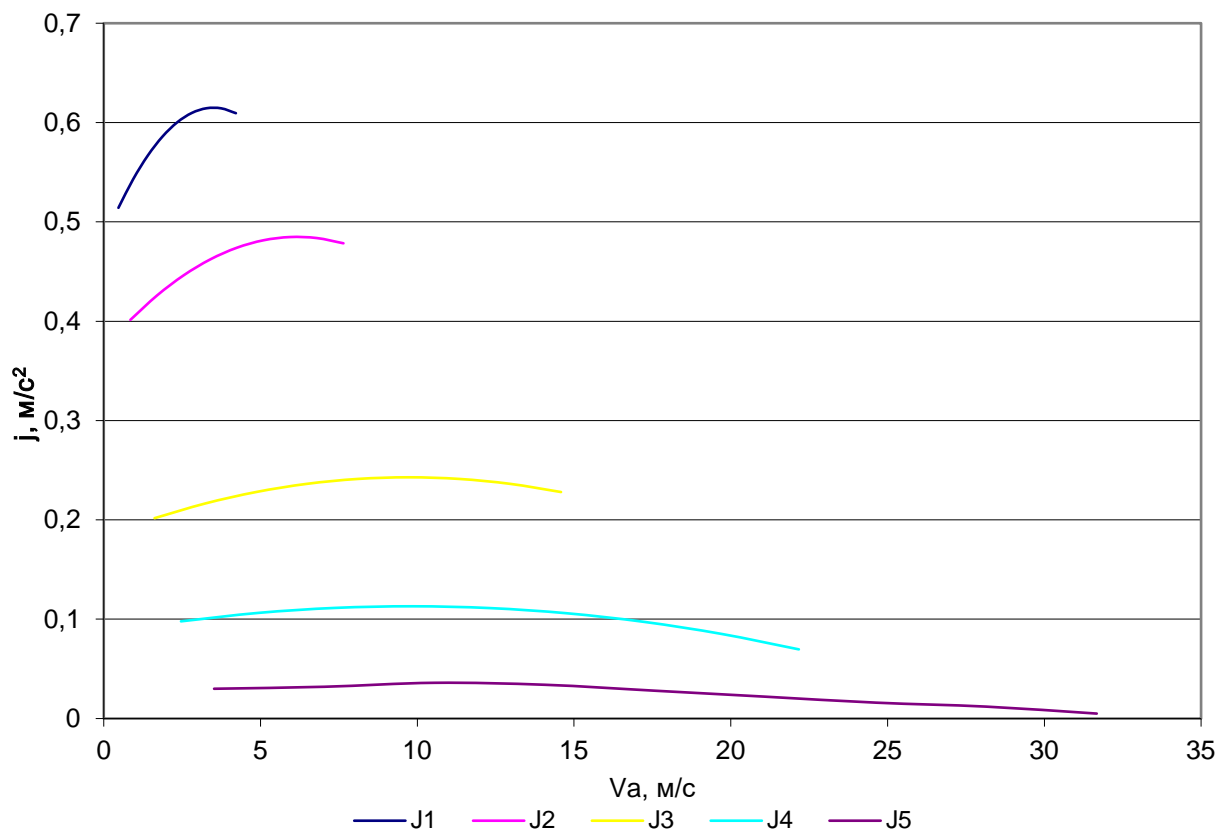


Рисунок 11 – График ускорения автомобиля

«Время разгона автомобиля до определенной скорости определяют графоаналитическим методом, используя график ускорений автомобиля.

Общая зависимость времени t разгона от скорости V и ускорения j выражается интегралом:

$$t = \int_0^{\infty} \frac{dV}{j}; \quad (16)$$

Приближенное интегрирование по графику позволяет определить время разгона (t , сек) при принятых размерностях скорости Va (км/ч) и ускорения j (м/с²) по формуле:» [1], [17]

$$t = \sum_{V_{\min}}^{V_{\max}} \frac{\Delta Va}{3,6 \cdot j_{cp}}; \quad (17)$$

Общая закономерность пути S разгона от времени разгона и скорости движения выражается интегралом:

$$S = \int V dt \quad (18)$$

Приближенное интегрирование по графику позволяет определить путь разгона (S , м) при принятых размерностях скорости V_a , (км/ч) и времени t (сек.) по формуле:

$$S = \int_{t=0}^{\infty} \frac{V_{\text{ср}} \Delta t}{3.6} \quad (19)$$

где: $V_{\text{ср}}$ – средняя скорость на участке, км/ч;

$\Delta t = t_i$ – время разгона на участке, с.

«Для повышения точности расчет пути разгона проводят с использованием данных по определению времени разгона. При этом $V_{\text{ср}}$ определяют как середину интервала скоростей на каждом участке предыдущего расчета, а приращение времени принимают равным t_i , т.е. различным для каждого участка. Расчет ведут без ввода дополнительной информации, определяя последовательно:» [1]

– путь разгона на участке:

$$S_i = \frac{V_{\text{ср}} \cdot t_i}{3,6}; \quad (20)$$

2) суммарный путь разгона:

$$S = \sum_{V_i}^{V_{\text{max}}} S_i \quad (21)$$

«Графиком мощностного баланса автомобиля называют график, имеющий кривые мощности, подводимой к ведущим колесам на передачах, и кривые мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивления качению и сопротивления воздуха, в зависимости от скорости движения.

Мощность, подводимую к ведущим колесам автомобиля (N_k), определяют по формуле:» [5], [21]

$$N_k = N_e \cdot \eta_T \quad (22)$$

Эффективную мощность (N_e) принимают по внешней скоростной характеристике двигателя.

«Мощность, необходимую для преодоления сопротивления дороги (N_ψ) вычисляют по формуле:

$$N_\psi = \frac{P_\psi \cdot V_a}{3,6}, \quad (23)$$

где: P_ψ – суммарная сила сопротивления дороги, кН;

V_a – скорость движения автомобиля, км/ч.

Мощность, необходимую для преодоления сопротивления воздуха (N_w) находят по формуле:

$$N_w = \frac{P_w \cdot V_a}{3,6}, \quad (24)$$

где: P_w – сила сопротивления, воздуха определяемая по формуле 7, кН

При подсчете мощности, подводимой к ведущим колесам автомобиля (N_k), используют таблицу, а значение коэффициента полезного действия трансмиссии (η_T) принимают равным 0,85. Результаты расчета представлены в таблице 9 и на рисунке 12.» [7], [22]

Таблица 9 – Результаты расчета графика силового баланса автомобиля

P _ψ ,	P _w ,	N _ψ					N _w				
		I	II	III	IV	V	I	II	III	IV	V
		V _a					V _a				
0,225	0,037	0,087	0,175	0,320	0,489	0,752	0,014	0,029	0,053	0,081	0,125
0,232	0,192	0,213	0,394	0,749	1,147	1,757	0,176	0,326	0,621	0,951	1,456
0,243	0,435	0,337	0,614	1,174	1,788	2,760	0,605	1,101	2,106	3,207	4,950
0,257	0,773	0,479	0,872	1,666	2,532	3,863	1,440	2,622	5,007	7,608	11,606
0,276	1,208	0,644	1,174	2,233	3,391	5,225	2,818	5,134	9,765	14,832	22,853
0,299	1,743	0,831	1,521	2,909	4,406	6,800	4,841	8,860	16,946	25,661	39,606
0,326	2,370	1,069	1,939	3,689	5,610	8,646	7,771	14,093	26,803	40,765	62,827
0,357	3,095	1,330	2,432	4,627	7,030	10,82	11,52	21,063	40,063	60,868	93,709

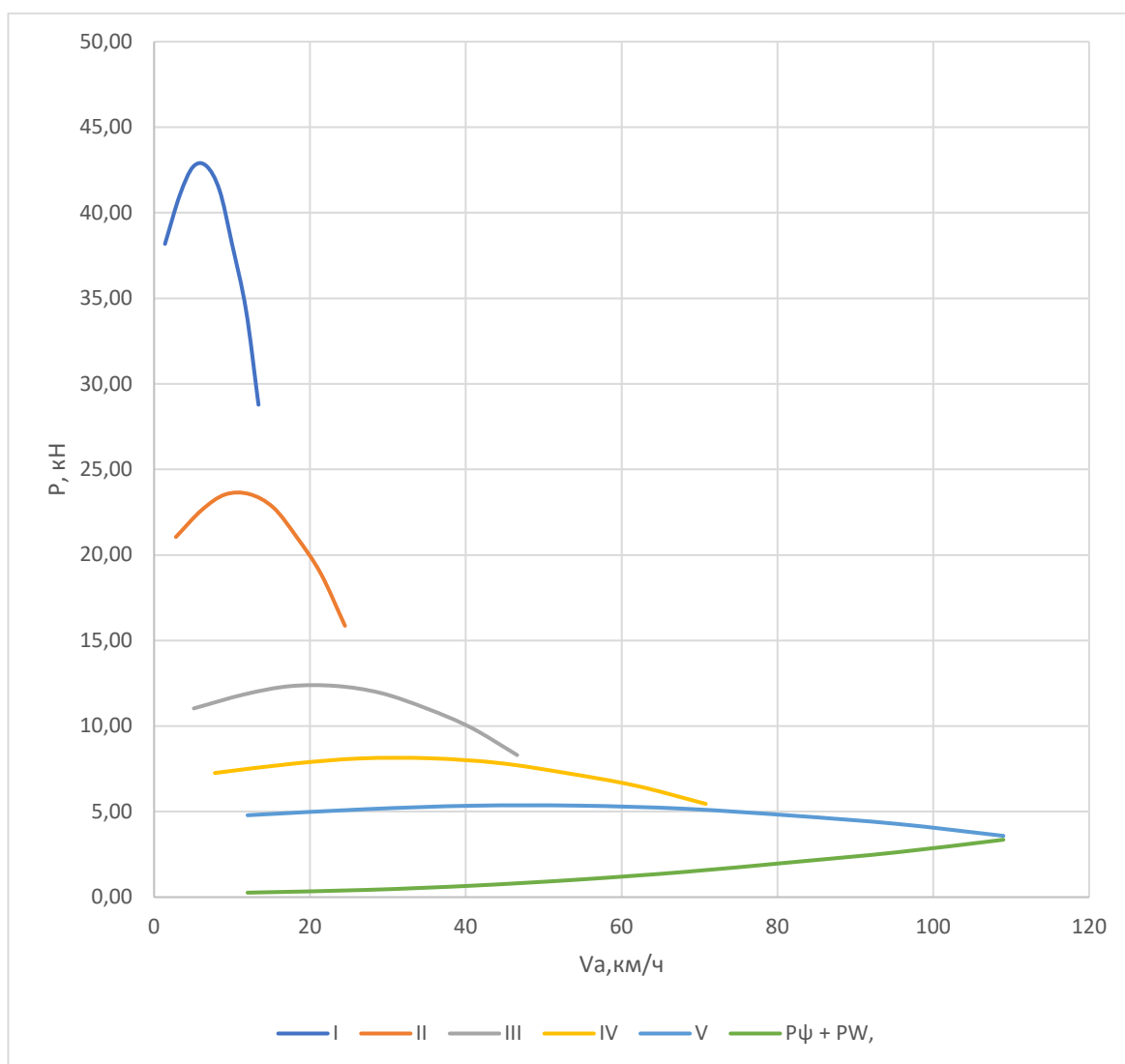


Рисунок 12 – График силового баланса автомобиля

«Теоретический минимальный тормозной путь до остановки автомобиля (S_T), имеющего тормозные механизмы на всех колесах, определяют по формуле:

$$S_T = \frac{V_0}{254\varphi}, \quad (25)$$

где: V_0 - скорость движения автомобиля в начале торможения, км/ч;

φ - коэффициент сцепления шин с дорогой.» [1]

«Остановочный путь автомобиля (S_0 , м) определяют по формуле:

$$S_0 = (t_1 + t_2) \frac{V_0}{3,6} + \frac{k_3 \cdot V_0}{254\varphi}, \quad (26)$$

где: t_1 - время реакции водителя, с;

t_2 - время срабатывания тормозов, т.е. период времени от начала торможения до момента времени, в который тормозная сила достигает наибольшей величины, с;

k_3 - коэффициент эффективности торможения.

