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 Полноприводный грузовой автомобиль-самосвал полной массой 45 тонн.
Проектирование конструкции подвески

Обучающийся Д.Э. Черевач
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель канд. техн. наук, доцент Н.С. Соломатин
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

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

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

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

Тольятти 2025

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Полноприводный грузовой автомобиль-самосвал полной массой 45 тонн. Проектирование конструкции подвески».

Цель работы: разработка конструкции подвески полноприводного самосвала полной массой 45 тонн, обеспечивающей высокую надежность, плавность хода и устойчивость в условиях бездорожья при сохранении грузоподъемности и долговечности.

Задачи работы:

- анализ существующих типов подвесок тяжелых самосвалов и выбор оптимальной схемы;
- определение нагрузок и рабочих условий эксплуатации подвески;
- проектирование балансирной подвески с оптимальными параметрами жесткости и демпфирования;
- проведение прочностных расчетов основных элементов подвески;
- оценка устойчивости и управляемости автомобиля с проектируемой подвеской.

Методы исследования:

- анализ аналогов и патентных решений;
- инженерные расчеты на прочность (методом конечных элементов).

Основные результаты: разработана конструкция балансирной подвески с усиленными листовыми рессорами и гидравлическими амортизаторами, определены оптимальные параметры жесткости и хода сжатия/отбоя.

Практическая ценность проекта состоит в улучшении плавности хода за счет оптимального демпфирования, снижении динамических нагрузок на раму и кабину.

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

В первом разделе проведено комплексное исследование эксплуатационных характеристик 45 тонного самосвала.

Детально изучены:

- типовые условия эксплуатации транспортного средства;
- современные конструктивные решения подвесок тяжелой техники;
- сравнительный анализ схем подвесок с применением метода экспертных оценок.

Результаты анализа показали, что использование пневматических упругих элементов обеспечивает оптимальное сочетание грузоподъемности и плавности хода для заданных условий работы.

Второй раздел содержит полный тягово-динамический расчет транспортного средства.

Третий раздел посвящен разработке принципиальной конструкции подвески, обоснованию выбора рабочих параметров, выполнению комплекса расчетов на прочность.

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

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

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

Пояснительная записка на 97 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Abstract

The topic of the given graduation project is: «The design development of a suspension of six-wheel drive dump truck with a gross weight of 45 tons».

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

The key issue of the thesis is the design of the six-wheel drive dump truck suspension for improving the vehicle consumer qualities.

We touch upon the problem of development an optimal suspension design for a 6x6 dump truck, taking into account existing safety requirements, ergonomic and aesthetic requirements, comfort, reliability, and reducing the total cost of production, maintenance and operation.

The aim of the work is to develop the design of a suspension of six-wheel drive dump truck with a gross weight of 45 tons.

The graduation project may be divided into several logically connected parts, which are: consideration of the working conditions of a dump truck with a gross weight of 45 tons; study and analysis of suspension schemes; calculation of the traction-dynamic characteristics of the dump truck; analysis of the design and principle of operation of the developed suspension; suspension design calculation; assessment of the reliability and durability of the pneumocylinder cap and rod for strength and rigidity; selection of the assembly form, determination of the assembly labor intensity, development of the technological process of assembling the designed suspension. We also study the safety and the ecological properties of the project.

In conclusion we'd like to stress, that the results of the study showed that due to the development of the suspension design of six-wheel drive dump truck with a gross weight of 45 tons, it became possible to adjust the suspension without reducing durability, maintainability, and without increasing the cost of manufacturing and maintenance.

Содержание

Введение 6
1 Состояние вопроса 8
2 Тягово-динамический расчет автомобиля 17
3 Конструкторская часть 33
3.1 Конструкция и принцип действия разрабатываемых механизмов и систем 33
3.2 Математическое моделирование и определение конструктивных параметров механизмов 36
3.3 Оценки надежности и долговечности основных деталей 44
4 Технологический раздел 49
4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки 50
4.2 Проектирование технологического процесса сборки подвески самосвала с колесной формулой 6×6 56
5 Безопасность и экологичность проекта 63
5.1 Структурно-функциональный анализ 65
5.2 Идентификация профессиональных рисков 67
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков 70
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта 76
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн 81
6 Экономическая эффективность проекта 84
Заключение 91
Список используемой литературы и используемых источников 92
Приложение А. Спецификация 95

Введение

Современные грузовые автомобили-самосвалы являются неотъемлемой частью инфраструктуры строительства, горнодобывающей промышленности и сельского хозяйства. Их основное назначение – перевозка сыпучих и навалочных грузов в условиях бездорожья, карьеров, строительных площадок и других территорий со сложным рельефом.

Особое место в этом сегменте занимают полноприводные самосвалы полной массой 45 тонн, которые сочетают высокую грузоподъемность, проходимость и надежность.

Одним из ключевых узлов таких автомобилей является подвеска, которая непосредственно влияет на:

- устойчивость и управляемость – особенно при движении с грузом по неровным поверхностям;
- плавность хода – снижение динамических нагрузок на водителя и конструкцию кузова;
- долговечность – минимизация усталостных разрушений элементов ходовой части;
- грузоподъемность – равномерное распределение нагрузки между осями.

В настоящее время производители грузовых автомобилей стремятся к оптимизации конструкции подвесок, применяя новые материалы, схемы компоновки и системы демпфирования. Это связано с ужесточением экологических норм, требований к топливной экономичности и комфорту водителя. Кроме того, эксплуатация самосвалов в тяжелых условиях (перегрузки, ударные воздействия, агрессивные среды) требует повышенной надежности подвески.

Таким образом, проектирование подвески для полноприводного самосвала полной массой 45 тонн является актуальной инженерной задачей,

решение которой позволит улучшить технико-экономические показатели автомобиля и расширить сферу его применения.

Актуальность темы дипломной работы обусловлена необходимостью совершенствования конструкций подвесок полноприводных грузовых автомобилей-самосвалов с целью повышения их эксплуатационных характеристик.

Современные требования к таким транспортным средствам включают не только высокую грузоподъемность, но и комфорт водителя, топливную экономичность, минимальное воздействие на дорожное покрытие (в случае работы на твердых покрытиях) и высокую ремонтопригодность. Кроме того, подвеска должна эффективно гасить динамические нагрузки, возникающие при движении по пересеченной местности, что особенно важно для самосвалов, работающих в карьерах и на строительных площадках.

Данная работа посвящена проектированию уникальной конструкции подвески специализированного грузового автомобиля – самосвала общей массой 45 тонн, обладающего колёсной формулой 6×6. Основной целью исследования является создание системы подвески, способной обеспечить оптимальный баланс между показателями плавности хода, устойчивостью, прочностью и долговечностью конструкции.

Применение такого самосвала станет значительным вкладом в повышение производительности и снижение затрат на осуществление крупных инфраструктурных проектов в труднодоступных регионах страны.

1 Состояние вопроса

Создаваемый транспорт представляет собой высокопроходимый самосвал специальной модификации, предназначенной для интенсивной эксплуатации в сложных дорожно-климатических условиях. Основное назначение автомобиля – перевозка значительных объёмов земляных масс, связанных с реализацией масштабных строительных проектов, включая строительство гидроэлектростанций, железнодорожных путей, дорожные и строительные работы на объектах инфраструктуры, связанные с разработкой горных пород и проведением мероприятий по восстановлению земель.

«Транспортные условия характеризуются совокупностью нескольких факторов, которые зависят от назначения автомобиля. Транспортные условия работы автомобилей-самосвалов имеют специфические особенности.

Они работают по замкнутому циклу экскаватор – отвал – экскаватор, поэтому должны иметь вместимость кузова (с учетом насыпания грунта над уровнем бортов), позволяющую полностью использовать их грузоподъемность при перевозке грунта плотностью от 1,4 до 1,9 т/м^3» [5].

«Автомобили-самосвалы рационально использовать для транспортировки грунта на расстояние свыше 2000 м, так как для перемещения грунта на меньшие расстояния целесообразно применять самоходные скреперы. Суточный пробег автомобилей данного типажа обычно составляет от 200 до 250 км при 16-часовом рабочем дне, годовой пробег составляет от 55000 до 60000 км. Максимальная скорость полностью груженного автомобиля – 52 км/ч» [11].

«Дорожные условия характеризуются прочностью дорожного покрытия, рельефом местности, элементами профиля, ровностью дорожного покрытия, интенсивностью движения и стабильностью состояния проезжей части. Дороги имеют покрытия четырех основных типов: капитальные (цементобетонные и асфальтобетонные, облегченные (асфальтобетонные и дегтебетонные), переходные (щебеночные, гравийные), низшие» [5].

Возможные значения коэффициентов сопротивления качению для различных поверхностей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты сопротивления качению [18]

Дорожные условия	Коэффициент сопротивления качению
Асфальтобетонная дорога	от 0,013 до 0,02
Гравийная дорога	от 0,02 до 0,025
Булыжная дорога	от 0,025 до 0,05
Грунтовая дорога: – сухая – влажная	 от 0,025 до 0,035 от 0,05 до 0,015
Песчаная дорога: – сухая – влажная	 от 0,1 до 0,3 от 0,06 до 0,015
Снежная укатанная дорога	от 0,05 до 0,012

Возможные значения коэффициентов сцепления колес с дорогой для различных поверхностей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициентов сцепления [18]

Дорожное покрытие	Состояние	Коэффициент сцепления
Асфальтобетон	сухой мокрый	от 0,7 до 0,8 от 0,45 до.0,55
Булыжное	сухое	от 0,4 до 0,55
Щебенчатое	сухое	от 0,5 до 0,55
Грунтовая дорога	сухая мокрая в распутицу	от 0,4 до 0,6 от 0,2 до 0,45 от 0,15 до 0,25
Песок	сухой мокрый	от 0,2 до 0,4 от 0,35 до 0,5
Снег	укатанный	от 0,15 до 0,25
Лед	гладкий	от 0,08 до 0,2

«Автомобиль-самосвал может применяться в различных климатических условиях. Районы Крайнего севера характеризуются длительным периодом, в течение которого наблюдаются низкие температуры воздуха, доходящие до минус 60 град. и сохраняется снежный покров на дорогах. Тропический климат характеризуется высокими температурами и влажностью воздуха до 95%. Диапазон рабочих температур составляет от

минус 40 до плюс 40°С при атмосферном давлении в диапазоне от 720 до 790 мм.рт.ст, относительной влажности от 60 до 95%» [11].

Дорожные условия карьеров характеризуются низким качеством покрытий, часто превышающим допустимые нормы по уровню вибраций и деформаций полотна. Особенно уязвимыми участками являются зоны забоя, подъездные пути к оборудованию (например, к экскаваторам), временные трассы и площадки разгрузки отходов (отвалы). Эти факторы оказывают значительное влияние на работоспособность и долговечность техники.

Важнейшими элементами защиты транспортного средства от негативных последствий воздействия плохих дорог выступают два ключевых компонента: система шин и подвеска. Именно они отвечают за поглощение колебаний и обеспечение стабильного контакта колеса с покрытием.

Основные схемы подвесок представлены на рисунках 1, 2.