Результаты расчета сводят в таблицу 10 и на рисунке 13.» [3]

Таблица 10 – Результаты подсчета тормозного и остановочного путей автомобиля

V_0 км/ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90
S_T , м	0,65	2,6	5,9	10,4	16,4	23,6	32,1	41,9	53,1
S_0 , м	4,6	11,1	19,2	29,1	40,7	54	68,9	85,6	104

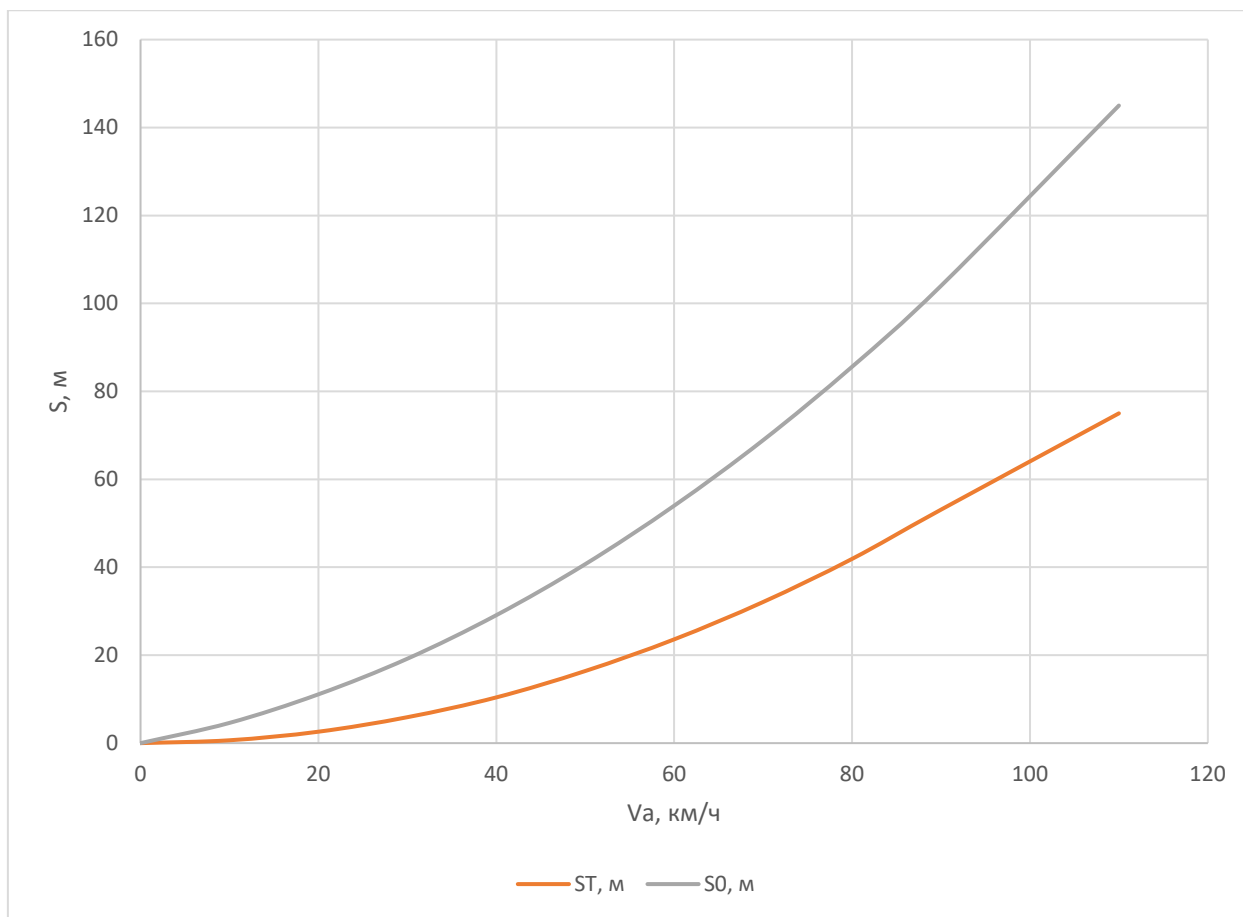


Рисунок 13 – График тормозного и остановочного путей автомобиля

Графики выполненного расчета выносятся на лист графической части дипломного проекта.

2.2 Техническое задание на разработку стенда ресурсных испытаний амортизаторов грузового автомобиля

В рамках дипломного проекта требуется разработать стенд для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей, способный моделировать реальные условия эксплуатации и обеспечивать точное измерение характеристик амортизаторов.

Основным назначением стенда является проведение долговременных ресурсных испытаний амортизаторов для оценки их надежности, долговечности и соответствия заданным техническим требованиям и

обеспечивать моделирование различных условий эксплуатации, включая вариации нагрузок, скоростей и температурных режимов.

Объектом испытаний будут являться амортизаторы различных типов и конструкций, предназначенные для использования в грузовых автомобилях.

Основные параметры стенда для дальнейшей конструкторской разработки:

- диапазон нагрузок: от 0 до 50 кН;
- диапазон вертикальных скоростей: от 0 до 3 м/с;
- частота колебаний штока при испытании: от 0 до 10 Гц;
- рабочая температура испытаний: от -40°C до +80°C.

Следует предусмотреть возможность применения к объекту испытаний многокомпонентных нагрузок (вертикальных, поперечных и продольных).

Система управления стендом: автоматизированная, с возможностью программирования сложных циклов испытаний. Система управления должна иметь интуитивно понятный интерфейс для настройки и управления испытаниями и обладать поддержкой удаленного мониторинга и управления через сеть Интернет.

Измерительные системы стенда состоят из высокоточных датчиков нагрузки и перемещения, системы измерения температуры, с возможностью записи и анализа данных в реальном времени и программного обеспечения для обработки и визуализации данных испытаний.

Конструктивными особенностями стенда будет являться модульная конструкция для адаптации под различные типы амортизаторов, прочная и устойчивая рама, способная выдерживать длительные испытания при высоких нагрузках и система защиты операторов и оборудования от перегрузок и аварийных ситуаций.

«В разрабатываемой конструкции следует предусмотреть возможность дальнейшего усовершенствования конструкции за счет расширения диапазона нагружения и возможности испытания амортизаторов других типов.

Рукоятки управления должны находиться на высоте 900-1000 мм от уровня пола, причем усилие нажатия на рычаг должно быть не более 100 Н, кнопку 15 Н. Все элементы управления должны находиться в зоне досягаемости рук оператора, без перемещения туловища. Рабочее положение оператора – стоя. Рукоятки управления и привода должны быть снабжены резиновыми накладками, для предотвращения соскальзывания рук при проведении работ. Кнопки управления выполнить из черного пластика. Кнопку экстренной остановки привода выполнить из красного пластика и большего размера, нежели остальные кнопки управления. Кнопки и рычаги управления предполагается сгруппировать и поместить на отдельную панель управления.» [11]

«Внешние очертания механизма должны отвечать требованиям технической эстетики и передавать функциональный характер изделия, острые углы рекомендуется скруглить, рекомендуется окрасить механизм в оранжевый цвет, раму можно окрасить в серый, либо черный цвет. Наружные плоскости перекрытия узлов и агрегатов окрасить в черный цвет с желтыми полосами. То же относится к движущимся частям установки. Не допускаются выступающие за габариты стенда узлы и детали, если того не требует их функциональное предназначение. Внешняя форма изделия должна быть продиктована соображениями компоновки отдельных элементов в одно целое.» [16]

«Для безотказной и эффективной работы данного изделия ТО данного изделия должно проводиться не менее 1 раза в 3 месяца. Составные части конструкции легко должны подвергаться сборке-разборке при замене деталей или транспортировке. Для защиты от коррозии все основные металлические поверхности должны быть окрашены влаго-маслостойкими красками. Детали вращения должны быть смазаны и защищены от попадания пыли и грязи. Изделие транспортируется в разобранном виде.» [5]

«Предполагается транспортировка стенда в разобранном виде. Все узлы и агрегаты, снятые с рамы стенда должны быть упакованы в деревянные

ящики, которые должны быть соответствующим образом промаркированы. На раме стенда следует указать места строповки, предполагается транспортировка рамы без упаковки.» [11]

Условием выполнения технического задания будет являться предоставление полного комплекта технической документации, включающего чертежи, инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию, а также отчеты по проведенным испытаниям.

2.3 Техническое предложение на разработку стенда ресурсных испытаний амортизаторов грузового автомобиля

Данное техническое предложение описывает проектирование и создание стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей. Целью проекта является разработка высокоточного и надежного стенда, способного моделировать реальные эксплуатационные условия и предоставлять точные данные для оценки долговечности и надежности амортизаторов.

Целью разработки является создание стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей, обеспечивающего точное моделирование эксплуатационных условий и высокую точность измерений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить комплекс связанных задач:

- анализ требований к испытаниям амортизаторов;
- разработка технических требований к стенду;
- проектирование и конструирование стенда;
- разработка системы управления и программного обеспечения;
- проведение тестовых испытаний и верификация системы;
- подготовка документации и обучение персонала.

«Разработка стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей является важным шагом для повышения качества и надежности

амортизаторов, используемых в тяжелых условиях эксплуатации. Проект предполагает создание высокоточного и надежного оборудования, способного моделировать реальные эксплуатационные условия и предоставлять точные данные для оценки долговечности и надежности амортизаторов. Это позволит улучшить продукцию, сократить затраты на обслуживание и повысить безопасность грузовых автомобилей.» [15]

Кроме промышленных образцов, была рассмотрена конструкция стенда для проведения ресурсных испытаний по описанию изобретения к авторскому свидетельству № 564563. Схема конструкции представлена на рисунке 14.

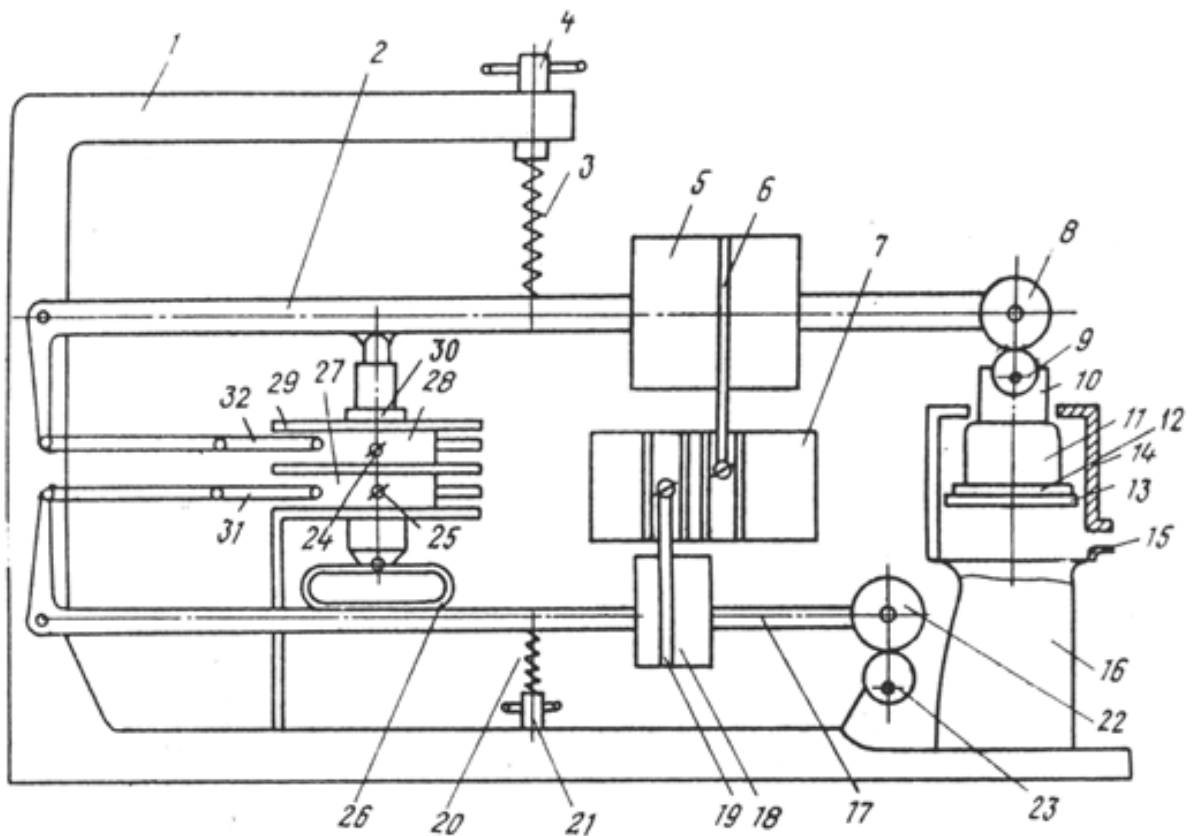


Рисунок 14 – Конструкция стенда ресурсных испытаний амортизатора по описанию изобретения № 564563

«Со стойкой 1 шарнирно связан верхний рычаг 2, средняя часть которого связана дополнительно со стойкой 1 пружиной 3, жесткость которой

регулируется винтом 4. На рычаге 2 закреплены масса 5, соединенная тягой 6 с записывающим устройством 7, и ролик 8, находящийся во взаимодействии с приводом колебательного движения, имитирующим колебания поддрессоренных масс и состоящим из эксцентрика 9, закрепленного на валу редуктора 10, и электродвигателя 11. Привод установлен на разделительном поршне 12 с уплотнением 13. Поршень 12 размещен в корпусе 14, с который через отверстие 15 подведшей газ или жидкость. Корпус 14 закреплен на станине 16, которая, в свою очередь, установлена на стойке 1.» [16]

«При пуске стенда электродвигатель 11 через редуктор 10 и эксцентрик 9, взаимодействующий с роликом 8, возбуждает колебания массы 5, расположенной на рычаге 2. Одновременно возбуждаются колебания массы 18 при помощи ролика 22, взаимодействующего с эксцентриком 23 другого привода. Вынужденные колебания массы записываются самописцем. На устройстве 7 регистрируются колебания массы 18 при помощи самописца и тяги 19. При колебаниях масс 5 и 18 происходит включение в работу амортизатора 30, при этом тяги 31 и 32, соединенные с; концами рычагов 2 и 17 совершают возвратно-поступательные движения с рамками 27, 28 и бумагой, на которой производится запись рабочих диаграмм амортизатора самописцами 24 и 25, соединенными с датчиком 26 давления, при этом ординаты диаграмм пропорциональны силе сопротивлений амортизатора, а перемещения диаграммы связаны с колебаниями масс 5 и 18.

Затухающие колебания создаются после режима вынужденных: колебаний путем отсоединения эксцентрика 9 от ролика 8 за счет снижения давления в полости корпуса 14, в котором на поршне 12 установлен привод эксцентрика 9.

Винтом 4 регулируют затяжку пружины 3, вследствие чего меняется собственная частота колебаний массы 5. Дополнительно настройка собственной частоты колебаний массы 5 может производиться за счет изменения ее величины.» [18]

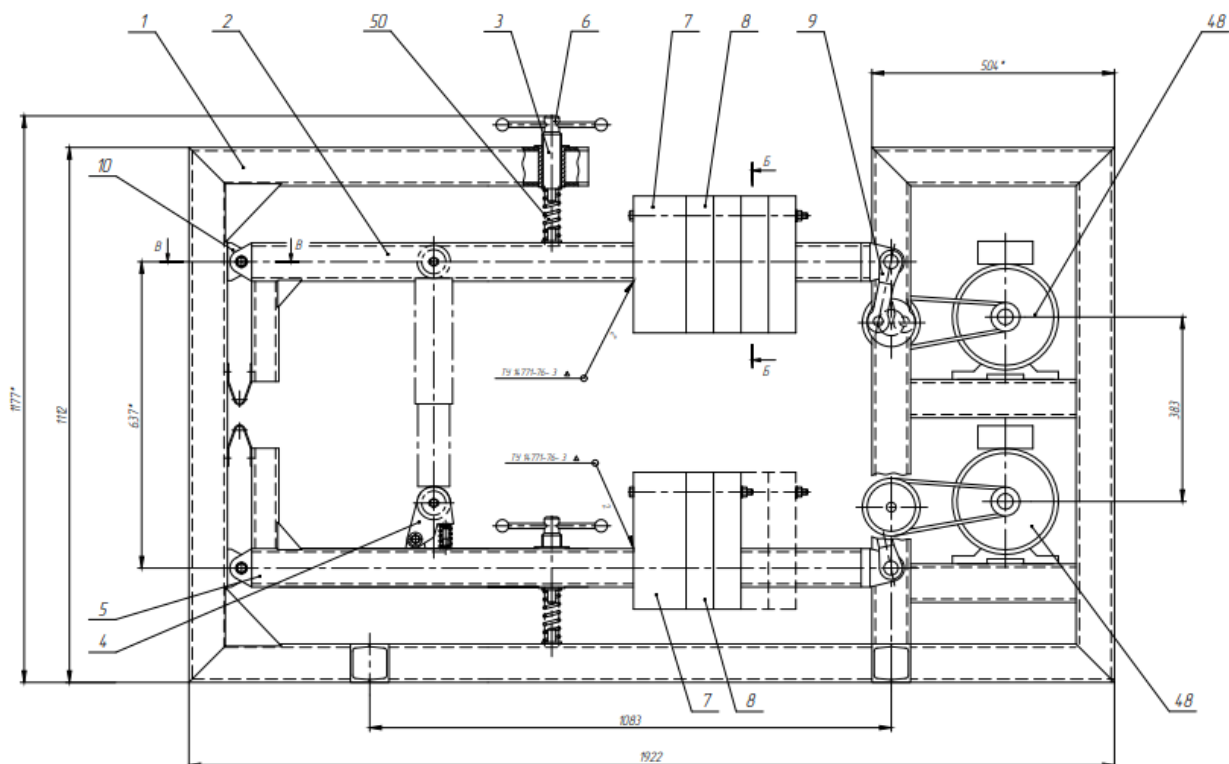
«Разработка конструкции основывается как на описании изобретения, так и на основании анализа имеющихся промышленных образцов. Исходя из проведенного анализа, который касался как конструкции самого стенда, так и систем управления, можно сделать следующие выводы об изменениях, вносимых в конструкцию:

- в отличии от предложенной в авторском свидетельстве № 564563 системы записи колебаний на механический носитель, предлагается использовать тензодатчики, регистрирующие колебания через цифровой преобразователь;

- для обеспечения проведения испытаний, предполагающих многократно повторяющиеся циклы имитационных нагрузок, необходимо оснастить стенд системой управления на основе дистанционно управляемых соленоидов-расцепителей, обеспечивающих отключение привода при выходе на режим и перевод рычагов в режим свободных колебаний;

- предлагается адаптировать конструкцию под проведение ресурсных испытаний методом циклических нагрузок грузовых амортизаторов, для чего при компоновке предусмотреть возможность быстрого монтажа и демонтажа испытываемого амортизатора.» [15]

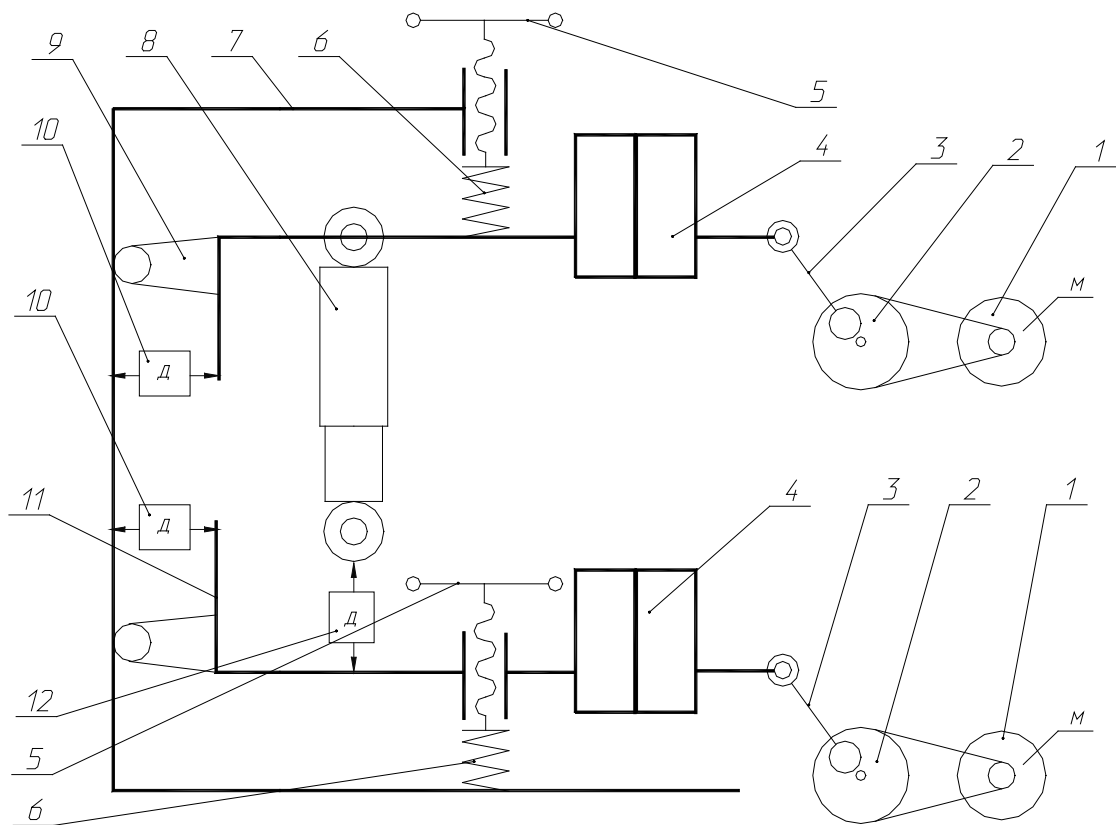
Внешний вид конструкции стенда представлен на рисунке 15.



1 – рама стенда; 2 – рычаг верхний; 3 – нагрузочный винт; 4 – датчик нагрузки; 5 – рычаг нижний; 6 – маховик винта; 7 – фиксированная масса; 8 – съёмный груз; 9 – шатун; 10 – кронштейн; 48 – электрический двигатель; 50 - пружина

Рисунок 15 – Конструкция стенда для испытания амортизаторов

Компоновочная схема разрабатываемого стенда, предлагаемая к дальнейшей разработке исходя из общей конструкции стенда, показанной на рисунке 15, представлена на рисунке 16.



1 – двигатель; 2 – приводной шкив; 3 – шатун; 4 – вибрационные массы; 5 – маховик; 6 – пружина; 7 – рама; 8 – амортизатор; 9 – шарнир; 10 – датчик колебаний; 11 – рычаг; 12 – датчик давления

Р

Рисунок 16 – Компоновка конструкции установки

«Компоновка конструкции предполагает выполнение привода рычагов посредством электродвигателей, при этом двигатель, приводящий в движение верхний рычаг соединяется со шкивом посредством муфты, управляемой дистанционно и позволяющей отключать двигатель при регистрации колебаний подressоренной массы. По сравнению с первоначальным вариантом привода через эксцентрик это позволит существенно увеличить ресурс узла. Сами массы выполняются разборными, для возможности варьирования нагрузки на амортизатор. Также из схемы исключаются датчики колебания масс, их функцию выполняют датчики колебаний,

обрабатывающие информацию по двум каналам. Механизм регулировки пружины для верхнего рычага выполняется на раме, а для нижнего непосредственно на рычаге, что выполнено для удобства оператора.» [15]

Для детальной проработки различных узлов установки рассмотрим электрическую, гидравлическую и кинематическую схемы установки.

Электрическая схема разрабатываемого стенда представлена на рисунке 17

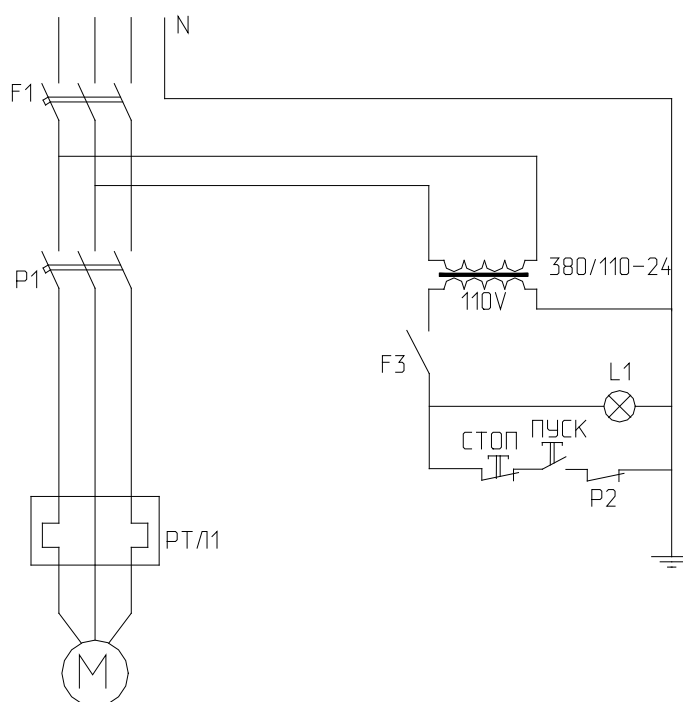


Рисунок 17 – Электрическая схема стенда

«На рисунке 17 представлена схема подключения двигателей стенда. Так как предполагается использовать в конструкции электродвигатели с мощностью до 7,5 кВт, то схема представленная на рисунке выполнена сообразно с мощностью. Каких-либо особенностей в подключении схема не имеет.» [4], [20]

Кинематическая схема разрабатываемого стенда представлена на рисунке 18.

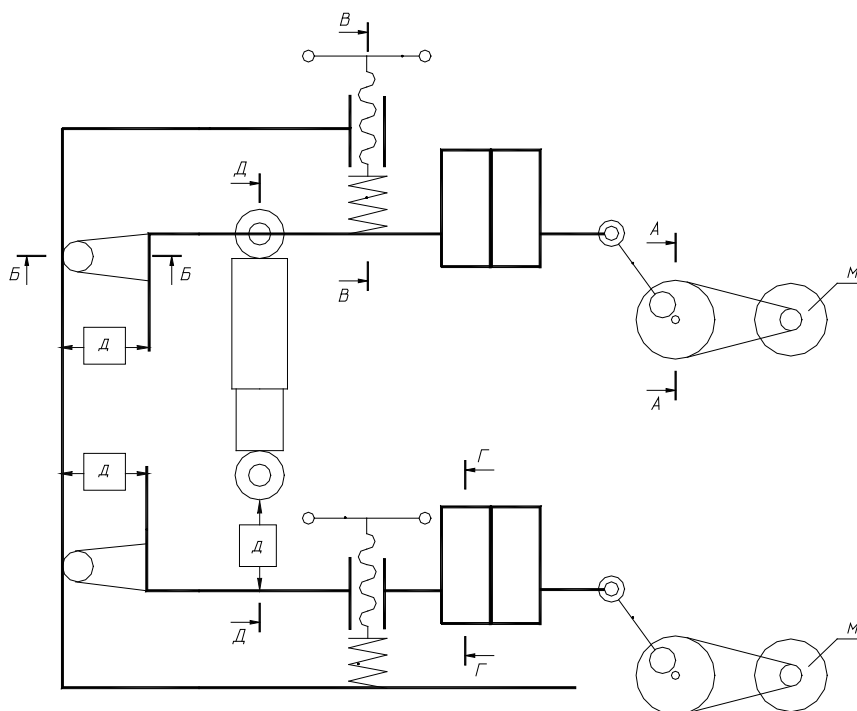
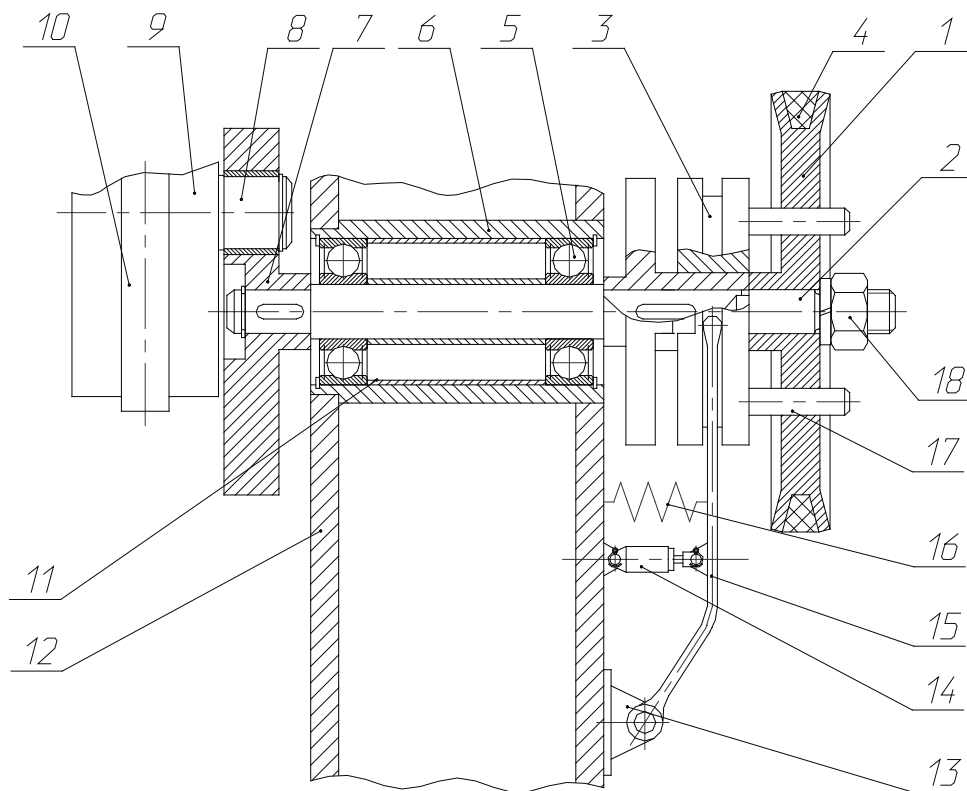


Рисунок 18 – Кинематическая схема стенда

«На рисунке 18 представлена кинематическая схема установки с указанными на ней наиболее ответственными для данной конструкции разрезами. Анализ разрезов необходим для выявления наиболее подходящего варианта исполнения для каждого из них, которая в дальнейшем найдет применение при проектировании всей конструкции.