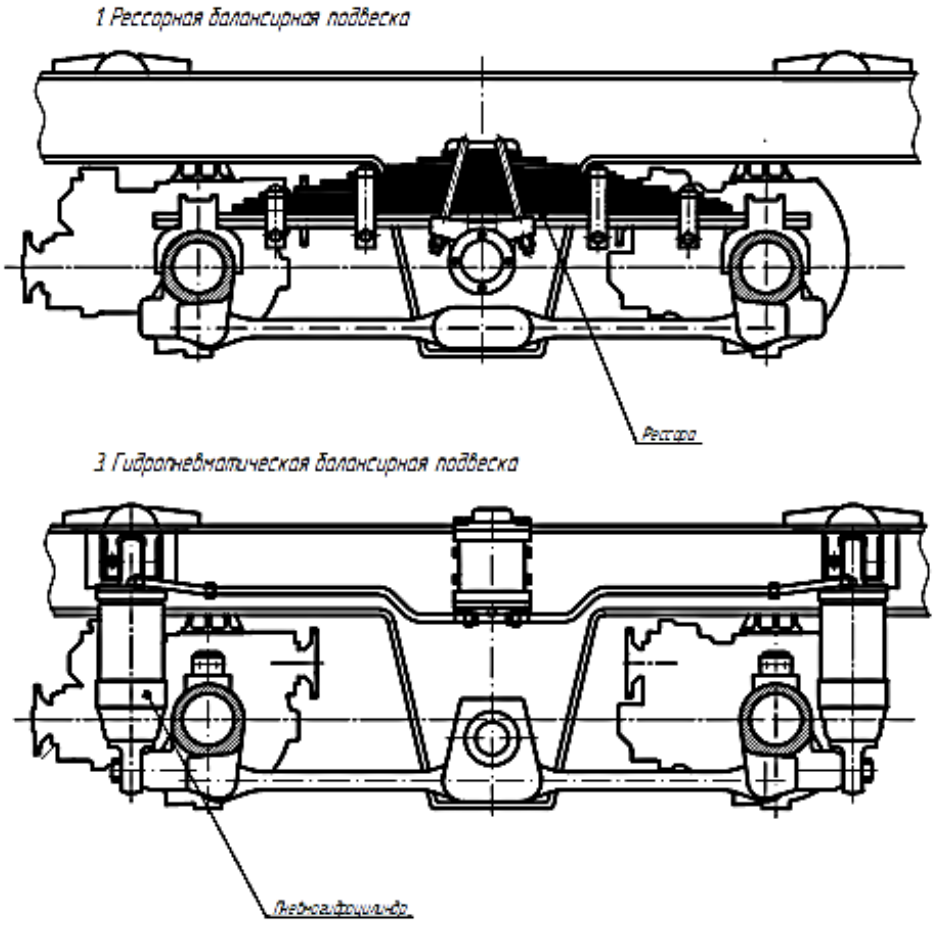


Рисунок 1 – Основные схемы подвесок

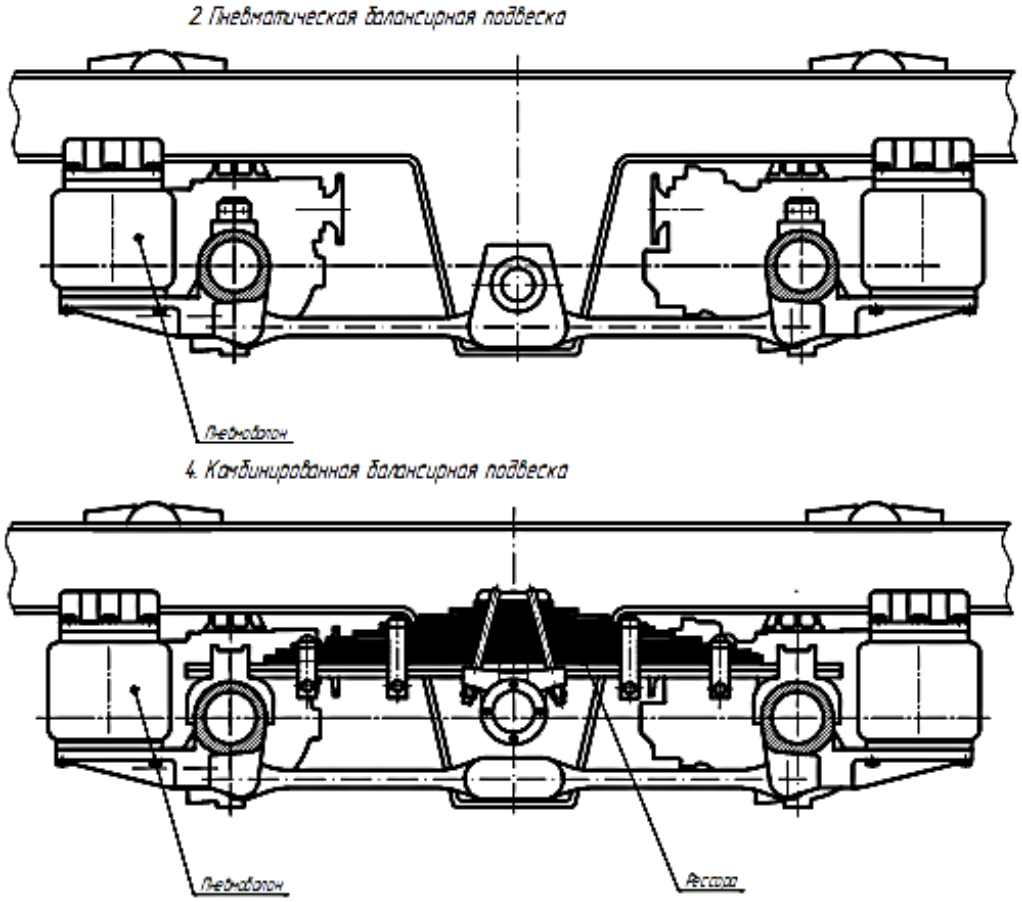


Рисунок 2 – Основные схемы подвесок (продолжение)

«Рессорная подвеска имеет следующие достоинства: стоимость, простота изготовления и обслуживания, равенство нормальных реакций колес связанных рессорой.

Недостатки: невозможность регулирования жесткости подвески, наличие межлистового трения, что негативно сказывается на долговечности подвески» [15].

«Пневматическая подвеска.

Достоинства возможность регулирования жесткости, надежность, не требует ремонта и обслуживания долгое время.

Недостатки: для автомобиля с большой полной массой необходимо использовать как минимум 4 пневмобалона на один мост, что усложняет конструкцию подвески и увеличивает ее габариты» [15].

«Гидропневматическая подвеска имеет малые габариты в связи с совмещением упругого и диссипативного элементов в одном корпусе. Также она обладает высокой нагрузочной способностью. К недостаткам данной подвески можно отнести следующее: отклонять от вертикальной оси гидропневмоцилиндр можно на угол не более 30 . Так как может произойти смешивание рабочих жидкости и газа, что приведет к выходу из строя гидропневмоцилиндра, сложность изготовления, высокая стоимость, необходимость в дозарядке и перезарядке. Также требуется наличие квалифицированных специалистов и специального оборудования для обслуживания» [15].

Конструкция комбинированной подвески объединяет возможности традиционной рессорной подвески и современного пневматического механизма. Такая комбинация основана на взаимодействии стального упругого элемента (рессоры) и регулируемого пневматического цилиндра, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию.

Наиболее важным преимуществом такой подвески является возможность оперативного регулирования её жёсткости, что даёт возможность лучше приспосабливаться к различным дорожным ситуациям и режимам вождения, повышая общий уровень комфорта и безопасности.

Результаты анализа схем подвесок методом экспертных оценок приведены таблице 3.

Таблица 3 – Результаты анализа схем подвесок [15]

Показатели качества	Упругий элемент			
	Металлический	Пневматический	Гидро-пневматический	Комбини-рованный
Плавность хода	3	5	5	5
Надежность	4	5	4	4
Демпфирующие свойства	3	3	5	3
Технологичность	5	4	3	4
Сложность при обслуживании и ремонте	5	5	3	5
Стоимость	5	4	3	4
Сумма баллов	25	26	23	25

Рассмотрим требования, предъявляемые к подвеске автомобиля.

Оптимальная характеристика жесткости.

«Характеристика жесткости подвески представляет собой зависимость между нормальной (перпендикулярной опорной поверхности) нагрузкой на колесо и деформацией (прогибом) подвески, измеренной как нормальное перемещение центра колеса» [10].

Оптимальная кинематика (динамика) движения.

«Работа направляющего устройства подвески при вертикальных перемещениях, крене либо галопировании (продольные угловые колебания) кузова автомобиля вызывает не только вертикальные перемещения колес, но также боковые и угловые, причем как относительно дороги, так и относительно кузова. Поскольку, перемещаясь, колеса находятся под воздействием реакций дороги, которые могут либо препятствовать, либо способствовать этим перемещениям, то такая работа направляющего устройства подвески влияет также и на перемещение кузова» [10].

Оптимальные характеристики демпфирования.

«Гашение колебаний колес и кузова автомобиля, возникших в результате воздействия главным образом, дорожных неровностей, может происходить вследствие трения в некоторых типах упругих элементов и в шарнирах направляющего устройства подвески. Однако трение в этих элементах обычно нестабильно и невелико, а закон его изменения не оптимален. Кроме того, повышение трения в названных узлах привело бы к их быстрому изнашиванию, старению резины.

Поэтому трение в упругих элементах, направляющих устройствах стремятся свести до минимума и оборудовать подвески отдельными гасящими элементами - амортизаторами, работающими по принципу дросселирования потока жидкости. Характеристики гидравлических амортизаторов достаточно стабильны и при правильном их подборе позволяют удовлетворить целому ряду требований плавности хода и управляемости автомобиля» [25].

Минимальная величина неподрессоренных частей.

«Чем больше масса неподрессоренной части конструкции, тем большее влияние она оказывает на колебания подрессоренной части и тем больше вероятность, в силу значительной инерционности, ее отрыва от поверхности дороги. В первом случае ухудшается плавность хода автомобиля, а во втором – его управляемость и устойчивость. Поэтому массу неподрессоренных частей стремятся всемерно снижать» [23].

Одной из основных проблем современных автомобилей является высокий уровень шума, создаваемого компонентами подвески. Шумы возникают преимущественно из-за механических взаимодействий деталей подвески друг с другом и соприкосновения с кузовом. Чтобы минимизировать такие шумы, производители применяют различные технические решения:

- используют специальные резино-металлические шарниры особой конструкции, способные гасить колебания и снижать передачу звуков в салон.
- совершенствуют систему смазки узлов подвески, уменьшая трение и износ, что также положительно влияет на уменьшение посторонних звуков.
- устанавливают дополнительные противоскрипные прокладки и уплотнители, препятствующие возникновению нежелательных контактов между деталями.

Кроме проблемы шумов, важную роль играет вибрация, исходящая от вращения колес и деформации шин. Эта вибрация передается на кузов через подвеску и рулевое управление, создавая дискомфорт водителю и пассажирам. Современные технологии предусматривают комплексный подход к решению вопроса повышения комфорта автомобиля:

- подбираются оптимально сбалансированные материалы шин и конструкции самой подвески, способные смягчить воздействие вибрации;

– применяются активные и пассивные методы снижения вибрационного эффекта, такие как установка дополнительной звукоизоляции салона и применение специальных эластичных прокладок в местах креплений.

Совместная работа всех указанных мер позволяет добиться высокого уровня комфорта и существенного улучшения ощущений пассажиров и водителя при длительных поездках, обеспечивая надежное функционирование транспортного средства и повышение общего уровня безопасности.

Для устранения шумов подвески широко применяются соответствующей конструкции: резино-металлические шарниры (либо совершенствуют смазку металлических шарниров), устанавливают противоскрипные прокладки и тому подобное.