При проведении анализа вариантов исполнения различных узлов на первый план выдвигается соответствие их основным задачам конструирования и соблюдение при выполнении основных технологических и конструктивных норм.» [13]

На рисунке 19 представлена компоновка узла по разрезу А-А на рисунке 18.



1 – шкив; 2 – ось привода; 3 – муфта; 4 – ремень; 5 – подшипник закрытый; 6 – втулка; 7 – шпонка; 8 – ось шатуна; 9 – шатун; 10 – кронштейн тяги; 11 – ролик привода; 12 – стойка; 13 – кронштейн; 14 – тяговое реле; 15 – вилка; 16 – пружина; 17 – палец; 18 – стопорная гайка

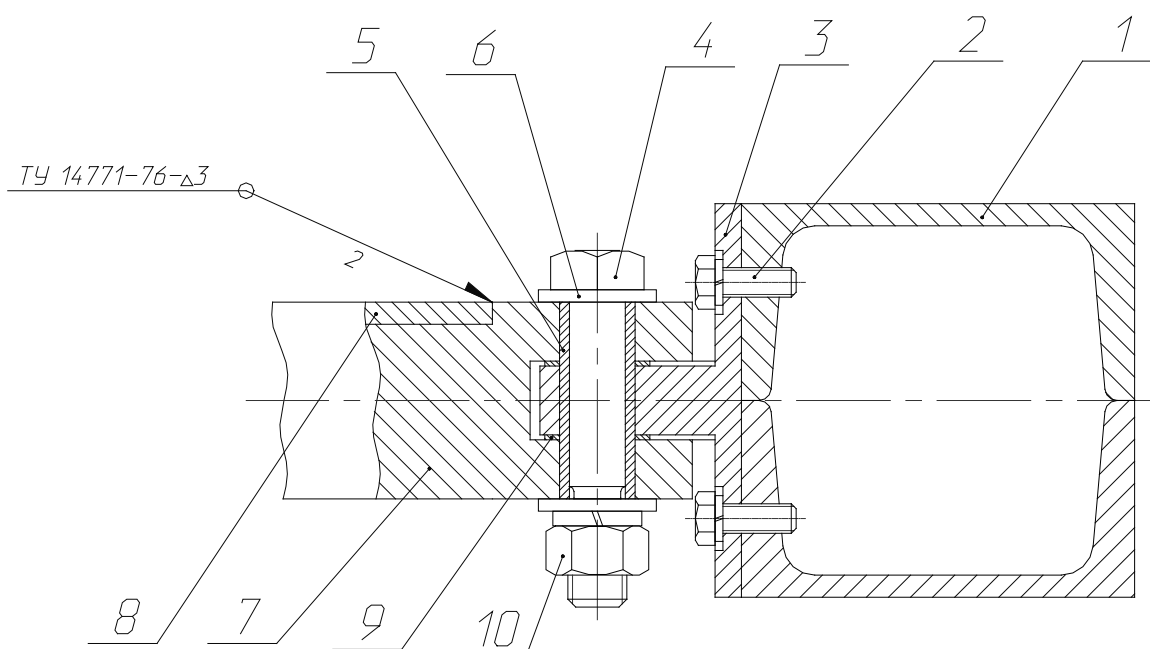
Рисунок 19 – Компонка привода рычага по разрезу А-А, рисунок 18

«На данном разрезе представлен вариант конструкционного решения привода рычага.

Привод рычага представляет собой конструкцию, в которой приводной шкив 1 закреплен на оси 2 свободно, т.е. с возможностью вращения. От самопроизвольного сваливания при вращении он фиксируется гайкой 18. Крутящий момент от шкива 1 передается на вал 2 посредством разъемной муфты 3, состоящей из двух частей. Неподвижная часть посажена на вал 2 через шпонку, а подвижная соединена со шкивом 1 посредством пальцев 17, по которым подвижная часть муфты 3 может скользить. Размыкание муфты 3 производится при помощи тягового реле 14, шарнирно соединенного с вилкой

15. Возврат муфты 3 производится посредством пружины 16. Весь вал устанавливается на паре подшипников 5, посаженных во втулке 6, вваренной в стойку 12. Подшипники 5 в закрытом исполнении, что исключает крышку из конструкции узла и делает его более простым в исполнении. Привод рычага производится посредством приводного ролика 11, на котором на оси шатуна 8 крепятся сам шатун 9 с запрессованным в его головку шарниром трения.» [13]

На рисунке 20 представлена компоновка узла по разрезу Б-Б на рисунке 18.



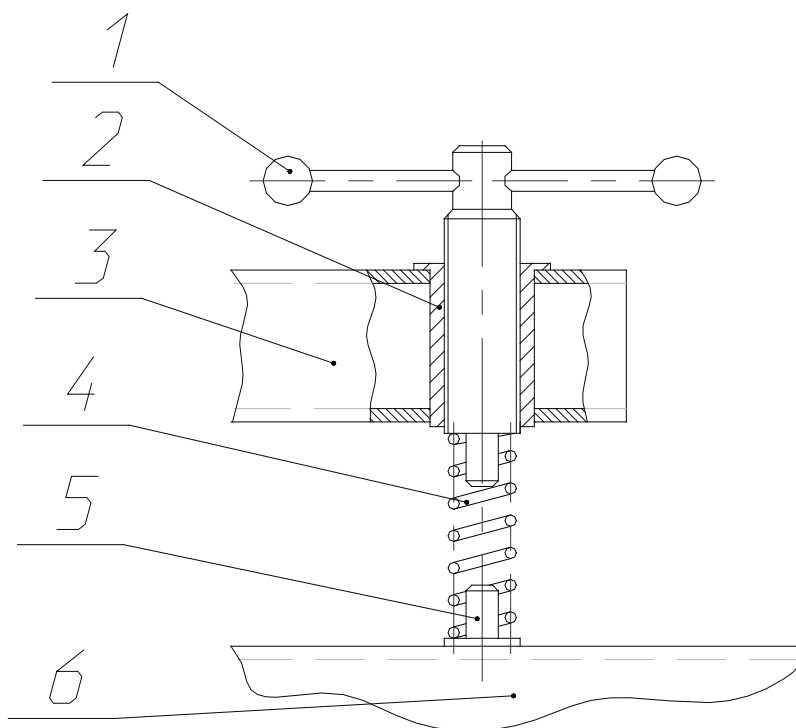
1 – стойка; 2 – винт; 3 – кронштейн; 4 – ось; 5 – дистанционная втулка-подшипник;
6 – шайба; 7 – концевик; 8 – рычаг; 9 – шайба дистанционная; 10 – гайка.

Рисунок 20 – Конструкция узла крепления узла крепления рычага к стойке по разрезу Б-Б, рисунок 18

На данном разрезе представлен вариант конструкторского решения узла крепления рычага к стойке.

«Предполагается применение в данном узле в качестве подшипника скольжения бронзовой втулки 5, которая одновременно является дистанционной, предотвращая защемление концевика 7 рычага 8 в кронштейне 3. Кронштейн 3 крепится к стойке 1 при помощи винтов 2. Для обеспечения безззорного положения рычага 8 устанавливаются в кронштейне 3 дистанционные шайбы 9, подбором толщин которых также производится регулировка. Концевик 7 рычага 8 вваривается в швеллер рычага 8.» [15]

На рисунке 21 представлена компоновка узла по разрезу В-В на рисунке 18.



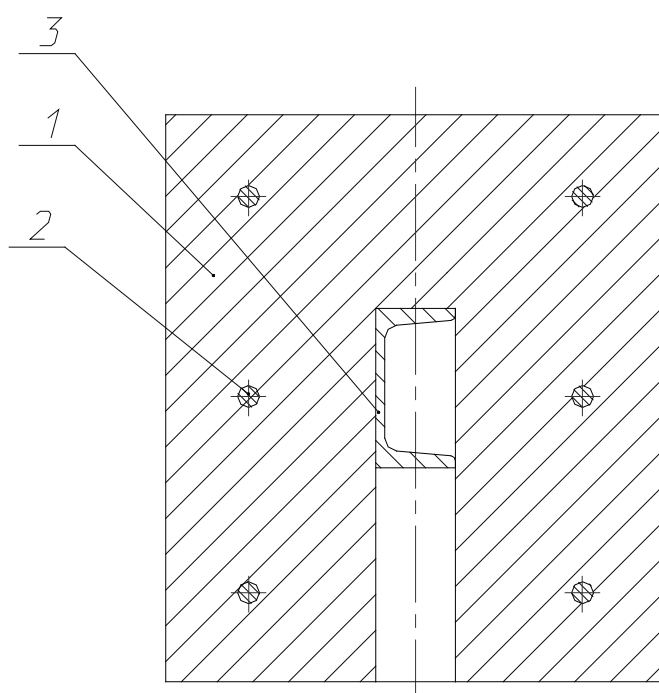
1 – маховик; 2 – втулка; 3 – стойка; 4 – пружина; 5 – направляющая; 6 – рычаг

Рисунок 21 – Конструкция узла регулировки прижима пружины по разрезу В-В, рисунок 18

«Пружина 4 необходима для создания предварительного нагружения амортизатора, поэтому закрепление ее осуществляется с возможностью

изменения величины прижима. Изменение производится путем вворачивания стержня маховика 1, в который упирается верхняя часть пружины 4 во втулку 2, сваренную в стойку 3. Для предотвращения износа поверхности рычага 6, а также соскальзывания пружины 4 применяется направляющая 5. Таким образом, вворачивая и выворачивая маховик 1 можно изменять степень прижима пружины 4 к рычагу 6.» [15]

На рисунке 22 представлена компоновка узла по разрезу Г-Г на рисунке 18.

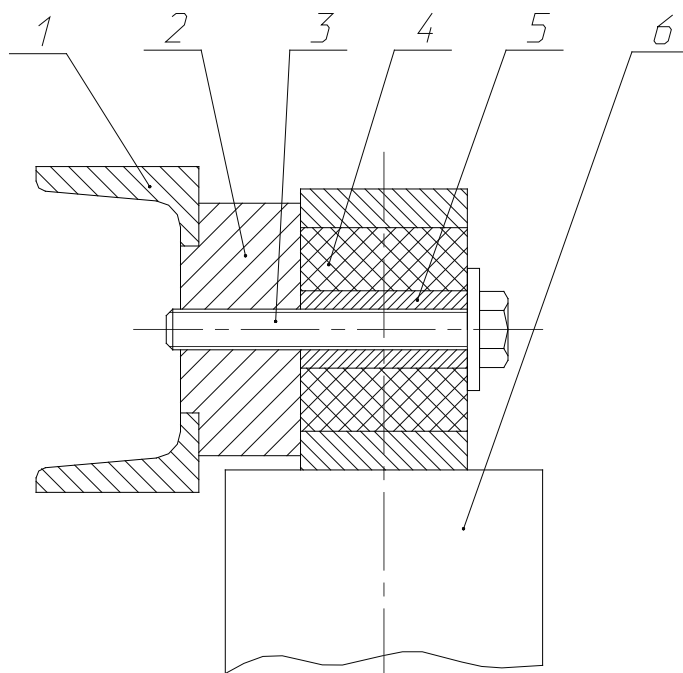


1 – масса; 2 – фиксирующие стержни; 3 – рычаг

Рисунок 22 – Конструкция узла крепления масс по разрезу Г-Г, рисунок 18

«Массы 1 крепятся к приваренному к рычагу 3 основанию при помощи резьбовых стержней 2. Изменяя число масс 1 можно в определенном диапазоне варьировать нагрузку амортизатора.» [15]

На рисунке 23 представлена компоновка узла по разрезу Д-Д на рисунке 18.



1 – рычаг; 2 – бобышка; 3 – винт; 4 – сайлент-блок; 5 – втулка; 6 – амортизатор
Рисунок 23 – Конструкция узла крепления амортизатора, рисунок 18

«Крепление амортизатора 6 идентично его креплению на автомобиле, с той разницей, что на стенде крепление производится консольно к приваренной бобышке 2, а на автомобиле амортизатор 6 крепится в кронштейн. Крепление производится при помощи стандартного винта 3. Также используются автомобильные втулка 5 и сайлент-блок 4. В зависимости от типа амортизатора 6 эти детали могут заменяться на соответствующие.» [15]

2.4 Силовые и прочностные расчеты узлов и деталей конструкции

«Для выбора и конструирования оборудования подобного рода, необходимо определить его основные параметры. Основным параметром установки для испытания будет являться мощность электродвигателя.

Рассчитаем усилие страгивания шатуна, крепление которого показано на рисунке 18, разрез Б-Б.

Вес, при страгивании приходящийся на шатун, рассчитывается исходя из предварительной компоновки конструкции, рисунок 24:» [17]

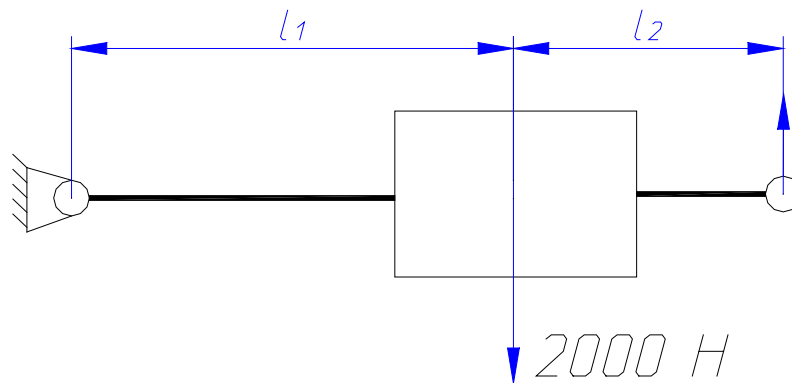


Рисунок 24 – Расчетная схема при определении нагрузки на шатун

Усилие от веса груза F на шатуне будет определяться следующим образом:

$$F = \frac{2000 \cdot l_1}{l_1 + l_2} \quad (27)$$

где $l_1 = 0,982$ м

$l_2 = 0,367$ м

$$F = \frac{2000 \cdot 0,982}{0,982 + 0,367} = 1455,9 \text{ Н}$$

«Максимальный крутящий момент необходимо прикладывать при страгивании маховых масс с места. Тогда крутящий момент:

$$T_{кр} = G \cdot (L + f \cdot d) \cdot k, \quad (28)$$

где $G = 1455,9 \text{ Н}$ – вес приходящийся на шатун
 $L = 0,0635 \text{ м}$
 $f = 0,1$ – коэффициент трения в подшипниках оси
 $d = 0,054 \text{ м}$ – диаметр вращения шатуна
 $k = 1,2$ – коэффициент, учитывающий инерционное сопротивление при
страгивании массы» [15]

$$T_{кр} = 1455,9 \cdot (0,0635 + 0,1 \cdot 0,054) \cdot 1,2 = 120,4 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

«Тогда, необходимый крутящий момент двигателя определяется по формуле:

$$T = c \cdot T_{кр} / u \quad (29)$$

где $c = 1,5$ – коэффициент запаса

$u = 2$ – передаточное отношение ременной передачи» [15]

$$T = 1,1 \cdot 120,4 / 2 = 66,22 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

«Произведем подбор электродвигателя привода по формуле расчета мощности:

$$N_B = \frac{T \cdot n}{9550}, \text{ кВт} \quad (30)$$

$$N_B = \frac{66,22 \cdot 750}{2 \cdot 9550} = 2,6 \text{ кВт}$$

Данному условию мощности соответствует электродвигатель 4А112МВ8УЗ, $n = 750 \text{ об/мин}$, $N_e = 3,0 \text{ кВт}$

Требуется определить минимальный требуемый диаметр оси привода, исходя из известных приложенных к ней нагрузок, т.е. изгибающего момента. Определяется по следующей формуле:» [17]

$$d = \sqrt[3]{10 * (T_{кр}^2 + T_u) + /[\sigma]}, \quad (31)$$

где $T_{кр} = 120.4 \text{ Н}\cdot\text{м}$

$T_u = 73.4 \text{ Н}\cdot\text{м}$

$[\sigma] = 112.5 \text{ МПа}$

$$d = \sqrt[3]{10 * (120,4^2 + 73,4^2) / [112.5]}$$

$$d = 7.56 \text{ мм}$$

«Принимаем минимальный диаметр для оси привода 12 мм с условием обеспечения запаса прочности.

Произведем расчет ременной передачи.

На установке привод маховых масс производится клиновым ремнем с передаточным числом $u = 2$.

Произведем расчет ременной передачи.

Принимаем диаметр приводного шкива 60 мм.

Диаметр большего шкива:

$$d_{p2} = d_{p1} * u * (1 - \varepsilon), \text{ где} \quad (32)$$

d_{p1} – диаметр меньшего шкива, мм

d_{p2} – диаметр большего шкива, мм

ε - коэффициент скольжения прорезиненного ремня» [17]

$$d_{p2} = 60 * 2 * (1 - 0.01) = 118.9$$

Скорость ремня:

$$v = \frac{\pi * d_{p1} * n}{60000} \quad (33)$$

$$v = \frac{3,14 * 60 * 750}{60000} = 2.36$$

«Для клиноременных передач межосевое расстояние принимается из соотношения:

$$a \geq 2 * (d_{p1} + d_{p2}) \quad (34)$$

$$a \geq 2 * (60 + 120) = 360$$

Таким образом минимальное расстояние между центрами 360 мм.

Произведем расчет на прочность швеллера рамы, исходя из рассчитанной величины изгибающего момента.

Балка рамы – швеллер № 8, $W = 22,4 \cdot 10^{-6}$ » [15]

$$\sigma_{\max} = T_{\max} / W \quad (35)$$

$$\sigma_{\max} = 1455,9 \cdot 0,982 / 22,4 \cdot 10^{-6} = 63,8 \text{ МПа} < [\sigma] = 200 \text{ МПа}$$

Условия прочности удовлетворяют характеристикам материала.

«Произведем расчет винта прижима пружины, приняв в качестве исходных данных: максимальная нагрузка $Q = 750 \text{ Н}$, величина перемещения винта $l_0 = 0,06 \text{ м}$, для винта материал принимаем сталь 45, $[\sigma] = 120 \text{ МПа}$, для гайки принимаем материал Бр. 0Ф10-1, $[\sigma_p] = 40 \text{ МПа}$, $[\sigma_{\text{см}}] = 45 \text{ МПа}$.

Допускаемое давление для пары сталь – бронза $[q] = 9 \text{ Мпа}$.

Поскольку нагрузка в передаче односторонняя, принимаем упорную резьбу с $\psi_h = 0,75$.

Конструкцию гайки принимаем цельную с $\psi_h = 1,5$.» [13]

Средний диаметр резьбы:

$$d_2 = \sqrt{\frac{Q}{\pi \cdot \psi_H \cdot \psi_h \cdot [q]}} \quad (36)$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{750}{3,14 \cdot 1,5 \cdot 0,75 \cdot [9]}} = 4,86 \text{ мм}$$

«По ГОСТ 10177-82 принимаем однозаходную резьбу $z_p = 1$, $d = 40$, $P = 3$ мм, $d_2 = 37,75$ мм, $d_3 = 34,794$ мм.» [15]

Угол подъема резьбы:

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{P \cdot z_p}{\pi \cdot d_2} \quad (37)$$

$$\operatorname{tg} \gamma = \frac{3 \cdot 1}{3,14 \cdot 37,75} = 0,0253$$

$$\gamma = 1^\circ 26''$$

Приведенный угол трения:

$$\phi' = \operatorname{arctg} \frac{f}{\cos \frac{\alpha}{2}} = \operatorname{arctg} \frac{0,1}{\cos 3^\circ} = 5^\circ 44'' \quad (38)$$

Так как $\gamma \leq \phi$, винтовая пара самотормозящая, следовательно условие проектирование соблюдено.

Высота гайки:

$$H_r = \psi_H \cdot d_2 \quad (39)$$

$$H_r = 1,5 \cdot 37,75 = 56,62 \text{ мм}$$

Принимаем минимальную высоту гайки 57 мм.

Число витков резьбы в гайке:

$$z = H_r / P \quad (40)$$

$$z = 57 / 3 = 19$$

Наружный диаметр гайки

$$D = \sqrt{\frac{5 \cdot Q}{\pi \cdot [\sigma_p]} + d^2} \quad (41)$$

$$D = \sqrt{\frac{5 \cdot 750}{3,14 \cdot [40]} + 40^2} = 40,37$$

Принимаем $D = 42$ мм

Высота фланца гайки:

$$a = (0,25 \dots 0,3) \cdot H_r = 0,27 \cdot 57 = 15,4 \text{ мм}$$

Проверяем высоту фланца на срез

$$\tau_{ср} = Q / \pi \cdot D \cdot a \quad (42)$$

$$\tau_{ср} = 750 / 3,14 \cdot 40 \cdot 15,4 = 0,4 < [\tau_{ср}] = 20 \dots 25 \text{ МПа}$$

Проверяем винт на устойчивость. Определяем длину сжатой части винта:

$$l = l_0 + 1,5 \cdot d + H_r / 2 = 50 + 1,5 \cdot 40 + 57 / 2 = 138,5 \text{ мм}$$

$$i_{\min} = d_3 / 4 \quad (43)$$

$$i_{\min} = 34,794 / 4 = 8,699$$

Момент трения в резьбе

$$T = Q \cdot (d_2 / 2) \cdot \operatorname{tg} (\gamma + \varphi) \quad (44)$$

$$T = 750 \cdot (37,75 / 2) \cdot \operatorname{tg} (1^\circ 26'' + 5^\circ 44'') = 1779,44 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Момент трения в опоре.

$$T_{\text{оп}} = 0,33 \cdot Q \cdot f \quad (45)$$

$$T_{\text{оп}} = 0,33 \cdot 750 \cdot 0,05 = 13 \text{ Н}\cdot\text{мм}$$

Суммарный момент сопротивления

$$T_{\text{соп}} = T + T_{\text{оп}} \quad (46)$$

$$T_{\text{соп}} = 1779,44 + 13 = 1792,44 \text{ Н}\cdot\text{мм} \approx 1,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Тяговый расчет является ключевым этапом в проектировании автомобиля, поскольку он определяет способность транспортного средства развивать необходимую мощность для обеспечения требуемой производительности. В рамках дипломного проекта он выполняется для подтверждения заявленных тягово-мощностных характеристик автомобиля, взятого для модернизации. Для автомобиля КамАЗ тяговый расчет позволяет определить оптимальные характеристики двигателя и трансмиссии, учитывая

массу автомобиля, коэффициент сопротивления движению, уклоны дороги и другие параметры.

Результаты тягового расчета демонстрируют не только технические возможности автомобиля, но и его эксплуатационные характеристики, такие как динамика разгона, максимальная скорость, экономичность и поведение на различных участках дороги. Важно учитывать не только тяговые характеристики двигателя, но и передачи, дифференциала и других компонентов трансмиссии, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между мощностью и моментом на колесах.

Проведенная расчетная работа играет важную роль в проектировании и оптимизации ходовых качеств автомобиля, что в конечном итоге повлияет на его эффективность, надежность и удовлетворенность пользователей. Регулярное совершенствование методов расчета и анализа проведенных расчетов позволит улучшить качество и конкурентоспособность автомобиля на современном рынке транспортных средств.

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

Предложенная конструкция стенда учитывает все требования технического задания и включает в себя инновационные решения для имитации различных условий испытаний амортизатора. Конструктивные особенности стенда направлены на обеспечение стабильности, прочности и безопасности при проведении испытаний.

«Были выполнены расчеты нагрузок, прочности материалов, а также определены параметры систем управления и мониторинга. Результаты расчетов подтверждают выполнимость проекта с точки зрения технических и эксплуатационных характеристик.» [8]

3 Технологический процесс ресурсных испытаний амортизаторов автомобилей

3.1 Параметры проверки состояния амортизатора грузового автомобиля

«Техническое состояние автомобиля имеет большое значение в процессе эксплуатации. Отдельное внимание при эксплуатации транспортного средства обращают внимание на состояние подвески транспортного средства. Подвеска автомобиля определяет не только комфорт передвижения, но и его управляемость, особенно при движении в условиях неровного дорожного покрытия. Вибрации и колебания кузова значительно влияют на управляемость транспортного средства, а значит гашение колебаний имеет большое значение.

Подвеска автомобиля – узел, отвечающий за демпфирование неровностей дорожного покрытия при движении, от ее состояния в первую очередь зависит комфортабельность езды, что для городского транспорта имеет первостепенное значение. Также подвеска, поглощая неровности, способствует меньшим динамическим перегрузкам все узлов и агрегатов подвески в целом, снижает риск повреждения балки моста, возникновения усталостных трещин и т.д. Большое значение имеет комфортабельность поездки, которая обеспечивается гашением колебаний, что обеспечивается исправными амортизаторами.» [15]

«В практике современного автомобилестроения устройства для ресурсного испытания элементов подвески начали применяться сравнительно недавно, главным образом это системы контроля амортизаторов, применяемые на легковых автомобилях.

Для грузовых автомобилей, параметрами, определяющими рабочее состояние амортизатора являются:

- амплитуда затухания колебаний;

- рабочий ход амортизатора;
- амплитуда колебаний кузова при работе подвески (при диагностировании амортизатора, установленного на автомобиле);
- вертикальные перемещения кузова относительно подвески (при диагностировании амортизатора, установленного на автомобиле).» [12]

Приняв во внимание все эти параметры, можно сделать выводы о необходимости внесения постоянных изменений в конструкцию амортизатора со стороны производителей. Следовательно, необходимо проводить контроль ресурса амортизаторов, для определения того, какое влияние оказывает на эксплуатационные характеристики каждое вносимое в конструкцию изменение. Рассмотрим неисправности, возникающие в амортизаторах при эксплуатации и которые могут проявиться при проведении ресурсных испытаний.» [12]

3.2 Наиболее характерные неисправности амортизаторов

«При движении автомобиля в результате деформации упругих элементов подвески возникают поперечные колебания кузова, которые гасятся амортизаторами. В связи с повышенными требованиями к плавности хода амортизаторы стали одним из основных элементов современной подвески.» [15]

«На автомобилях наиболее широко применяются гидравлические амортизаторы, в которых используют сопротивление сравнительно вязкой жидкости, проходящей через калиброванные отверстия малых диаметров и ограниченное сечение в клапанах. Полный цикл колебания включает в себя два периода:

- ход сжатия – когда подрессоренная часть сближается с неподрессоренной частью;
- ход отбоя – когда подрессоренная часть отдаляется от неподрессоренной части;» [2]

«Амортизаторы делятся на две группы: амортизаторы двустороннего действия и амортизаторы одностороннего действия, последние гасят колебания только при ходе отдачи. Амортизаторы двустороннего действия способствуют более плавному ходу автомобиля, поэтому в настоящее время амортизаторы одностороннего действия практически не применяются.

При проведении работ по диагностике и ремонту приходится сталкиваться с рядом наиболее типичных для амортизаторов подвески неисправностей. Для удобства восприятия они будут сведены в таблицу 11.»
[9]

Таблица 11 – Наиболее характерные неисправности автомобильных амортизаторов

Признаки неисправностей амортизатора	Вероятная неисправность амортизатора
Мал свободный ход подвески	а) Поломка пружины б) Заклинивание амортизатора
Посторонние шумы при работе	а) Поломка планки б) Ослабление крепежа амортизатора в) Разрушение отбойника г) Износ проушин крепления амортизатора д) Поломка демпферной пружины е) Отсутствие амортизаторной жидкости
Перекося шток	а) Разрушение упругого элемента по одному из бортов б) Перекос моста вследствие его деформации
Высокая амплитуда затухания колебаний	а) Вытекание жидкости из амортизатора вследствие разгерметизации б) Поломка редукционного клапана поршня

«Перечисленные в таблице 13 неисправности могут возникнуть в процессе эксплуатации амортизатора, а значит могут быть выявлены при

проведении ресурсных испытаний на специализированном стенде. Технологический процесс проведения ресурсных испытаний на разработанном в рамках конструкторской части выпускной квалификационной работы представлен ниже.» [11]

3.3 Технологический процесс проведения ресурсных испытаний амортизатора грузового автомобиля

«Проведение ресурсных испытаний – важная часть разработки или модернизации узла или агрегата автомобиля. При проведении этого вида испытаний возможно создать условия нагружения, максимально соответствующих тем, которые возникают в процессе эксплуатации. При этом, возможно установить тот ресурс работы, который способно выдержать изделие. Это дает возможность выявить возможные конструктивные или технологические недостатки, которые могут быть определены только при эксплуатации изделия, что в большинстве случаев, на стадии предсерийного запуска производства, попросту невозможно.» [22]

Основные этапы проведения ресурсных испытаний амортизатора сведены в технологическую карту, представленной на листе графической части.