При движении возникают вибрации шин и колес, которые через подвеску и рулевое управление передаются на кузов, что снижает комфортабельность автомобиля. Для получения высокой комфортабельности автомобиля, сглаживающие, поглощающие свойства шины и подвески должны быть согласованы.

Рациональная компоновочная схема.

«В подвеску автомобиля входят отдельные детали, имеющие большие размеры и перемещающиеся в пространстве. Поэтому правильный выбор типа и геометрии как передней, так и задней подвесок автомобиля позволяет не только в той или иной мере удовлетворить перечисленным выше требованиям, но и повлиять на компоновочную схему автомобиля в целом» [22].

Общими требованиями являются:

– низкая металлоемкость,
– низкая трудоемкость изготовления,
– низкие затраты на техническое обслуживание при обеспечении заданной долговечности.

Выводы по разделу.

В данном разделе детально изучены условия эксплуатации тяжелого самосвала с грузоподъемностью 45 тонн, предназначенные для функционирования в суровых условиях карьеров и строительства объектов инфраструктуры. Рассмотрены различные конструктивные решения подвесок, широко применяемых в автомобильной промышленности.

Был проведен тщательный сравнительный анализ предлагаемых вариантов подвесок посредством метода экспертных оценок. Это позволило объективно оценить преимущества и недостатки каждого варианта с точки зрения практического применения в реальных рабочих ситуациях.

По итогам проведенного исследования установлено, что наиболее эффективным решением для рассматриваемого самосвала является использование пневматической подвески. Пневматическая подвеска отличается высоким уровнем адаптивности к изменениям дорожной обстановки, способностью обеспечивать стабильность положения кузова при высоких нагрузках и улучшенными характеристиками амортизации вибрации и ударов, возникающих при работе в жестких дорожных условиях.

Такой тип подвески гарантирует оптимальную защиту кабины водителя и сохранность перевозимого груза, повышает общую надежность и долговечность всей конструкции транспортного средства, способствует снижению утомляемости оператора и повышению безопасности перевозок в целом.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

«Задачей тягового расчёта является определение характеристик двигателя и трансмиссии, обеспечивающих требуемые тягово-скоростные свойства и топливную экономичность автомобиля в заданных условиях эксплуатации. Исходные данные для расчёта определяются в техническом задании, которое устанавливает основное назначение, условия эксплуатации, технические характеристики, показатели качества разрабатываемого автомобиля. Для грузового автомобиля полная масса – главный параметр. Ее значение указывается в техническом задании на проектирование автомобиля» [18].

В соответствии с требованием расчета тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля предлагается провести расчёт данного показателя.

«Полная масса для грузового автомобиля находиться по формуле:

$$m_a = m_0 + n \cdot \left(m_Ч + m_Б \right) + m_Г , \quad (1)$$

где m_0 – снаряженная масса автомобиля;

$m_Ч$ – масса человека, обычно принимается 75 кг;

$m_б$ – масса багажа, обычно принимается 5 кг на 1 человека;

n – количество пассажиров, вместе с водителем, 3 чел.;

$m_Б$ – масса багажа, принимается по 5 кг на одного пассажира;

$m_Г$ – грузоподъемность, для данного вида техники и его функционала принимаем 25000 кг» [18].

$$m_a = 19840 + 2 \cdot \left(75 + 5 \right) + 25000 = 45000 \text{ кг} .$$

Сравнивания данные показатели с аналогами, можно подвердить правильного определения полной массы автомобиля.

«Распределение веса грузовых автомобилей по мостам определяется целесообразностью полного использования грузоподъёмности шин, а также необходимостью соблюдения норм, ограничивающих максимальную допустимую нагрузку на дорогу.

Распределение массы по осям проводится с учетом обеспечения равномерного износа шин, недостаточной поворачиваемости и проходимости автомобиля. При проведении расчета ориентируемся на распределение массы автомобиля-прототипа.

Масса, приходящаяся на переднюю и заднюю ось, определяются по формуле:

$$m_1 = q_1 \cdot m_a,\ m_2 = q_2 \cdot m_a \qquad (2)$$

где q_n – доля полной массы грузового автомобиля, в соответствии с [18] приходящиеся на переднюю ось, принимаем 0,3, для задней – 0,7» [18].

$m_1 = 0,3 \cdot 45000 = 13500$ кг, $m_2 = 0,7 \cdot 45000 = 31500$ кг.

«Подбор шин производим в следующем порядке:

Определяем статическую нагрузку на переднее колесо по формуле:

$$G_{к1} = \frac{m_1 \cdot g}{n_{п.к.}}, \qquad (3)$$

где $n_{п.к.}$ – количество передних колес;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с^2» [25].

$$G_{к1} = \frac{13500 \cdot 9,81}{2} = 66271,5 \text{ Н}.$$

«Определяем статическую нагрузку на заднее колесо по формуле:

$$G_{к2} = \frac{m_2 \cdot g}{n_{з.к.}}, \quad (4)$$

где $n_{з.к.}$ – количество задних колес, принимаем 4» [25].

$$G_{к2} = \frac{31500 \cdot 9{,}81}{4} = 77253{,}75 \text{ Н}.$$

Для данной развесовки выбираем шины 12.00R24 с диаметром без нагрузки *Dм* равным 1620±10 мм, шириной профиля без нагрузки *B* равным 595 мм.

«Далее необходимо рассчитать коэффициент, характеризующий степень использования допустимой максимальной скорости шины:

$$\lambda = \frac{V_{a_{\max}}}{V_{ш_{\max}}}, \quad (5)$$

где $V_{a_{max}}$ – максимальная скорость автомобиля, для аналога – 70 км/ч;

$V_{ш_{max}}$ – допустимая максимальная скорость движения, для шины, 12.00R24 – 80 км/ч» [25].

$$\lambda = \frac{70}{80} = 0{,}875.$$

«Зная размер шин, определяем статистический радиус колеса:

$$r_{ст} = 0{,}5 \cdot d + \lambda_Z \cdot H, \quad (6)$$

где d – посадочный диаметр, для диаметра 24 дюйма равен 0,61 м;

λ_Z – коэффициент вертикальной деформации, зависящий от типа шин, для шин с регулируемым давлением и арочных значение коэффициент принимается в диапазоне от 0,8 до 0,85;

H – высота профиля шины, для шины 12.00R24 высота профиля составляет 0,213 м» [25].

$$r_{ст} = 0{,}5 \cdot 0{,}61 + 0{,}85 \cdot 0{,}213 = 0{,}5 \text{ м}.$$

«На дорогах с твердым покрытием используется равенство:

$$r_{ст} \approx r_Д \approx r_К, \tag{7}$$

где $r_Д$ – динамический радиус колеса;

$r_К$ – радиус качения колеса» [25].

«Лобовую площадь автомобиля выбираем, ориентируясь на прототип.

Для ориентировочной оценки лобовой площади используем зависимость:

$$F = \alpha \cdot B \cdot H_a, \tag{8}$$

где α – коэффициент заполнения площади, по рекомендации [18] для грузовых автомобилей коэффициент равен 0,9;

B и H_a – наибольшие ширина и высота автомобиля, соответственно, значения этих величин принимаю, основываясь на данных выбранного прототипа, 2,55 м и 2,15 м соответственно» [25].

$$F = 0{,}9 \cdot 2{,}55 \cdot 2{,}15 = 4{,}9 \text{ м}^2.$$

«По выбранному коэффициенту обтекаемости, находим значение коэффициента сопротивления воздуха по следующей формуле:

$$k_в = C_x \cdot \frac{\rho_в}{2}, \quad (9)$$

где C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, для легковых автомобилей коэффициент принимает в диапазоне от 0,9 до 1,5. Принимаем равным 1,2.

$\rho_в$ – плотность воздуха, при нормальных условиях (при давлении 760 мм.рт. ст.) – 1,293 кг/м^3» [10].

$$k_в = 1{,}2 \cdot \frac{1{,}293}{2} = 0{,}78 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}.$$

Сравнивая полученные данные с паспортными данными грузовых автомобилей аналогов, приводим к выводу, что расчеты проведены корректно.

Переходим к расчету внешней скоростной характеристики.

«Расчет мощности двигателя, необходимой для движения автомобиля с заданной максимальной скоростью, производим по формуле:

$$N_v = \frac{G_a \cdot \psi_V \cdot V_{a\max} + k_в \cdot F \cdot V_{a_{\max}}^3}{1000 \cdot \eta_{тр}}, \quad (10)$$

где G_a – полный вес автомобиля, Н. Определяется по формуле (11);

ψ_V – суммарный коэффициент сопротивления дороги на режиме максимальной скорости. По рекомендациям коэффициент принимаем равным значению коэффициента сопротивлению качения, для асфальтобетонной дороги в удовлетворительном состоянии коэффициент равен 0,025;

V_{max} – максимальная скорость автомобиля, 19,4 м/с;

$k_в$ – коэффициент сопротивления воздуха, Н·с^2/м^4;

$\eta_{тр}$ – коэффициент полезного действия трансмиссии, который равен произведению коэффициентов полезного действия ее механизмов. Для полноприводного автомобиля коэффициент полезного действия принимают в диапазоне от 0,80 до 0,86. Принимаем равным 0,92.

$$G_a = m_a \cdot g \text{»[25]}, \quad (11)$$

$$G_a = 45000 \cdot 9{,}81 = 441450 \text{ Н}.$$

$$N_v = \frac{441450 \cdot 0{,}025 \cdot 19{,}4 + 0{,}23 \cdot 4{,}9 \cdot 19{,}4^3}{1000 \cdot 0{,}85} = 261{,}6 \text{ кВт}.$$

«Определяем максимальную мощность двигателя в зависимости от его типа по формуле:

$$N_{max} = \frac{N_v}{a \cdot \lambda + b \cdot \lambda^2 - c \cdot \lambda^3}, \quad (12)$$

где a, b, c – эмпирические коэффициенты, значения которых принимаются в соответствии с типом двигателя (таблица 4);

λ – коэффициент, учитывающий отношений максимального вращения коленчатого вала к вращению коленчатого вала при максимальных мощности, для грузового автомобиля с дизельным двигателем принимаем равным 1» [25].

Таблица 4 – Значения коэффициентов для расчета внешней скоростной характеристики

«Тип двигателя	a	b	c
Бензиновый	1	1	1
Дизельный четырехтактный	0,53	1,56	1,09» [4]

$$N_{max} = \frac{261,6}{0,53 \cdot 1 + 1,56 \cdot 1^2 - 1,09 \cdot 1^3} = 261,6 \text{ кВт}.$$

«Определяем частоту вращения коленчатого вала двигатели на режиме максимального числа оборотов:

$$n_{\max} = n_N \cdot \lambda » [25]. \quad (13)$$

$$n_{V_{MAX}} = 2000 \cdot 1 = 2000 \text{ об/мин}.$$

«Рассчитываем внешнюю скоростную характеристику двигателя (рисунок 3) по формуле:

$$N_e = N_{\max} \cdot \left[a \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right]. \quad (14)$$

Для построения графика эффективного момента применяется формула:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \cdot 10^3 » [25]. \quad (15)$$

Для удобства результаты расчетов заносим таблицу 5.