3.4 Технологический процесс сборки узлов стенда испытаний амортизаторов

Разработка технологического процесса является неотъемлемой частью выполнения выпускной квалификационной работы, в ходе которой необходимо продемонстрировать навыки проектирования процесса сборки модернизированного узла. В разделе разработана технология сборки привода колеса разработанного стенда испытания амортизаторов. Особенностью технологического процесса будет являться тот факт, что процесс сборки будет

производиться из компонентов, которые поступают на сборку в уже готовом виде и на рабочем месте производится только их соединение, согласно технологической карте.

Разработанный технологический процесс сборки и монтажа узла представлен в таблице 12. Технологическая схема сборки представлена на листе графической части дипломного проекта.

Таблица 12 – Технологический процесс сборки

№ пер	Наименование операции / перехода	Содержание операций, переходов	Используемое оборудование и инструмент	Время, чел-мин
1. Сборка оси колеса				
005	Сборка оси рычага	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установить ось колеса в оправку 2. Запрессовать подшипник 3. Запрессовать втулку 4. Запрессовать подшипник 5. Установить прокладку 6. Надеть крышку оси 	Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное	2,45
2 Сборка узла				
010	Сборка кронштейна	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установить кронштейн в оправку 2. Закрепить кронштейн заклепками 	Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное	1,50
015	Сборка рычага	<ol style="list-style-type: none"> 1. Надеть рычаг на собранную ось 2. Установить ось в кронштейн 3. Закрепить ось гайками 	Комплект слесарного инструмента	2,12

В процессе разработки технологии сборки разработанного механизма были учтены основные этапы и последовательность операций для эффективной и качественной сборки. Были оптимизированы методы и инструменты с учетом особенностей конструкции и требований к надежности приводной системы.

Разработанная технология направлена на обеспечение высокой точности сборки деталей разработанного приводного механизма для исключения возможных дефектов и системы на протяжении всего срока эксплуатации. Были разработаны рекомендации по контролю качества на различных этапах сборки для предотвращения возможных ошибок и повышения надежности работы тормозов.

Технология сборки приводного механизма разработана с учетом экономических аспектов, направленных на оптимизацию времени и затрат на процесс сборки. Были предложены рекомендации по рационализации рабочих операций и использованию ресурсов с целью повышения эффективности и экономичности процесса сборки. В целом, разработанная технология сборки приводного механизма представляет собой важный этап в создании качественного и надежного стенда, обеспечивая качество производимых испытаний.

4 Безопасность и экологичность участка механической сборки

4.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технического объекта

В рамках выполнения дипломного проекта рассматривается технологический процесс сборки узлов и агрегатов транспортного средства, а также операции связанные с заготовительными и сборочно-сварочными работами по раме транспортного средства. Для осуществления данного технологического процесса, для его безопасной организации при производстве необходимо рассмотреть комплекс факторов, оказывающих влияние на рабочих, занятых при осуществлении комплексного технологического процесса сборки. Рассмотрим основные моменты, связанные с особенностями проведения технологического процесса, а также характеристики участка, на котором осуществляется технологическая операция.

Рама изделия, проектируемого в рамках дипломного проекта, представляет собой, изготовленную из стального проката различного сортамента. Материал труб – сталь 20 и сталь 20кп.

«В рамках раздела нами исследуется сборочный участок, на котором осуществляется технологический процесс сборки транспортного средства. Сборочный участок является основным местом осуществления технологической операции сборки и относится к мелкосерийному производству. В первую очередь это означает, что данный участок, являясь частью опытно-промышленного производства, не ориентирован на специализированные работы, а занят в широком спектре выполняемых производственных функций. Оборудование, которое находится на участке – универсальное. Оборудование группируется по своему функционалу – сварочное, металлорежущее, шлифовальное и т.п.

Зоны выполнения работ, связанных с избыточным тепловыделением, выделением продуктов горения или ультрафиолетового излучения, таких как

сварка на стапеле, зона термической обработки металла отделяются от основного помещения защитными экранами и оснащаются вытяжкой. Те же ограждения применяются для групп оборудования, чья работа связана с повышенным шумом, например абразивно-режущие станки.

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

Общие технические характеристики участка приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Общие технические характеристики сборочного участка

Наименование технической характеристики участка	Значение характеристики
Класс функциональной пожарной опасности	Ф1.3
Степень огнестойкости	I
Класс конструктивной пожарной опасности	С0
Степень долговечности здания	II
Уровень ответственности здания	II
Электроснабжение участка	трехфазная, 380В
Выделенная мощность, кВА	25

Основные технологические операции, осуществляемые на сборочном участке, осуществляются в рамках технологического процесса. Основными этапами процесса сборки будут являться:

- заготовительные операции;
- операции черновой механической обработки;
- операции чистовой механической обработки;
- сварочные операции;
- сборочные операции из корпусных изделий и сборочных единиц;
- окрашивание или нанесение защитных покрытий.

В таблице 14 приводится перечень технологических операций, осуществляемых на исследуемом участке.

Таблица 14 – Осуществляемые на участке технологические процессы и операции

Наименование технологического процесса	Наименование технологической операции и, вида выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, устройство, приспособление	Материал, вещества
Заготовительная операция	Резка профильной трубы	Слесарь 5-го разряда	Торцевая абразивная пила PRN-320	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Черновая механическая обработка	Подрезка стыков	Слесарь 5-го разряда	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Чистовая механическая обработка	Шлифовка	Слесарь 5-го разряда	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20к
Сварочная операция	Сварка труб каркаса	Сварщик	Инверторный аппарат дуговой сварки MMA-200S	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Сборочная операция	Сборка	Слесарь-сборщик	Стапель сборки	Сталь 3, Сталь 20, Сталь 20кп
Нанесение защитного слоя на металлическую раму	Окраска	Маляр	Краскопульт безвоздушного распыления Graco	Эмаль ЭЦ

Таким образом, определен перечень технологических операций, осуществляемых на участке. Далее следует определить перечень опасных и

вредных факторов, воздействующих на работников, исходя из означенного перечня технологических операций.

4.2 Идентификация профессиональных рисков

Процесс механической обработки заготовок, изготовления узловых конструкций и окончательная сборка сопряжены с различными профессиональными рисками для работников. Рассмотрим основные угрозы, с которыми сталкиваются сотрудники на участке механической сборки, и выявим способы их предотвращения для обеспечения безопасности и здоровья персонала на производстве. Идентификация профессиональных рисков приведена в таблице 15.

Таблица 15 - Идентификация профессиональных рисков

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и вредный производственный фактор	Источник опасного и вредного производственного фактора
Заготовительные работы и механическая обработка	Повышенный уровень шума,	Угловая шлифовальная машина
	Карборундовая пыль	Материал шлифовальных камней и дисков
	Возгорание пыли при обработке деталей и изделий	Искры
	Статическая нагрузка	Угловая шлифовальная машина
	Шум	Угловая шлифовальная машина
	Ультразвук	Угловая шлифовальная машина
	Вибрации	Угловая шлифовальная машина

Продолжение таблицы 15

Сварка	Интенсивное ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Сварочный аппарат
	Искры, брызги расплавленного металла	Материал детали
	Электромагнитные поля	Сварочный аппарат
	Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества	Материал детали
	Шум	Сварочный аппарат
	Ультразвук	Сварочный аппарат
	Статическая нагрузка	Сварочный аппарат
Чистовая механическая обработка	Повышенный уровень шума,	Угловая шлифовальная машина
	Металлическая и абразивная пыль	Материал детали и шлифовального диска
	Возгорание пыли при обработке деталей и изделий	Искры
	Статическая нагрузка	Угловая шлифовальная машина
	Шум	Угловая шлифовальная машина
	Ультразвук	Угловая шлифовальная машина
Нанесение защитного слоя на металлическую раму	Испарение токсичных веществ	Эмаль ЭЦ
	Статическая нагрузка	Краскопульт безвоздушного распыления Graco

Выявленные профессиональные риски позволят разработать методы для их минимизации или нейтрализации, а также произвести подбор необходимых средств индивидуальной защиты (СИЗ).

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

В современных условиях охраны труда и производственной безопасности важно не только осознавать возможные профессиональные риски на рабочем месте, но и активно принимать меры по их снижению и предотвращению. Рассмотрим разнообразные методы и средства, которые могут быть использованы для сокращения возможных опасностей на участке

механической сборки. Будут определены как технические аспекты, включающие внедрение безопасного оборудования и технологий, так и организационные меры, такие как обучение персонала, разработка процедур безопасной работы и поощрение соблюдения правил безопасности. Определим средства персональной защиты, необходимость профилактических медицинских осмотров и других методов, направленных на создание безопасной и здоровой рабочей среды для сотрудников участка механической сборки.

«Приказ Министерства труда и социальной защиты российской федерации от 19 августа 2016 г. № 438н «Об утверждении типового положения о системе управления охраной труда». Методы, приведённые в таблице 16, соответствуют приказу. Они были специально разработаны, как и средства индивидуальной и коллективной защиты, для снижения воздействия каждого опасного и вредного производственного фактора. Соответственно всё было проверено на практике и только после этого утверждено, следует они являются эффективными.» [19]

Таблица 16 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

Опасный и вредный производственный фактор	Методы и средства защиты, снижения, устранения опасного и вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Использования специальной одежды. Применение средств коллективной защиты (нанесение предупреждающих надписей, информационных табличек, меток и т.д.)	Сварочная маска, сварочные перчатки
Искры, брызги расплавленного металла	Использования специальной одежды. Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания.	Спецовка, защитные очки, защитные перчатки, специальные ботинки.

Продолжение таблицы 16

Электромагнитные поля	Использование согласованных нагрузок и поглотителей мощности, снижающих напряженность и плотность потока энергии электромагнитных волн;	Очки и спецодежда, выполненная их металлизированной ткани.
Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества. Мелкодисперсная пыль. Наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ	Проветривание помещения. Применение средств индивидуальной защиты.	Респиратор, фильтрующая маска.
Шум	Уменьшение акустики помещения за счёт специальных материалов, наложенных на стены или крупные металлические предметы.	Беруши
Ультразвук	Использование изолирующих корпусов и экранов. Недопущение длительного воздействия. Обеспечение технических перерывов в работе	Противошумные наушники, беруши. Резиновые и хлопчато-бумажные перчатки надетые совместно.

Обозначенные методы снижения профессиональных рисков позволяют значительно снизить воздействие на работающих и повысить общий уровень безопасности на производстве.

4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

В обеспечении пожарной безопасности технического объекта заключается один из важнейших аспектов обеспечения надежной и безопасной работы предприятия. Пожарная безопасность является неотъемлемой частью общей системы безопасности и требует комплексного подхода и постоянного контроля. Понимание и строгое соблюдение мер по обеспечению пожарной безопасности являются ключевым элементом для защиты жизни и имущества на техническом объекте.

«В таблице 17 приведена идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара, с разработкой технических средств.» [19]

Таблица 17 – Идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара

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

«В таблице 18 приведена первичные и мобильные средства пожаротушения, средства пожарной автоматики и индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре, пожарное оборудование и инструмент.» [19]

Таблица 18 – Средства пожаротушения и противопожарное оборудование

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

«В соответствии с видами выполняемых заготовительных,

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

Таблица 19 – Организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара

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

Обеспечение пожарной безопасности на техническом объекте является фундаментальным аспектом правильной эксплуатации и защиты от чрезвычайных ситуаций. Ключевыми мерами являются обучение персонала безопасным методам действий в случае пожара, регулярные проверки систем пожарной сигнализации и тушения, а также строгое соблюдение норм и требований пожарной безопасности. Важно помнить о необходимости планирования и проведения учений по эвакуации персонала для минимизации потенциальных угроз. Обеспечение пожарной безопасности на техническом объекте требует постоянного внимания, проактивного подхода и готовности к действиям в случае возникновения чрезвычайных ситуаций.

4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта

Экологическая безопасность участка сборки должна обеспечиваться в рамках общей экологической безопасности всего предприятия. Обеспечение экологической безопасности на техническом объекте является необходимым условием для соблюдения экологических стандартов, минимизации отрицательного воздействия на окружающую среду и предотвращения экологических чрезвычайных ситуаций.

«В таблице 20 приведена идентификация негативных экологических факторов, возникающих при создании проектируемого объекта. На основании идентификации разработаны мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.» [19]

Таблица 20 – Идентификация негативных экологических факторов

Наименование технического объекта разработки	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие объекта на атмосферу	Воздействие объекта на гидросферу	Воздействие объекта на литосферу
Рама сборочного стапеля	Сталь 20. Сварка, шлифовка, окраска.	Испарений из емкостей для хранения химических веществ. Газообразные выделения сварки. Пыль с поверхности, сыпучих строительных материалов	Изменение качества воды, вызванное выбросами нефтепродуктов и тяжелых металлов	Загрязнение. Вторичное засоление и заболачивание. Отчуждение земель производства

Обеспечение безопасности и экологичности на предприятии сегодня становится все более неотъемлемой частью успешной деятельности компании. Успешная реализация мероприятий по безопасности и экологичности требует постоянного контроля, обучения персонала, использования современных технологий и систем управления. Важно также формирование экологической культуры среди работников и внедрение принципов ответственного потребления ресурсов.

В разделе определены технологические операции, осуществляемые на сборочном участке. На основании перечня технологических операций, были идентифицированы профессиональные риски и определен перечень воздействующих на работников вредных и опасных производственных факторов. Выявленные профессиональные риски позволили выполнить разработку методов для их минимизации или нейтрализации, а также произвести подбор необходимых средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Определены факторы пожарной опасности, на основании чего разработан комплекс организационно-технических мероприятий по предотвращению пожара. Также выполнена идентификация негативных экологических факторов, что также позволило разработать мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.