Таблица 5– Данные для построения внешней скоростной характеристики

Скорость вращения коленчатого вала, об/мин	700	850	1000	1150	1300	1450	1600	1750	1900	2000
Угловая скорость, рад/с	73,3	89,0	104,7	120,4	136,1	151,8	167,5	183,3	198,9	209,4
Мощность, кВт	52,4	87,4	120,1	149,8	178,6	207,4	226,7	242,7	254,1	261,6
Крутящий момент, Н м	1150	1221	1250	1367	1382	1390	1373	1352	1239	1208

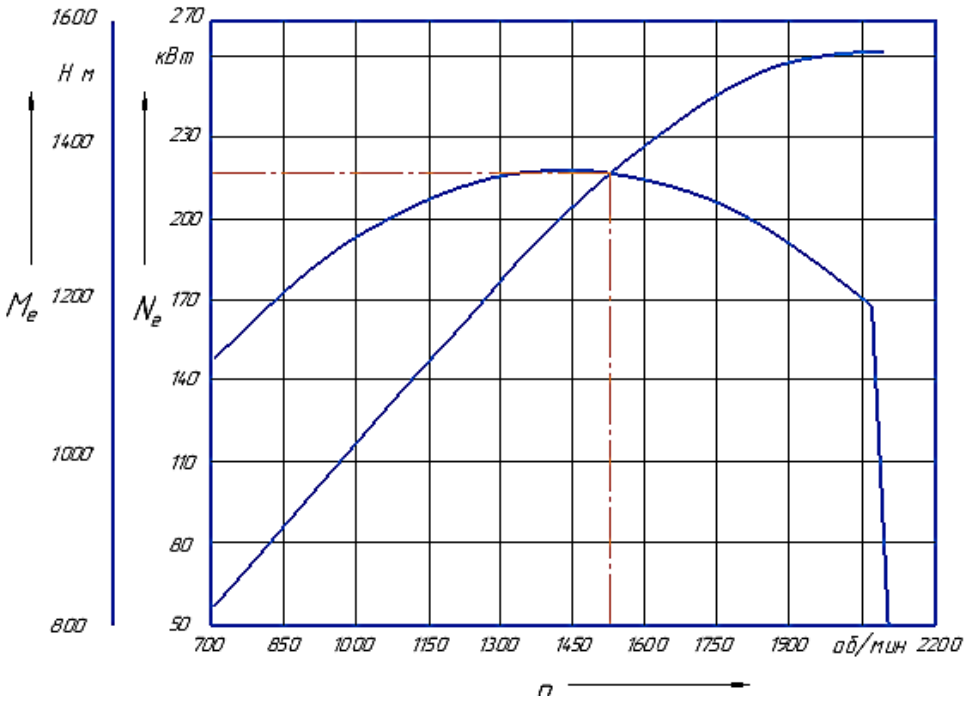


Рисунок 3 – Внешняя скоростная характеристика

«Передаточное число главной передачи рассчитывается из условия обеспечения заданной максимальной скорости автомобиля по выражению:

$$u_o = \frac{\omega_{\max} \cdot r_k}{u_k \cdot V_{\max}}, \qquad (16)$$

где $\omega_{\max}$ – скорость вращения коленчатого вала двигателя, 2000 об/мин или 209,4 рад/с;

r_k – радиус качения колеса, равен 0,50 м;

u_k – передаточное число коробки передач на высшей передаче, для механической коробки передач, передаточное число – 0,82» [25].

$$u_o = \frac{209{,}4 \cdot 0{,}5}{0{,}8 \cdot 19{,}4} = 6{,}75.$$

«Передаточное число низшей ступени коробки передач выбирают исходя из трёх условий:

1) преодоление максимального дорожного сопротивления

$$u_{кп1} \geq \frac{r_{ко} m_a g \psi_{\max}}{M_{e\max} k_{отб} u_o u_{кр} \eta_{тр}}. \quad (17)$$

2) предотвращение буксования ведущих колёс

$$u_{кп1} \leq \frac{r_{ко} m_a g \varphi}{M_{e\max} k_{отб} u_o u_{кр} \eta_{тр}}. \quad (18)$$

3) обеспечение возможности движения с заданной минимальной устойчивой скоростью

$$u_{кп1} = \frac{\omega_{д\min} \cdot r_{ко}}{u_o \cdot u_{кр} \cdot \upsilon_{\min}}» [25]. \quad (19)$$

Подставляя известные величины в формулы (6-8) получаем значение передаточного числа низшей шестой передачи – 5,35.

Диапазон передаточных чисел коробки передач определяется отношением передаточных чисел низшей и высшей ступеней.

$$Д_{кп} = \frac{u_{кпн}}{u_{кпв}} = \frac{5,35}{0,625} = 8,56. \quad (20)$$

«Число ступеней и передаточные числа промежуточных ступеней коробки передач выбираются из условия оптимального использования мощности двигателя с целью обеспечения высоких показателей тягово-скоростных свойств и топливной экономичности автомобиля. При этом должно обеспечиваться устойчивое движение автомобиля во всём диапазоне скоростей и исключаться возможность возникновения критической скорости» [18].

«Если ряд промежуточных передаточных чисел выбран по геометрической прогрессии, средняя мощность двигателя при разгоне автомобиля будет максимальной в случае одинакового использования ступеней по времени и мощности на каждой ступени. В действительности же время движения автомобиля на двух высших передачах составляет около 90% общего времени разгона. Примерно такую же долю составляет и путь, проходимый автомобилем на этих передачах. Поэтому ряд передаточных чисел целесообразно скорректировать таким образом, чтобы шаг между высшими ступенями был меньше, чем между низшими» [18].

На основании сделанных выводов, а также исследуя коробки передач современных автомобилей-аналогов принимаем q равным 1,6.

Таким образом, передаточные числа коробки передач проектируемого автомобиля будут следующие для первой передачи – 5,35, для второй – 3,3, для третьей – 2,256, для четвертой – 1,4, для пятой – 0,969, для шестой – 0,625.

«Динамическая характеристика представляет собой зависимость динамического фактора автомобиля от скорости на разных передачах. В каждой расчетной точке на каждой передаче динамический фактор рассчитывается, согласно его определению, по формуле:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a}$$ » [3]. (21)

В связи с ограничением объема пояснительной записки и быстроты проведения расчетов вычисления проводятся в программной среде Microsoft Excel, после которых осуществляется построение графиков в Компас-3D (рисунок 4).

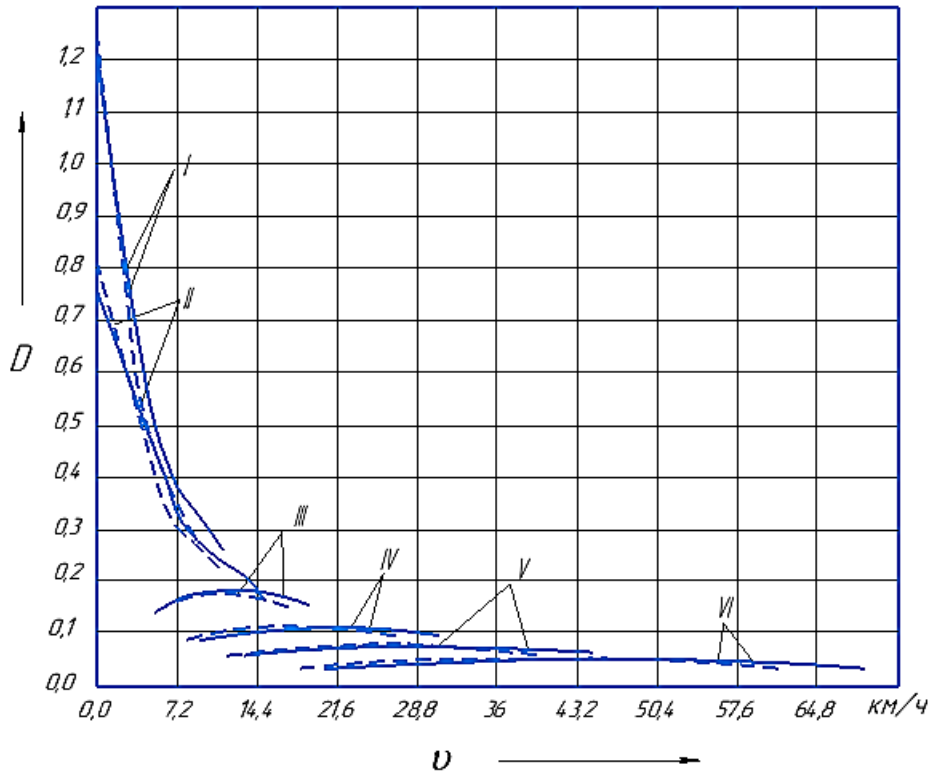


Рисунок 4 – График динамической характеристики грузового автомобиля

«Для теоретического определения времени разгона и пути разгона предложено несколько графоаналитических методов. Будем основываться на методе Н.А. Яковлева. Расчетный интервал скоростей разбиваем на мелкие участки, для каждого из которых считаем:

$$j = j_{ср} = \frac{j_н + j_к}{2}, \tag{22}$$

где $j_{ср}$ – среднее ускорение на участке ΔV;

$j_н$, $j_к$ – соответственно ускорение в начале и конце участка» [25].

«Время разгона на участке, используя график, находим:

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{j_{ср}} = \frac{V_к - V_н}{j_{ср}}. \tag{23}$$

Время разгона до конечной скорости получаем сложением времени на отдельных участках:

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \ldots \Delta t_n. \quad (24)$$

Путь за время при равноускоренном движении на каждом участке определяется по формуле:

$$\Delta S = \frac{V_н + V_к}{2} \cdot \Delta t = V_{ср} \cdot \Delta t \text{ » [25]}. \quad (25)$$

Проведение расчетов проводятся в программной среде Microsoft Excel, а построение графиков в Компас-3D (рисунок 5).

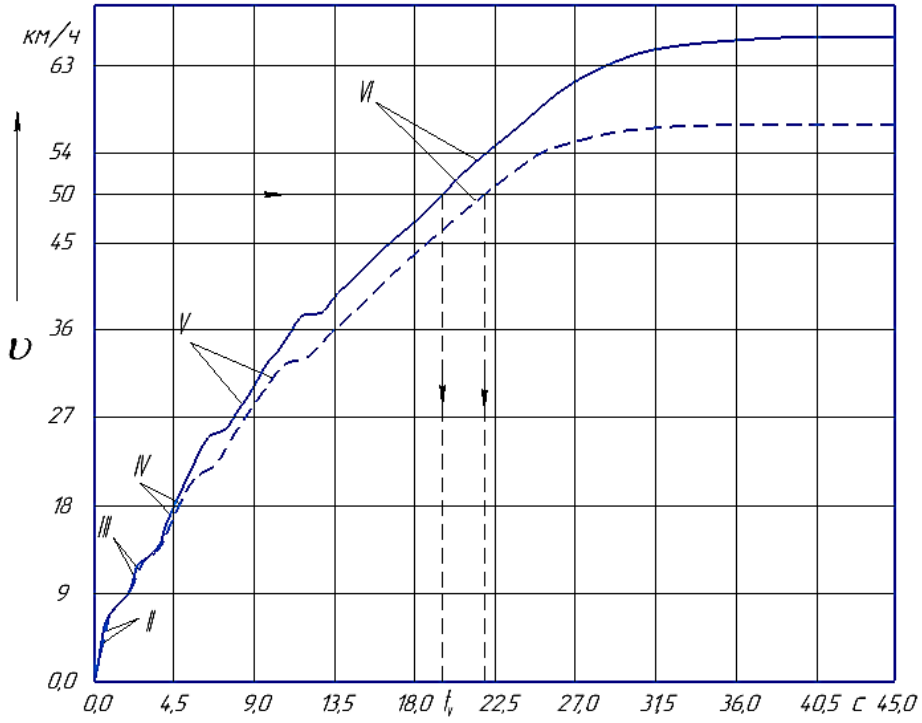


Рисунок 5 – График динамической характеристики грузового автомобиля

«Уравнение мощностного баланса автомобиля может быть получено из уравнения тягового баланса с почленным умножением его на скорость автомобиля.

В общем случае уравнение мощностного баланса имеет вид:

$$N_T = N_f + N_n + N_в + N_u, \quad (26)$$

где N_T – мощность, подводимая к колесам;

N_f – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению;

N_n – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъема;

$N_в$ – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздушной среды;

N_u – мощность, затрачиваемая на разгон автомобиля» [25].

«Величина мощности, подводимой к колесам, равна:

$$N_T = N_e \cdot \eta_{mp}, \quad (27)$$

где N_e – текущее значение мощности в расчетной точке внешней скоростной характеристики двигателя» [25].

«Мощность, затрачиваемая на преодоление суммарного сопротивления дороги, рассчитывается по формуле:

$$N_д = G_a \cdot \psi \cdot V_a \cdot 10^{-3}, \quad (28)$$

Зависимость мощности от скорости автомобиля представляет собой луч, выходящий из начала координат. Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздушной среды, определяется по выражению:

$$N_в = k_в \cdot F \cdot V_a^3 \cdot 10^{-3}. \quad (29)$$

Мощность, затрачиваемая на разгон автомобиля, может быть рассчитана, как замыкающий член мощностного баланса:

$$N_u = N_T - N_\partial - N_в» [25]. \quad (30)$$

Проведение расчетов проводятся в программной среде Microsoft Excel, а построение графиков в Компас-3D (рисунок 6).

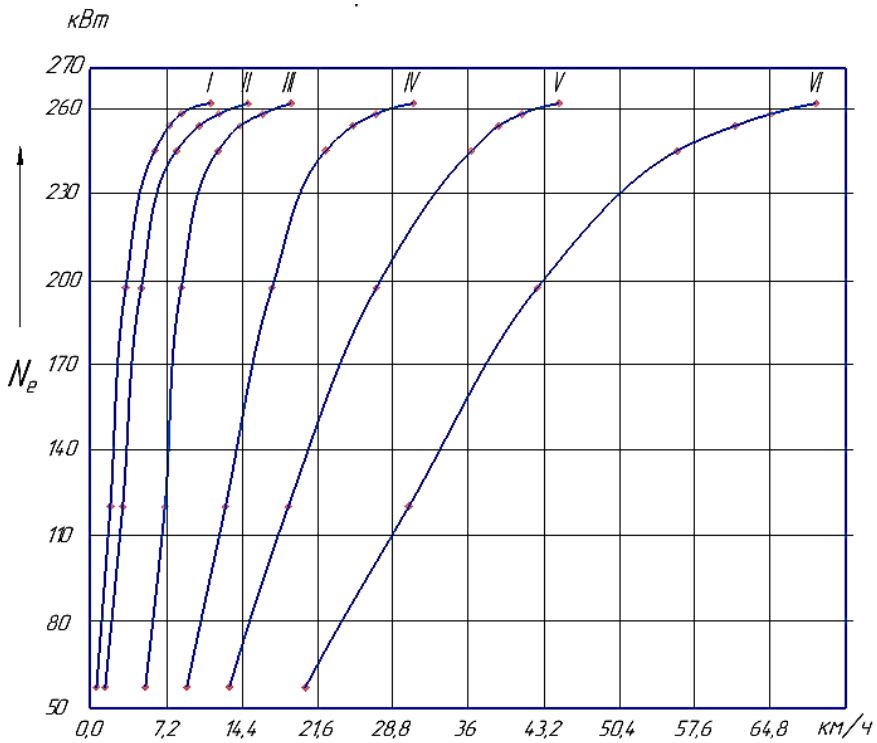


Рисунок 6 – График динамической характеристики грузового автомобиля

«Характеристика топливной экономичности представляет собой зависимость путевого расхода топлива в литрах на 100 км пробега автомобиля от скорости движения в заданных дорожных условиях. Эта характеристика строится только для высшей передачи переднего хода и для трех вариантов дорожных условий, характеризуемых значениями суммарного коэффициента сопротивления дороги.

Путевой расход топлива рассчитывается по формуле:

$$Q_s = \frac{g_{e\,\min} \cdot k_\omega \cdot k_u \cdot (N_\partial + N_в)}{36 \cdot V_a \cdot \rho_T \cdot \eta_{mp}}, \quad (31)$$

где $g_{e\,\min}$ – минимальный удельный эффективный расход топлива двигателем, г/(кВт ч);

k_ω – коэффициент, учитывающий изменение удельного эффективного расхода топлива от скоростного режима двигателя;

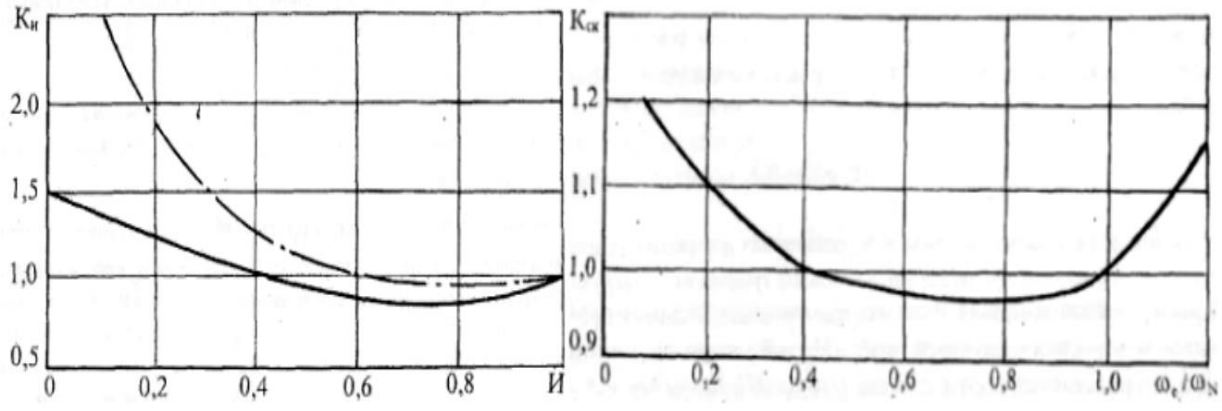
k_u – коэффициент, учитывающий изменение удельного эффективного расхода топлива от нагрузочного режима двигателя;

ρ_T – плотность топлива, кг/дм^3 (кг/л)» [25].

«Относительная нагрузка определяется по формуле:

$$U = \frac{N_\partial + N_в}{N_e \cdot \eta_{mp}}. \quad (32)$$

Значения поправочных коэффициентов k_ω и k_ω могут быть определены в соответствии с графиками (рисунок 7).



а) б)

а – изменение коэффициента, учитывающего изменение удельного эффективного расхода топлива от нагрузочного режима двигателя; б – изменение коэффициента, учитывающего удельного эффективного расхода топлива от скоростного режима двигателя

Рисунок 7 – Графики зависимости значения коэффициентов для определения топливной экономичности автомобиля

Предельный для данной скорости значения расхода топлива в предположении, что двигатель работает по внешней скоростной характеристике определяется по формуле:

$$Q'_s = \frac{1{,}11 \cdot g_{e\,\min} \cdot k_\omega \cdot N_e}{36 \cdot V_a \cdot \rho_T} \text{» [25].} \qquad (33)$$

Для удобства все вычисления производились в программной среде Microsoft Excel, а уже после этого производилось построение графиков тягово-динамических характеристик в Компас-3D (рисунок 8).

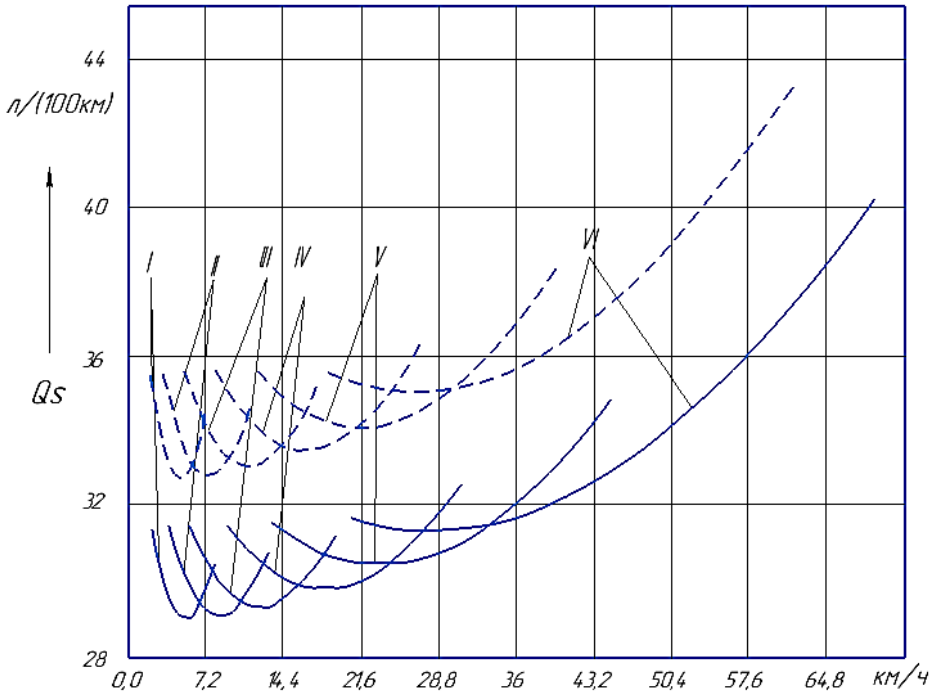


Рисунок 8 – График динамической характеристики грузового автомобиля

В данном разделе произведен тягово-динамический расчет, построена внешняя скоростная характеристика, проведен расчет передаточных чисел трансмиссии, определены тяговые, динамические характеристики, а также характеристики разгона автомобиля.

Определены топливо-экономические параметры автомобиля.

3 Конструкторская часть

3.1 Конструкция и принцип действия разрабатываемых механизмов и систем

«Подвеска среднего и заднего мостов балансирного типа (рисунок 9) состоит из четырех пневмобаллонов 1 и двух рессор 4, четырех амортизаторов6 и шести реактивных штанг 7. Пневмобаллон крепится болтовым соединением к опоре пневмобаллона 1, которая в свою очередь приварена к лонжерону рамы, сверху и к опоре снизу 5, выполненной заодно с балкой моста. Пневмобаллон состоит из верхней 13 и нижней12 крышек, резинового рукава 15 и буфера сжатия 14.