На основании изложенного, можно сделать вывод о выполнении задач в рамках выполнения раздела безопасность и экологичности участка.

5 Экономический раздел дипломного проекта

5.1 Техничко-экономическое обоснование объекта разработки дипломного проекта

Техничко-экономическое обоснование является важной частью любого проекта, включая проектирование технического устройства в рамках дипломного проекта. Оно включает в себя анализ технической и экономической целесообразности выполняемого проекта.

Объектом дипломного проектирования является новый тип испытательного стенда, который обладает уникальным функционалом и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Разрабатываемый стенд представляет собой сложное техническое устройство, предназначенное для проведения ресурсных испытаний с целью улучшения его технических и эксплуатационных характеристик, а также функциональности. Проектируемый в рамках дипломного проекта стенд обладает новыми техническими возможностями, такими как эффективность работы, повышенная производительность, позволяющая уменьшить затраты на проведение испытаний, надежность и долговечность. Разрабатываемый в рамках дипломного проекта испытательный стенд дает возможность применения нового функционала, который включает дополнительные режимы работы, расширенные возможности управления процессом испытаний, интеграцию с другими системами и устройствами проведения процесса обкатки. Последующая разработка стенда может иметь потенциал для дальнейшего развития и модернизации, что сделает испытательные лаборатории, оснащенные данным техническим устройством, более конкурентоспособными на рынке. Таким образом, разработка и внедрение нового испытательного стенда с улучшенными характеристиками имеет потенциал для создания продукта, который будет выделяться на рынке

технической новизной и обладать привлекательностью как для пользователей, так и для эксплуатантов испытательных устройств.

Техническая целесообразность разработки нового вида конструкции продиктована требованиями, предъявляемым к современным образцам техники. Так, в конструкции стенда применены конструкторские решения, которые позволяют снизить вес конструкции, в первую очередь за счет применения более легких материалов и за счет конструкторских решений, позволяющих уменьшить массу детали без снижения ее прочностных характеристик. Также общий вес конструкции удалось уменьшить за счет более рациональной компоновки деталей.

Расширение функционала испытательного стенда произведено за счет реализации в ходе конструкторской разработки функционала, ранее не применявшегося в данном типе устройств стендовых испытаний.

5.2 Расчет затрат и экономической эффективности

В рамках раздела экономической эффективности дипломного проектирования требуется произвести расчет себестоимости конструкции стенда и расчет отпускной цены проектируемой конструкции. Расчет стоимости изготовления конструкции рассчитывается по формуле:

$$C = M + \Pi_{и} + Z_{осн} + Z_{доп} + СС + И_{цех} + И_{зав} + НР \quad (47)$$

где M – затраты на материалы конструкции стенда, руб.;

$\Pi_{и}$ – затраты на покупные стенда, используемые в конструкции, руб.;

$Z_{осн}$ – основная заработная плата рабочих, руб.;

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата рабочих, руб.;

$СС$ – отчисления на социальное страхование, $СС = 30\%$;

$И_{цех}$ – общецеховые издержки, $И_{цех} = 85\%$;

$И_{зав}$ – общезаводские издержки, $И_{зав} = 110\%$;

$НР$ – накладные расходы, $НР = 7,5\%$

Выполним расчет затрат по каждой из статей расходов на изготовление проектируемой конструкции. Расчет затрат на материалы, используемые в конструкции стенда, рассчитаны в таблице 21. Расчет материальных затрат производится по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^n M_n \cdot C_n + k_3 \sum_{i=1}^n M_n \cdot C_n \quad (48)$$

где M_n – количество материала, ед;

C_n – цена материала за единицу, руб.;

k_3 – коэффициент затрат на транспортировку и доставку, $k_3 = 0,15$

Таблица 21 – Расчет затрат на материалы

Наименование материала	Количество материала	Цена единицы материала, руб	Сумма, руб
Заготовка поковка	16	230,20	3683,20
Чугун литейный	35	180,00	6300,00
Грунтовка	3,5	150,00	525,00
Краска	4	725,00	2900,00
Круг сортовой Сталь 45, d = 120	10	125,00	1250,00
Круг сортовой Сталь 45, d = 40	12	120,00	1440,00
Круг горячекатанный, d = 25	12	120,00	1440,00
Круг, бронза	3	750,50	2251,50
Листовой металл, h = 6	8	110	880,00
Листовой металл, h = 2	18	110	1980,00
Литол	1	125	125,00
Масло промышленное И-20	0,5	145,00	72,50
Сетка	0,8	350,00	280,00
Трубный прокат, d = 25x20	10	300,00	3000,00
Швеллер гнутый	20	160	3200,00
Прочие			2500,00
ИТОГО			31 827,20
Транспортно-заготовительные расходы			4 774,08
ВСЕГО			36 601,28

Статья, учитывающая затраты на покупные станда и полуфабрикаты, используемые в изготавливаемой конструкции, рассчитываются по формуле:

$$\text{Пи} = \sum_{i=1}^n \text{Пи}_n \cdot \text{С}_n + k_3 \sum_{i=1}^n \text{Пи}_n \cdot \text{С}_n \quad (49)$$

где Пи_n – количество покупных изделий, ед;

С_n – цена за единицу покупного станда, руб.;

k_3 – коэффициент затрат на транспортировку и доставку, $k_3 = 0,1$

Для удобства проведения расчетов по затратам на закупку и доставку покупных изделий конструкции, сведем их в таблицу 22.

Таблица 22 – Расчет затрат на покупные станда

Наименование и вид покупного станда	Количество покупных изделий	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Болты М10	40	8,00	320,00
Болты М6х15	24	6,50	156,00
Болт фундаментный	4	350,00	1 400,00
Винты М10	50	10,00	500,00
Вал карданный	2	2 200,00	4 400,00
Выключатель автоматический	4	450,00	1 800,00
Датчик ЭИИ-35 ТУ 38769 - 85	2	3 500,00	7 000,00
Двигатель 4А160М6УЗ ГОСТ 19523-81	2	32 500,00	65 000,00
Кольцо стопорное	8	0,80	6,40
Кнопка пусковая	2	250,00	500,00
Лампа контрольная	4	85,00	340,00
Манжеты для гидравлических устройств по ГОСТ 14896-78 d = 52	6	125,00	750,00
Мост ВА3-2106 с редуктором в сборе		8 200,00	0,00
Муфта МУВП ГОСТ 13254-75	2	780,00	1 560,00
Подшипник 305 ГОСТ 5720-75	8	750,00	6 000,00
Подшипник 302	6	550,00	3 300,00
Подшипник 46310 ГОСТ 8338-75	12	750,00	9 000,00

Продолжение таблицы 22

Пульт управления	1	11 200,00	11 200,00
Редуктор КЦ1 - 250 - I - 3 - ЦУ2	2	7 500,00	15 000,00
Цепь зубчатая	2	9 500,00	19 000,00
Прочие			6 000,00
ИТОГО			153 232,40
Транспортно-заготовительные расходы			4 596,97
ВСЕГО			157 829,37

Наряду с затратами на материалы и покупные станда, при изготовлении новой конструкции предприятие несет издержки также на заработную плату, как основную, так и дополнительную. Расчет заработной платы производится по формуле:

$$Z_o = \sum_{i=1}^n (T_i \cdot C_{Ti} \cdot k_{чi} \cdot k_{пр}) \quad (50)$$

где T_i – трудоемкость выполнения i -той операции, чел-час;

C_{Ti} – часовая тарифная ставка рабочего, занятого на выполнении i -той операции, руб.;

$k_{чi}$ – коэффициент доплат заработной платы до часового фонда работающих, $k_{чi} = 1,05 \dots 1,15$;

$k_{пр}$ – коэффициент премирования, $k_{пр} = 1,24$.

Расчет основной заработной платы рабочих приводится в таблице 23.

Таблица 23 – Расчет основной заработной платы

Виды операций	Трудоемкость, чел-час	Часовая тарифная ставка, руб	Тарифная зарплата, руб
Литейная	18,00	210,30	4 050,38
Гибочная	12,50	210,30	2 812,76

Продолжение таблицы 23

Сварочная	10,50	210,30	2 362,72
Токарная	8,25	250,50	2 211,29
Фрезерная	16,00	250,50	4 288,56
Шлифовальная	6,00	250,50	1 608,21
Долбежная	4,50	210,30	1 012,59
Термическая	12,00	210,30	2 700,25
Сверлильная	8,00	185,25	1 585,74
Слесарная	12,50	185,25	2 477,72
Сборочная	22,50	185,25	4 459,89
Окрасочная	6,00	160,45	1 030,09
Испытательная	12,00	210,30	2 700,25
ИТОГО			33 300,46
Премияльные доплаты			7 992,11
Основная заработная плата			41 292,57

Наряду с основной заработной платой, рассчитывается размер дополнительной заработной платы. Дополнительная заработная плата – это переменная часть общей заработной платы, которая выплачивается рабочему, например за определенные условия труда и как определенная гарантия от работодателя. Расчет заработной платы производится по формуле:

$$З_{доп} = З_о \cdot k_{доп}, \quad (51)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, $k_{доп} = 0,25$.

$$З_{доп} = 41\,292,57 \cdot 0,25 = 10\,323,14 \text{ руб}$$

Отчисления в фонд социального страхования являются важным компонентом формирования фонда оплаты труда. В отличие от основной и дополнительной заработной платы, эта часть фонда оплаты труда не выплачивается работнику, а оплачивается работодателем в фонд социального страхования напрямую. Расчет величины отчислений в фонд социального страхования рассчитывается по формуле:

$$З_{\text{ФСС}} = (З_0 + З_{\text{доп}}) \cdot 0,3 \quad (52)$$

$$З_{\text{ФСС}} = (41\,292,57 + 10\,323,14) \cdot 0,3 = 15\,484,71 \text{ руб}$$

Также предприятие несет издержки, связанные с ремонтом оборудования и его обслуживанием. Соответственно, эта статья затрат должна находить свое отношение в структуре себестоимости. Расчет затрат на содержание и эксплуатацию оборудования определяется как процент от затрат на основную заработную плату. В соответствии с принятой практикой расчетов, принимаем для затрат на содержание и эксплуатацию 104% от затрат на основную заработную плату. Расчет производится по формуле:

$$Р_{\text{об}} = З_0 \cdot 1,04 \quad (53)$$

$$Р_{\text{об}} = 41\,292,57 \cdot 1,04 = 42\,944,27 \text{ руб}$$

Общехозяйственные расходы – это расходы по цеху, занятого в производственном процессе. Как правило, это расходы, связанные с поддержанием работоспособности цеха, транспортировкой и технологическими перемещениями внутри цеха и заработной плату вспомогательного персонала. Расчет общехозяйственных расходов производится как процент от затрат на основную заработную плату. В соответствии с принятой практикой расчетов, принимаем для затрат на общехозяйственные расходы 25% от затрат на основную заработную плату. Расчет производится по формуле:

$$Р_{\text{ох}} = З_0 \cdot 0,25 \quad (54)$$

$$Р_{\text{ох}} = 41\,292,57 \cdot 0,25 = 10\,323,14 \text{ руб}$$

Общепроизводственные расходы – это расходы предприятия, связанные с выпуском продукции и осуществлением хозяйственной и коммерческой деятельности. Как правило, общепроизводственные расходы включают в себя комплекс расходов, связанных с функционированием предприятия, включая затраты на заработную плату инженерно-технического и административно-управленческого персонала. В соответствии с принятой практикой расчетов, принимаем для затрат на общепроизводственные расходы 30% от затрат на основную заработную плату. Расчет производится по формуле:

$$Р_{оп} = З_о \cdot 0,30 \quad (55)$$

$$Р_{оп} = 41\,292,57 \cdot 0,30 = 12\,387,77 \text{ руб}$$

Сведение всех статей расходов в общую сумму, даст величину производственной себестоимости продукции. Это затраты предприятия на производство продукции. Добавление к производственной себестоимости внепроизводственных расходов, связанных с продвижением продукции на рынке, позволит рассчитать величину полной себестоимости. Для простоты и удобства восприятия, все статьи расходов сведем в таблицу 24.

Таблица 24 – Расчет себестоимости конструкции

Наименование статьи затрат	Сумма, руб	%
Затраты на материалы	2 875,00	0,95%
Затраты на покупные станда	157 829,37	52,22%
Зарплата основная	41 292,57	13,66%
Зарплата дополнительная	10 323,14	3,42%
Отчисления на соцстрах	15 484,71	5,12%

Продолжение таблицы 24

Расходы на содержание оборудования	42 944,27	14,21%
Общепроизводственные расходы	10 323,14	3,42%
Общехозяйственные расходы	12 387,77	4,10%
Производственная себестоимость	293 459,98	97,09%
Внепроизводственные расходы	8 803,80	2,91%
Полная себестоимость	302 263,78	100,00%

Расчет полной себестоимости дает возможность выполнить расчет цены станда и определить экономический эффект от их внедрения. Расчет цены и оценка экономического эффекта будет произведен в соответствующем подразделе экономического раздела дипломного проекта.

5.3 Расчет экономического эффекта от разработанной конструкции

Экономический эффект от разработки новой конструкции является комплексным показателем, свидетельствующим об общей успешности разработанной конструкции. Экономический эффект выражается в получении дополнительной прибыли от увеличения отпускной цены. Отчасти это может объясняться большими затратами на изготовление конструкции, а отчасти повышенным спросом со стороны потребителя на разработанную конструкцию, что объясняется лучшими эксплуатационными показателями.