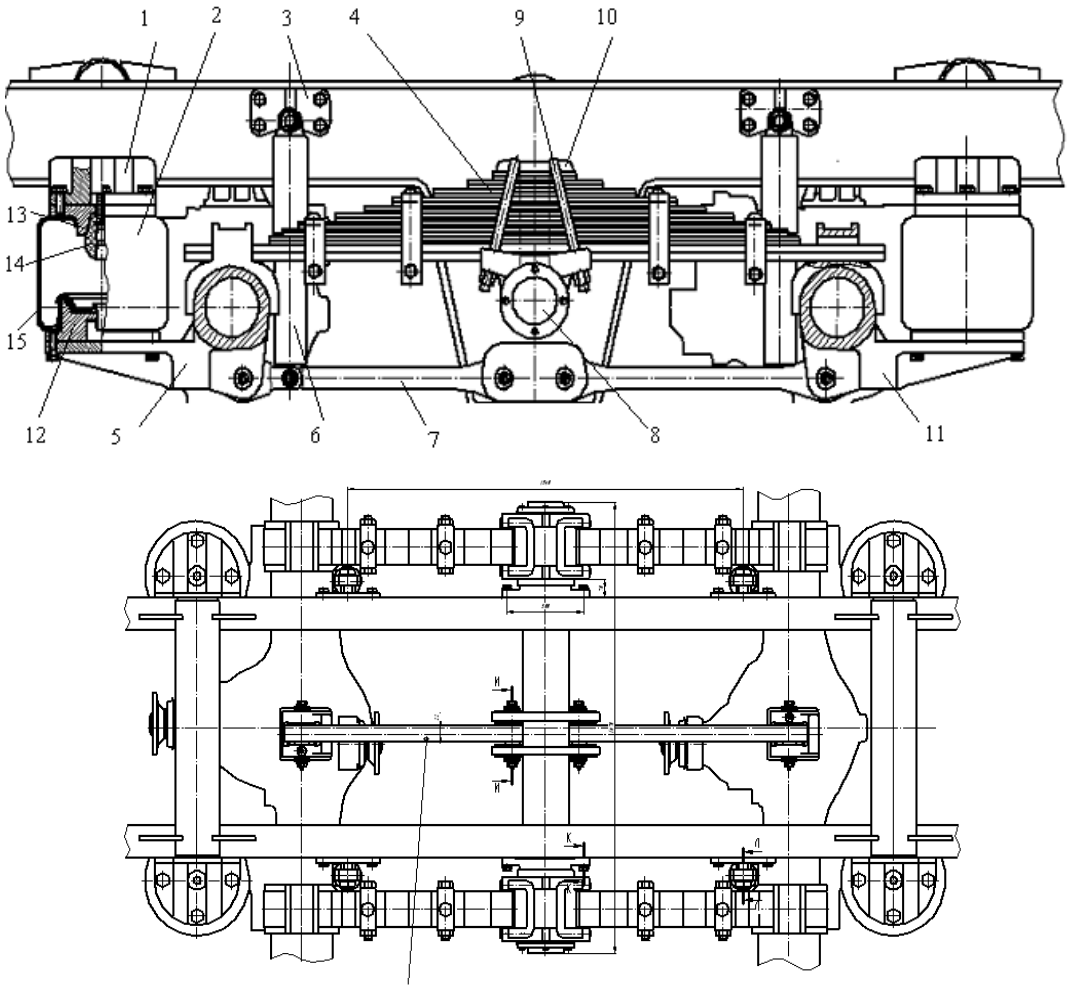


Рисунок 9 – Установка подвески среднего и заднего мостов

Рессора собрана из одиннадцати листов разной длины и радиуса кривизны. Все листы собраны на опоре рессоры 8 и стянуты с помощью стремянок 9 и накладки 10. Опора может проворачиваться вокруг своей оси за счет посадки ее на подшипниках. Ось опоры рессоры закреплена к лонжерону рамы восемью болтами. Амортизатор 6 крепиться с одной стороны к кронштейну 3, с другой - к балке моста. Кронштейн четырьмя болтами прикручен к раме. Направляющий аппарат состоит из четырех нижних 7 и двух верхних штанг 16, которые шарнирно соединены с рамой автомобиля» [1].

«Пневмобаллон работает следующим образом. При ходе сжатия поршень перемещается и сжимает газ в верхней полости за счет увеличения давления газа над поршнем. Ход сжатия упруго ограничивается. Кроме этого, ход сжатия ограничивается при помощи ограничительных буферов, установленных на мосту. При ходе отбоя поршень перемещается в обратном направлении, при этом давление газа над поршнем уменьшается, а под поршнем увеличивается. За счет увеличения противодавления упруго ограничивается ход отбоя.

Для гашения колебаний, возникающих при движении автомобиля по неровной дороге, пневмогидравлический цилиндр имеет гидравлический амортизатор, расположенный в цилиндре противодавления. Принцип действия гидравлического амортизатора заключается в том, что при колебаниях автомобиля масло дросселируется одной полости в другую через дроссельные отверстия.

Реактивные штанги всех мостов шарнирно соединены с лонжеронами рам и балками мостов при помощи пальцев с шарнирными сферическими подшипниками» [8].

Спецификации на общий вид автомобиля-самосвала и его заднюю подвеску представлены в Приложении А (рисунки А.1, А.2, А.3).

«Смазка всех шарнирных подшипников производится через масленки, ввернутые в торцы пальцев или специальные болты в торцах пальцев.

Шарнирные подшипники в цилиндрах подвески и штангах уплотнены специальными сальниками. При нагнетании смазки необходимо следить за тем, чтобы сальники не выпрессовывались из посадочных гнезд» [11].

«Подвеска работает следующим образом. При наезде на препятствие одного из мостов тележки происходит мгновенное нагружение пневмобаллонов этого моста и рессор. Под действием вертикальной нагрузки пневмобаллоны выталкивают часть воздуха через трубопроводы в цилиндры другого моста тележки, тем самым происходит растягивание баллонов и выравнивание нагрузки между мостами. При этом рессора проворачивается относительно своего центра вращения. При изменении режима движения и массы автомобиля, изменяется давление в полости пневмобаллона и соответственно производится регулирование коэффициента жесткости упругих элементов» [18].

«При постановке задач функционального проектирования подвески автомобиля (как и любого механизма автомобиля) необходимо определить исходные данные, управляемые (определяемые) параметры, критерии оценки и ограничения, накладываемые на управляемые параметры.

1) В качестве исходных данных для расчета используются:

- полная масса автомобиля,
- масса порожнего автомобиля,
- база автомобиля,
- координаты центра масс.

2) Управляемыми параметрами при проектировании системы управления являются:

- коэффициент жесткости упругих элементов;
- коэффициент сопротивления диссипативных элементов;
- коэффициент жесткости шин;
- коэффициент сопротивления шин.

3) Критерии оценки системы управления следующие:

- собственные частоты передней и задней частей автомобиля;

– вертикальные виброускорения;
– максимальные ускорения;
– среднеквадратические ускорения.

4) Ограничения вводим:
– ход подвески;
– база тележки» [18].

Далее предлагается рассмотреть вопрос математического моделирования конструктивных элементов.

3.2 Математическое моделирование и определение конструктивных параметров механизмов

На основании проведенного анализа существующих конструкций выбирается комбинированная схема задней балансирной подвески.

На каждой оси устанавливается по два однотрубных амортизатора. Это связано с тем, что однотрубные амортизаторы имеют большую эффективность по сравнению с двухтрубными. Направляющими элементами являются рессоры и шесть продольных тяг.

Упругими элементами являются пневматический баллон и рессора.

«Рессора способна выполнять одновременно функции упругого и направляющего устройств подвески. Листовые рессоры просты в изготовлении, легкодоступны для ремонта и эксплуатации. Но в связи с большой разницей между порожним и автомобилем и полной массой, для обеспечения высоких показателей плавности хода необходимо изменять коэффициент жесткости в широком диапазоне. С этой целью совместно с рессорой будет использоваться пневматический упругий элемент, по два на ось» [3].

«Пневматические упругие элементы (далее – ПУЭ) имеют нелинейную характеристику, которую можно изменять в широком диапазоне, небольшую массу, значительно большую долговечность по сравнению с металлическими

упругими элементами и позволяют регулировать высоту кузова автомобиля над полотном дороги при изменении нагрузки за счёт накачки (выпуска) в них воздуха. Рукавный ПУЭ представляет собой резинокордную оболочку, заполненную воздухом под давлением, и соединенный с ней поршень. При ходе сжатия поршень перемещается вверх, и воздух сжимается; при ходе отбоя поршень перемещается вниз, и воздух расширяется» [17].

«При определении параметров рукавного ПУЭ примем следующие допущения:

- поршень имеет цилиндрическую форму;
- длина образующей оболочки и ее диаметр не зависят от внутреннего давления;
- профиль свободной нижней части оболочки, не прилегающей к поршню, описывается другой окружности, касательной к профилю поршня и наружному диаметру оболочки.

При этих допущениях эффективный диаметр ПУЭ с изменением внутреннего давления остается постоянным» [11].

«Порядок определения параметров и конструктивных размеров рукавного ПУЭ с пневматическим регулированием:

1) определяем статическую нагрузку на ПУЭ при груженом автомобиле по формуле:

$$F_{y.cm} = \frac{m_{П} \cdot g \cdot l_{a1}}{l_{a1} + l_{a2}} = 40220 \text{ Н}, \quad (34)$$

где $m_{П}$ – подрессоренная масса груженого автомобиля, приходящаяся на ПУЭ» [17].

2) выбирает ПУЭ в соответствии со статической нагрузкой (определить давление воздуха p_0, эффективный диаметр d_3 и наружный диаметр D). Если статическая нагрузка не совпадает, то принимают размеры d_3 и D ближайшего по статической нагрузке типоразмер ПУЭ и уточняют давление

воздуха в нем p_0 из выражения (35), подставив в него значение $A_э = \left(\pi \cdot d_э^{\,2}\right) / 4 = 0{,}08$.

Если значение $p_0 > 7 \cdot 10^5$ Па, то принимают p_0 равное $6 \cdot 10^5$ Па и определяют d_3 из этого же выражения. После определения p_0, d_3 и D находят диаметр поршня по формуле

$$d = 2 \cdot d_э - D = 2 \cdot 0{,}32 - 0{,}4 = 0{,}024 \text{ м}. \quad (35)$$

Для обеспечения долговечности оболочки необходимо соблюдать условие $0{,}06 < (D \sim d) < 0{,}12$. Если это условие не соблюдается, следует выбрать другой ПУЭ большей грузоподъемности.

3) «определяем высоту столба воздуха в ПУЭ из выражения:

$$h = \frac{n \cdot g \cdot p_0}{4 \cdot \pi^2 \cdot f_0^{\,2} \cdot (p_0 - p_a)} = 0{,}259 \text{ м}, \quad (36)$$

где n – показатель политропы, принимаем равным 1,25,

p_a – нормальное атмосферное давление, равно 10^5 Па.

f_0 – частотой собственных колебаний, равна 1,3» [17].

4) «определяем максимальный ход сжатия ПУЭ из выражения:

$$\Delta_{у.сж} = \frac{p_0 \cdot \left[\frac{h}{h - \Delta_{у.сж}}\right]^n - p_a}{p_0 - p_a} - \kappa_{пс} = 0{,}099 \text{ м}. \quad (37)$$

5) вычисляем энергоемкость ПУЭ на ходе сжатия по формуле:

$$E_{у.сж} = \left\{ \frac{h}{h-1} \cdot \left[\left(\frac{h}{h - \Delta_{у.сж}} \right)^{n-1} - 1 \right] - \Delta_{у.сж} \right\} = 1{,}64 \cdot 10^3 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (38)$$

6) определяем максимальный ход отбоя ПУЭ из выражения:

$$E_{у.отб} = \left\{ \frac{h}{h-1} \cdot \left[\left(\frac{h}{h - \Delta_{у.отб}} \right)^{n-1} - 1 \right] - \Delta_{у.отб} \right\}. \quad (39)$$

Подставляя в него вместо $E_{у.отб}$ приблизительно равное ей значение $E_{у.сж}$ получаем, что $\Delta_{у.отб} = 0{,}095$ м.