Для определения экономического эффекта необходимо рассчитать отпускную цену на разработанное изделие. В отпускную цену включается прибыль, которую предприятие предполагает получить от продажи станда, а также налог на добавленную стоимость (НДС). Предполагается уровень рентабельности на уровне 15%, а НДС 20%. Расчет производится по формуле:

$$C_{и} = C_{п} + C_{п} \cdot 0,15 + C_{п} \cdot 0,20 \quad (56)$$

$$C_{и} = 302\,263,78 + 302\,263,78 \cdot 0,15 + 302\,263,78 \cdot 0,20 = 408\,056,10$$

Принимаем отпускную цену $C_{и} = 410\,000$ руб. Как было отмечено ранее, экономический эффект будет достигнут за счет увеличения цены для конечного потребителя, за счет чего и будет получена прибыль предприятия. Расчет производится по формуле:

$$\mathcal{Э} = C_{и} - C \quad (57)$$

где C – средняя цена стенда до модернизации, руб

В соответствии с произведенным анализом, выявлена цена на изделие на рынке у разных продавцов. Анализ средней стоимости приведен в таблице 25.

Таблица 25 – Расчет средней цены стенда

Наименование фирмы	Цена стенда, руб
ООО «Авангард», Тольятти	320 000
ООО «РемтехКомплект», Тольятти	350 000
ООО «Аверс», Тольятти	300 000
Средняя цена по компаниям	323 333

Исходя из определенной средней цены, выполним расчет экономического эффекта для одного стенда.

$$\mathcal{Э} = 4\,333\,350 - 323\,333 = 86\,667,00 \text{ руб}$$

Предполагается объем реализации в количестве не менее 50 изделий. Тогда годовой экономический эффект составит:

$$Эг = Э \cdot N \quad (58)$$

где N – объем реализации продукции, ед.

$$Эг = 86\,667,00 \cdot 50 = 4\,333\,350 \text{ руб}$$

Рассчитанный экономический эффект можно использовать при более детальной проработке эффективности внедрения стенда, которое позволит рассчитать срок окупаемости проекта, социальный эффект и ряд иных показателей, которые лежат вне рамок выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы.

Объектом дипломного проектирования является новый тип испытательного стенда, который обладает уникальным функционалом и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Разрабатываемый стенд представляет собой сложное техническое устройство, предназначенное для проведения ресурсных испытаний с целью улучшения его технических и эксплуатационных характеристик, а также функциональности. Разработанный в рамках дипломного проекта испытательный стенд дает возможность применения нового функционала, который включает дополнительные режимы работы, расширенные возможности управления процессом испытаний, интеграцию с другими системами и устройствами проведения процесса обкатки. Последующая разработка стенда может иметь потенциал для дальнейшего развития и модернизации, что сделает испытательные лаборатории, оснащенные данным техническим устройством, более конкурентоспособными на рынке. Таким образом, разработка и внедрение нового испытательного стенда с улучшенными характеристиками имеет потенциал для создания продукта,

который будет выделяться на рынке технической новизной и обладать привлекательностью как для пользователей, так и для эксплуатантов испытательных устройств.

Расчет полной себестоимости дает возможность выполнить расчет цены стенда и определить экономический эффект от их внедрения. Расчет цены и оценка экономического эффекта будет произведен в соответствующем подразделе экономического раздела дипломного проекта. В результате произведенных расчетов определена себестоимость стенда, $C_{п} = 302\,263,78$ руб. Определение себестоимости позволило рассчитать отпускную цену на разработанное изделие. В отпускную цену включается прибыль, которую предприятие предполагает получить от продажи стенда, а также налог на добавленную стоимость (НДС). Принимаем отпускную цену $C_{и} = 410\,000$ руб.

Экономический эффект от разработки новой конструкции является комплексным показателем, свидетельствующим об общей успешности разработанной конструкции. Экономический эффект выражается в получении дополнительной прибыли от увеличения отпускной цены. Отчасти это может объясняться большими затратами на изготовление конструкции, а отчасти повышенным спросом со стороны потребителя на разработанную конструкцию, что объясняется лучшими эксплуатационными показателями. Предполагается объём реализации в количестве не менее 50 изделий. Тогда годовой экономический эффект составит, $Э_{г} = 4\,333\,350$ руб.

Рассчитанный экономический эффект можно использовать при более детальной проработке эффективности внедрения стенда, которое позволит рассчитать срок окупаемости проекта, социальный эффект и ряд иных показателей, которые лежат вне рамок выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы. На основании всего вышеизложенного, можно сделать вывод о выполнении задач, поставленных в рамках выполнения экономического раздела.

Заключение

Современная транспортная индустрия предъявляет высокие требования к надежности, безопасности и долговечности компонентов грузовых автомобилей. Одним из ключевых элементов, обеспечивающих комфорт и безопасность при движении, являются амортизаторы. Они играют важную роль в системе подвески, смягчая удары и вибрации, возникающие при движении по различным типам дорог. В условиях интенсивной эксплуатации грузовых автомобилей амортизаторы подвержены значительным нагрузкам, что требует особого внимания к их качеству и долговечности.

Разработка стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей является актуальной задачей, направленной на повышение надежности и эффективности транспортных средств. Такой стенд позволит проводить комплексные и точные испытания амортизаторов, выявляя их слабые места и оценивая срок службы в реальных условиях эксплуатации. Это особенно важно для производителей автокомпонентов, стремящихся к улучшению своих продуктов и соответствию высоким стандартам качества.

Анализ промышленных аналогов, проведенный в первом разделе дипломного проекта, показал, что существующие стенды для ресурсных испытаний амортизаторов обладают высоким уровнем автоматизации, точности и универсальности. Однако они также характеризуются высокой стоимостью и сложностью эксплуатации. Разработка нового стенда должна учитывать выявленные преимущества и недостатки существующих решений, с целью создания более доступной, эффективной и легкой в использовании системы, адаптированной под специфические условия испытаний амортизаторов грузовых автомобилей.

Существующие промышленные стенды, предлагаемые компаниями MTS, Instron, Servotest, Schenck и Moog, демонстрируют высокие стандарты точности, надежности и автоматизации. Эти системы обладают широким функционалом и способны проводить комплексные испытания амортизаторов

в различных режимах и условиях эксплуатации. Современные стенды обеспечивают высокую точность измерений, возможность программирования сложных циклов испытаний и интеграцию с программным обеспечением для анализа данных. Они могут адаптироваться под различные типы амортизаторов и условия испытаний, что делает их универсальными и эффективными инструментами для тестирования.

Несмотря на высокие технические характеристики, существующие решения характеризуются значительными начальными инвестициями, сложностью установки и требованиями к наличию специализированного технического персонала для эксплуатации и обслуживания. Высокие затраты на приобретение и эксплуатацию могут ограничивать доступность этих систем для небольших компаний.

Анализ выявил несколько областей для потенциальных улучшений. Это включает в себя разработку более доступных по стоимости решений, упрощение интерфейсов управления, снижение требований к техническому обслуживанию и увеличение адаптивности под специфические условия испытаний амортизаторов грузовых автомобилей. Грузовые автомобили требуют специфических испытательных условий из-за более высоких нагрузок и разнообразия эксплуатационных ситуаций. Разработка специализированного стенда, адаптированного под эти условия, является важным шагом для обеспечения надежности и долговечности амортизаторов в реальных условиях эксплуатации.

Обзор промышленных аналогов подтвердил актуальность и необходимость разработки нового стенда для ресурсных испытаний амортизаторов грузовых автомобилей. Такой стенд должен сочетать в себе передовые технологии, высокую точность и надежность, при этом быть более доступным и простым в эксплуатации по сравнению с существующими решениями. Это позволит расширить возможности тестирования и повысить качество продукции, что имеет критическое значение для обеспечения безопасности и эффективности грузовых перевозок.

Тяговый расчет, выполненный во втором разделе дипломной работы, является ключевым этапом в проектировании автомобиля, поскольку он определяет способность транспортного средства развивать необходимую мощность для обеспечения требуемой производительности. В рамках дипломного проекта он выполняется для подтверждения заявленных тягово-мощностных характеристик автомобиля, взятого для модернизации. Для автомобиля КамАЗ тяговый расчет позволяет определить оптимальные характеристики двигателя и трансмиссии, учитывая массу автомобиля, коэффициент сопротивления движению, уклоны дороги и другие параметры.

Результаты тягового расчета демонстрируют не только технические возможности автомобиля, но и его эксплуатационные характеристики, такие как динамика разгона, максимальная скорость, экономичность и поведение на различных участках дороги. Важно учитывать не только тяговые характеристики двигателя, но и передачи, дифференциала и других компонентов трансмиссии, чтобы обеспечить оптимальное соотношение между мощностью и моментом на колесах.

Проведенная расчетная работа играет важную роль в проектировании и оптимизации ходовых качеств автомобиля, что в конечном итоге повлияет на его эффективность, надежность и удовлетворенность пользователей. Регулярное совершенствование методов расчета и анализа проведенных расчетов позволит улучшить качество и конкурентоспособность автомобиля на современном рынке транспортных средств.

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

Предложенная конструкция стенда учитывает все требования технического задания и включает в себя инновационные решения для имитации различных условий испытаний амортизатора. Конструктивные особенности стенда направлены на обеспечение стабильности, прочности и безопасности при проведении испытаний.

Были выполнены расчеты нагрузок, прочности материалов, а также определены параметры систем управления и мониторинга. Результаты расчетов подтверждают выполнимость проекта с точки зрения технических и эксплуатационных характеристик.

В процессе разработки технологии сборки разработанного механизма были учтены основные этапы и последовательность операций для эффективной и качественной сборки. Были оптимизированы методы и инструменты с учетом особенностей конструкции и требований к надежности приводной системы.

Разработанная технология направлена на обеспечение высокой точности сборки деталей разработанного приводного механизма для исключения возможных дефектов и системы на протяжении всего срока эксплуатации. Были разработаны рекомендации по контролю качества на различных этапах сборки для предотвращения возможных ошибок и повышения надежности работы тормозов.

Технология сборки приводного механизма разработана с учетом экономических аспектов, направленных на оптимизацию времени и затрат на процесс сборки. Были предложены рекомендации по рационализации рабочих операций и использованию ресурсов с целью повышения эффективности и экономичности процесса сборки. В целом, разработанная технология сборки приводного механизма представляет собой важный этап в создании качественного и надежного стенда, обеспечивая качество производимых испытаний. Обеспечение безопасности и экологичности на предприятии сегодня становится все более неотъемлемой частью успешной деятельности компании. Успешная реализация мероприятий по безопасности и экологичности требует постоянного контроля, обучения персонала, использования современных технологий и систем управления. Важно также формирование экологической культуры среди работников и внедрение принципов ответственного потребления ресурсов.

В разделе определены технологические операции, осуществляемые на сборочном участке. На основании перечня технологических операций, были идентифицированы профессиональные риски и определен перечень воздействующих на работников вредных и опасных производственных факторов. Выявленные профессиональные риски позволили выполнить разработку методов для их минимизации или нейтрализации, а также произвести подбор необходимых средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Определены факторы пожарной опасности, на основании чего разработан комплекс организационно-технических мероприятий по предотвращению пожара. Также выполнена идентификация негативных экологических факторов, что также позволило разработать мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.

Результатом выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы явился расчет стоимости изготовления конструкции нового вида и определения величины экономического эффекта.

Объектом дипломного проектирования является новый тип испытательного стенда, который обладает уникальным функционалом и улучшенными техническими и эксплуатационными характеристиками. Разрабатываемый стенд представляет собой сложное техническое устройство, предназначенное для проведения ресурсных испытаний с целью улучшения его технических и эксплуатационных характеристик, а также функциональности. Разработанный в рамках дипломного проекта испытательный стенд дает возможность применения нового функционала, который включает дополнительные режимы работы, расширенные возможности управления процессом испытаний, интеграцию с другими системами и устройствами проведения процесса обкатки. Последующая разработка стенда может иметь потенциал для дальнейшего развития и модернизации, что сделает испытательные лаборатории, оснащенные данным техническим устройством, более конкурентоспособными на рынке. Таким

образом, разработка и внедрение нового испытательного стенда с улучшенными характеристиками имеет потенциал для создания продукта, который будет выделяться на рынке технической новизной и обладать привлекательностью как для пользователей, так и для эксплуатантов испытательных устройств.

Расчет полной себестоимости дает возможность выполнить расчет цены стенда и определить экономический эффект от их внедрения. Расчет цены и оценка экономического эффекта будет произведен в соответствующем подразделе экономического раздела дипломного проекта. В результате произведенных расчетов определена себестоимость стенда, $C_{п} = 302\,263,78$ руб. Определение себестоимости позволило рассчитать отпускную цену на разработанное изделие. В отпускную цену включается прибыль, которую предприятие предполагает получить от продажи стенда, а также налог на добавленную стоимость (НДС). Принимаем отпускную цену $C_{и} = 410\,000$ руб.

Экономический эффект от разработки новой конструкции является комплексным показателем, свидетельствующим об общей успешности разработанной конструкции. Экономический эффект выражается в получении дополнительной прибыли от увеличения отпускной цены. Отчасти это может объясняться большими затратами на изготовление конструкции, а отчасти повышенным спросом со стороны потребителя на разработанную конструкцию, что объясняется лучшими эксплуатационными показателями. Предполагается объем реализации в количестве не менее 50 изделий. Тогда годовой экономический эффект составит, $\mathcal{E}_{г} = 4\,333\,350$ руб.

Рассчитанный экономический эффект можно использовать при более детальной проработке эффективности внедрения стенда, которое позволит рассчитать срок окупаемости проекта, социальный эффект и ряд иных показателей, которые лежат вне рамок выполнения экономического раздела выпускной квалификационной работы. На основании всего вышеизложенного, можно сделать вывод о выполнении задач, поставленных в рамках выполнения экономического раздела.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автоматические системы транспортных средств: учебник / В.В. Беляков, Д.В. Зезюлин, В.С. Макаров, А.В. Тумасов. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 352 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-571-4.
2. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники : учебное пособие / Д. А. Едимичев, А. Н. Минкин, С. Н. Масаев [и др.]. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 148 с. - ISBN 978-5-7638-4289-0.
3. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет : учебное пособие / Е.В. Березина. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-018271-1.
4. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 655 с.
5. Богатырев, А. В. Электронные системы мобильных машин : учебное пособие / А.В. Богатырев. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 224 с.
6. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по технологической операции, видам работ, оборудованию, производственному цеху, участку»
7. Круглик, В. М. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта : учебное пособие / В.М. Круглик, Н.Г. Сычев. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 260 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006953-1.
8. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 506 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — www.dx.doi.org/10.12737/974. - ISBN 978-5-16-006053-8.

9. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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