7) находим полный ход ПУЭ по формуле:

$$\Delta_{у.п} = \Delta_{у.сж} + \left| \Delta_{у.отб} \right| = 0{,}195 \text{ м}. \quad (40)$$

8) определяем статическую нагрузку на ПУЭ при негруженом автомобиле по формуле:

$$F_{у.ст} = \frac{m_{П} \cdot g \cdot l_{a1}}{l_{a1} + l_{a2}} = 39{,}24 \text{ Н}. \quad (41)$$

где $m_п$ – подрессоренная масса негруженого автомобиля, приходящаяся на ПУЭ» [17].

9) определяем давление воздуха в ПУЭ p_0^* при статической нагрузке $F_{у.ст}^*$ из выражения:

$$p_0 = \frac{F_{у.ст}}{A_э} + p_a = 100500 \text{ Па}. \quad (42)$$

10) определяем коэффициент поглощающей способности ПУЭ для негруженого автомобиля по формуле:

$$k^*_{пс} = \frac{p_0 \cdot \left[\frac{h}{h - \Delta_{у.сж}}\right]^n - p_a}{p_0^* - p_a} = 172{,}6. \quad (43)$$

11) определяем коэффициенты жесткости ПУЭ в положении статического равновесия для груженого и негруженого автомобилей соответственно по формулам:

$$c_{y0} = \frac{n \cdot p_0 \cdot A_э}{h} = 2{,}331 \cdot 10^5 \text{ Н/м}, \quad (44)$$

$$c^*_{y0} = \frac{n \cdot p^*_0 \cdot A_э}{h} = 3{,}903 \cdot 10^4 \text{ Н/м}. \quad (45)$$

12) определяем частоту собственных колебаний подрессоренной массы при нагрузке $F_{\text{у.ст}}^*$ по формуле:

$$f^*_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{c^*_{y0} \cdot g}{F^*_{у.ст}}} = 15 \text{ Гц}. \quad (46)$$

13) находим коэффициент изохронности колебаний по формуле:

$$\lambda = \sqrt{\frac{p^*_0}{p_0} \cdot \frac{p_0 - p_a}{p^*_0 - p_a}} = 13{,}1. \quad (47)$$

14) построим характеристики ПУЭ при статических нагрузках $F_{\text{у.ст}}$ и $F_{\text{у.ст}}^*$ соответственно по уравнениям

$$F_y = \left[p_0 \cdot \left[\frac{h}{h - \Delta_y} \right]^n - p_a \right] \cdot A_э , \tag{48}$$

$$F^*_y = \left[p_0^* \left[\frac{h}{h - \Delta^*_y} \right]^n - p_a \right] A_э . \tag{49}$$

Характеристики в рабочем диапазоне ходов ПУЭ показаны на рисунке 10. Так как при изменении статической нагрузки высота ПУЭ остается постоянной, то при построении характеристик для статических нагрузок нагрузках $F_{y.ст}$ и $F_{y.ст}^*$ перемещения поршня Δ_y и Δ^*_y отсчитывают от одного начала отсчета 0.

«Упругие элементы подвески автомобиля служат для защиты водителя, пассажиров, грузов и элементов конструкции от вибрационных и ударных воздействий неровностей дороги. От степени совершенства упругих элементов подвески в значительной мере зависят виброзащитные свойства автомобиля» [21].

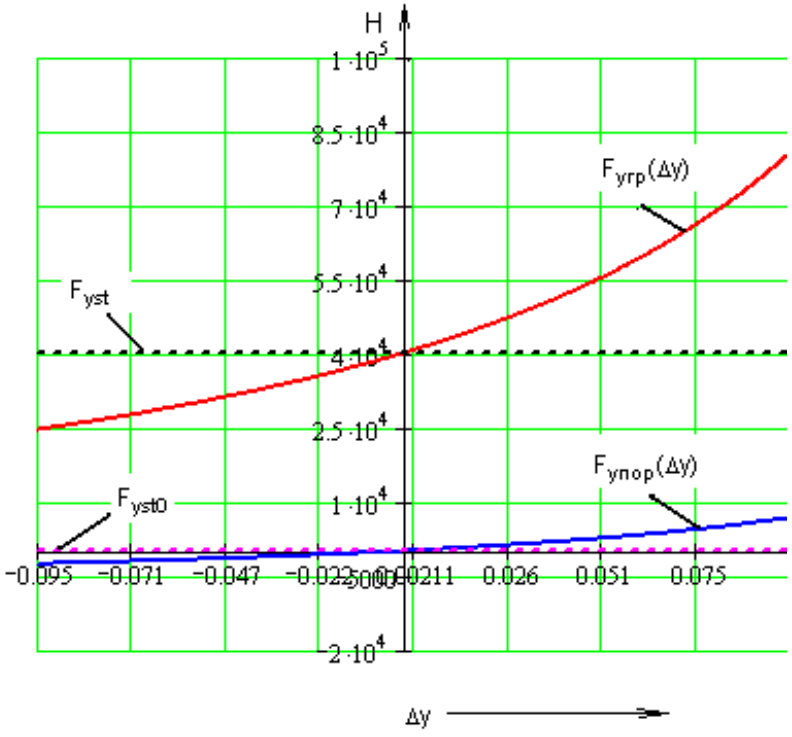


Рисунок 10 – Характеристики ПУЭ заднего моста

В качестве упругого элемента подвески применяем пневматический элемент рукавного типа.

Принципиальная схема рукавного пневматического упругого элемента (ПУЭ) показана на рисунке 11.

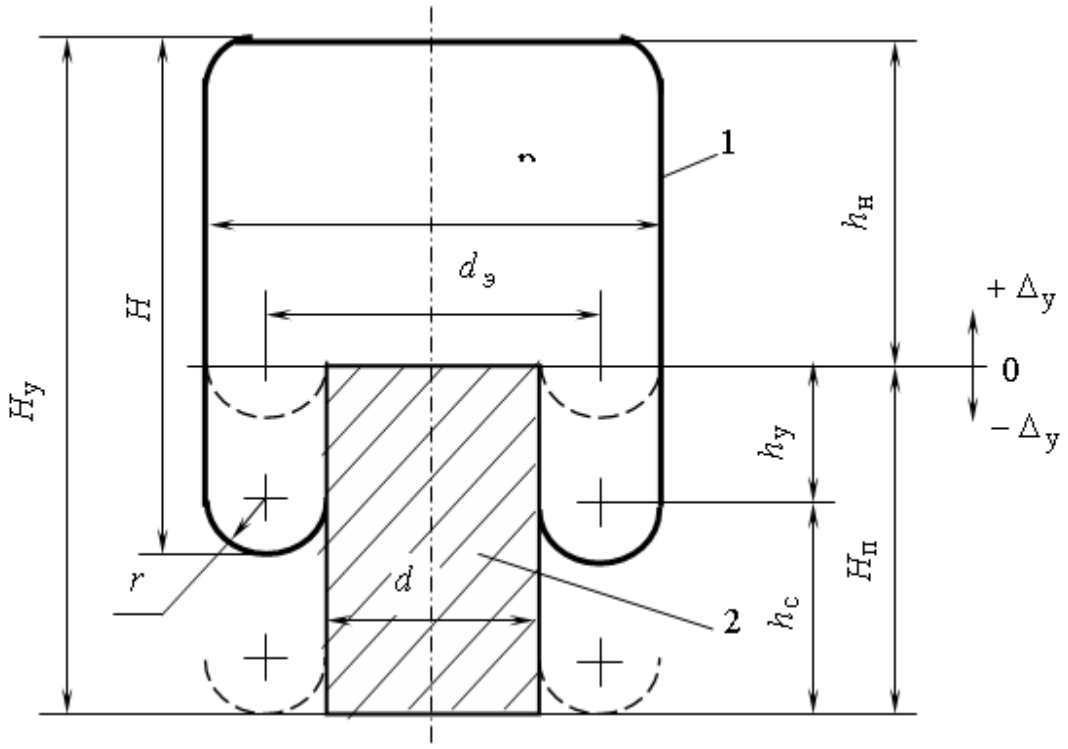


Рисунок 11 – Принципиальная схема рукавного пневматического упругого элемента (ПУЭ)

«Рукавный ПУЭ крепится одной своей стороной к лонжерону рамы, а второй (поршнем) к мосту. ПУЭ такого типа получили широкое применение. За счет регулирования давления в пневмоэлементах появляется возможность создания адаптивной системы подрессоривания» [17].

Определяем основные конструктивные размеры ПУЭ в начальном положении

«Из рисунка 11 очевидна следующая зависимость:

$$V_0 = \frac{\pi \cdot D^2 \cdot h_н}{4} + \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot h_у}{4} + \frac{\pi^2 \cdot r^2 \cdot d_э}{2}, \qquad (50)$$

где $h_н$ – расстояние на высоте от верхней части оболочки до днища поршня в начальном положении;

r – радиус окружности свободной нижней части оболочки, равен 0,04 м;

$h_у$ – свес оболочки в начальном положении, равен 0,076 м» [16].

«Для исключения возможности повреждения оболочки поршнем при максимальном ходе сжатия до ограничителя $\Delta_{у.сж}$ необходимо обеспечить выполнение условия $\Delta_{у.сж} < h_н$.

Затем находят остальные конструктивные размеры ПУЭ в начальном положении:

– свободную длину поршня:

$$h_c = \Delta_{у.сж} / 2 + r = 0{,}09 \text{ м}, \quad (51)$$

– высоту поршня:

$$H_П = h_c + h_у = 0{,}097 \text{ м}, \quad (52)$$

– высоту оболочки:

$$H = h_н + h_у + r = 0{,}281 \text{ м}. \quad (53)$$

После определения основных параметров и конструктивных размеров начинается конструирование ПУЗ, в процессе которого некоторые параметры и размеры могут корректироваться в небольших пределах с учетом принимаемых конструктивных решений» [17].

На рисунке 12 представлен пневматический баллон.

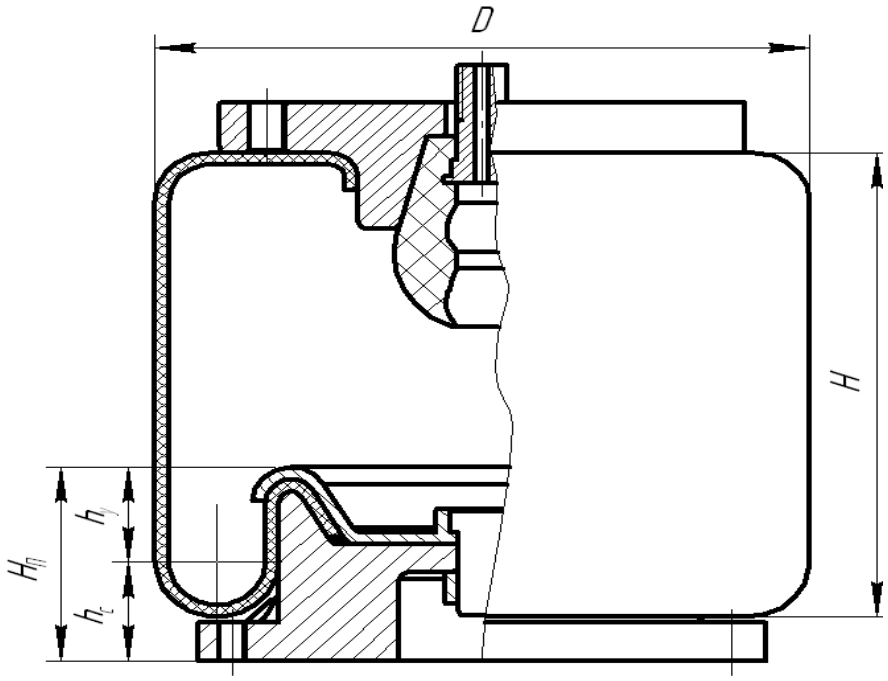


Рисунок 12 – Пневматический баллон

При проведении анализа были получены характеристики вибронагруженности человека, АЧХ перемещений и ускорений человека, подрессоренной и неподрессоренной частей автомобиля, значения ускорений. Результаты функционального проектирования приведены в графической части.

3.3 Оценки надежности и долговечности основных деталей

«Анализ крышки пневмобаллона и штанги на прочность и жесткость произвели в программном продукте SolidWorks (рисунки 13-18), осуществляющем параметрическое твердотельное моделирование машиностроительных конструкций и прикладным пакетом с методом конечных элементов CosmosWorks 6.0. В результате были построены трехмерные модели крышки пневмобаллона и штанги подвески с соответствующими значения показателей физических свойств. После построения трехмерной модели элементов было проведено разбиение

крышки пневмобаллона и штанги подвески на дискретные элементы после чего модели стали готовы для проведения анализа нагруженности» [24].

Рассмотрим результаты анализа моделей.

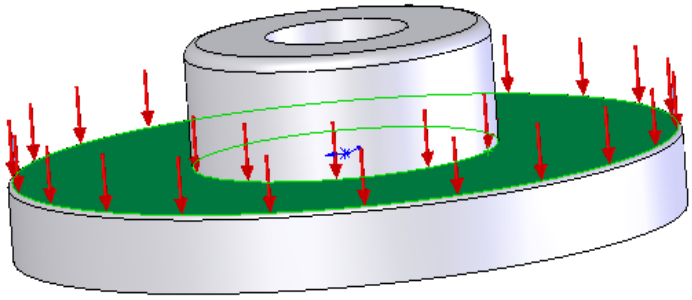


Рисунок 13 – Объемная модель крышки пневмобаллона

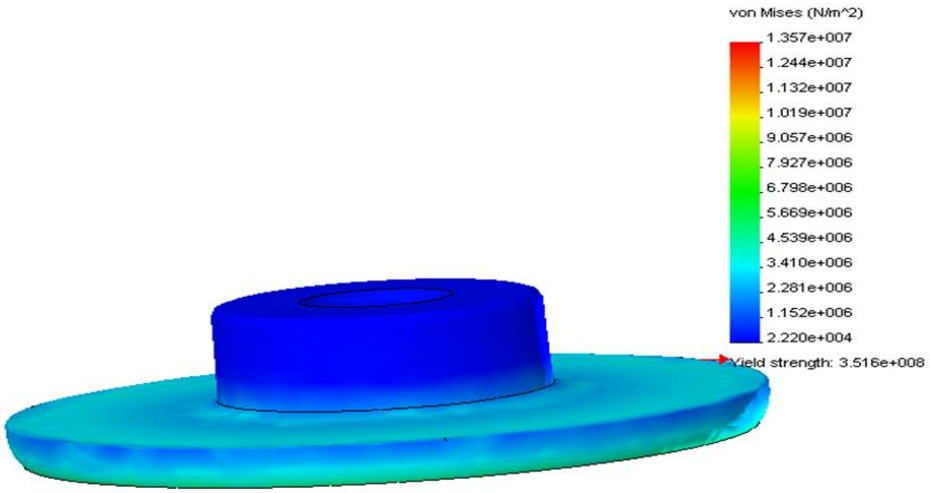


Рисунок 14 – Напряжение, действующее на крышку

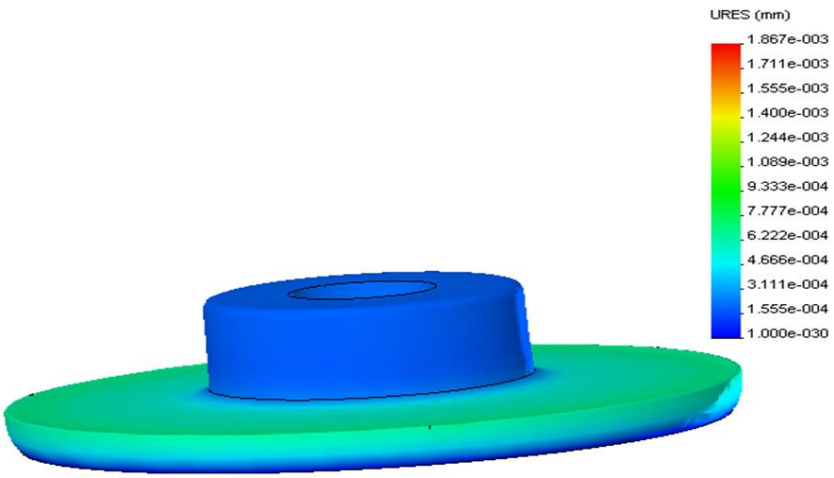


Рисунок 15 – Деформация на крышке

Далее проводится анализ жесткости и прочности штанги с помощью программного обеспечения «COSMOSWorks».

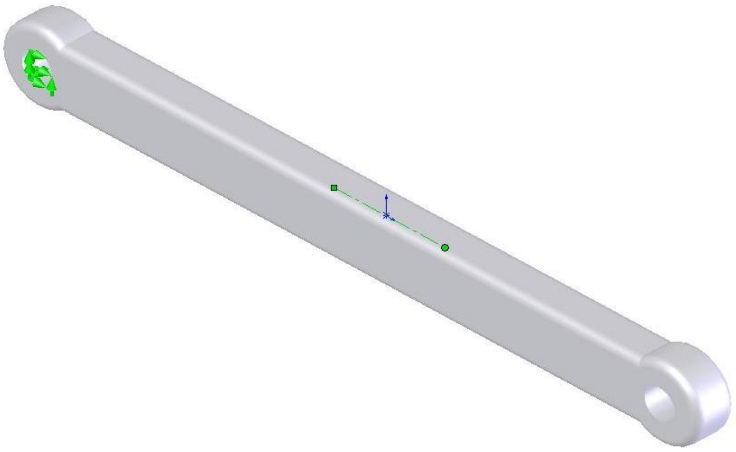


Рисунок 16 – Объемная модель штанги

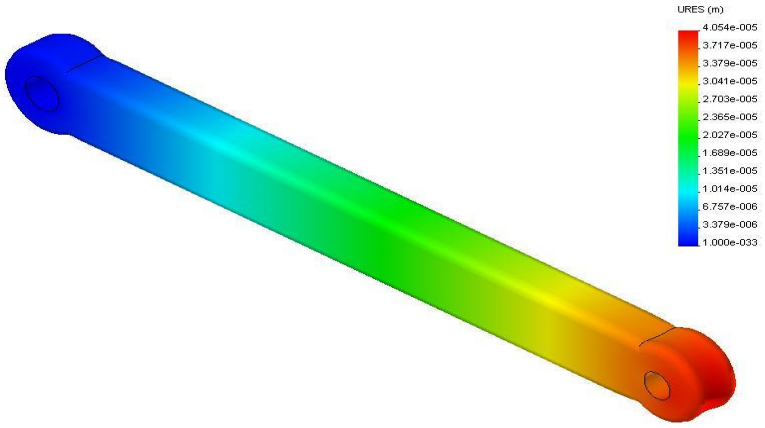


Рисунок 17 – Напряжение, действующее на штангу

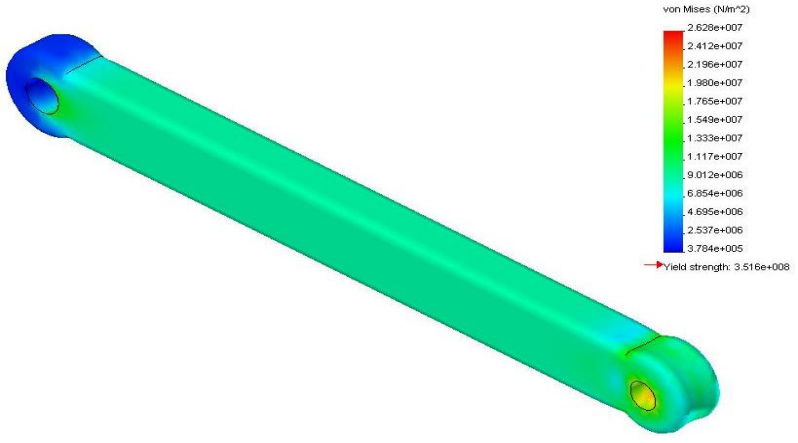


Рисунок 18 – Деформация на штанге

Допускаемые напряжения сжатия 650 МПа, допускаемый прогиб 0,2 мм.

«Коэффициент запаса прочности определим по следующему выражению:

$$n = \frac{K_{\varepsilon T}\sigma_B}{\sigma_{ИЗ}}, \quad (54)$$

где $K_{\varepsilon T}$ – коэффициент, учитывающий влияние абсолютных размеров 0,85» [23].

$$n = \frac{0{,}85 \cdot 650 \cdot 10^6}{39 \cdot 10^6} = 14.$$

Проанализировав результаты расчетов в «COSMOSWorks» можно сделать вывод, крышка удовлетворяет пределу прочности и текучести, прогибы и перекосы также являются меньше допускаемых.

Выводы по разделу анализа технических аспектов проектирования подвески карьерного самосвала.

В техническом разделе работы представлены ключевые аспекты проектирования и расчета подвески для тяжелонагруженных автомобилей-самосвалов с колесной формулой 6×6. Проведен подробный обзор различных конструктивных решений подвесок, применяемых в подобной технике, с акцентом на их сильные стороны и возможные ограничения.

Среди рассмотренных видов конструкций выделяются традиционные металлические элементы (листовые рессоры, винтовые пружины, торсионы) и прогрессивные гибридные системы, включающие в себя пневматические модули и демпфирующие компоненты. Каждое из предложенных решений подверглось детальному сравнению по таким критериям, как стоимость производства, удобство технического обслуживания, надежность в долгосрочной перспективе и степень влияния на комфортабельность

вождения.

Отдельное внимание уделено расчетам основных конструктивных элементов подвески, выполняемым согласно современным методикам инженерного анализа. Расчеты охватывают такие важные параметры, как прочность материала, устойчивость к усталости металла, распределение напряжений внутри конструкции и оценку возможного ресурса изделий.

Также подробно изложены основы математического моделирования процессов, происходящих в подвеске автомобиля. Приведены данные расчетов, выполненные с использованием мощного инструмента компьютерного инжиниринга – программы SolidWorks Simulation, который позволил точно определить критические области напряжения и прогибов в деталях подвески, выявить потенциальные слабые места и предложить рекомендации по улучшению конструкции.

Заключительная часть раздела посвящена оценке надежности и долговечности разработанной конструкции подвески, проведённой с применением методов виртуального тестирования и расчётов, полученных с помощью программы SolidWorks. Выводы подтверждают обоснованность выбранного подхода и демонстрируют достаточный запас прочности для надежной эксплуатации изделия в течение длительного периода времени.

4 Технологический раздел

«Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов» [23].

В ходе данного процесса осуществляется:

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

Все операции выполняются в соответствии с:

- техническими спецификациями производителя,
- нормативными требованиями безопасности,
- параметрами качества сборки,
- производственными стандартами предприятия.

Ключевыми характеристиками процесса являются:

- четкая последовательность операций,
- контроль на каждом этапе сборки,
- соблюдение технологических нормативов,
- обеспечение заданных эксплуатационных качеств конечного продукта.

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

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

- конструктивные особенности: сложность и количество соединяемых узлов; степень унификации деталей; применение модульных принципов сборки;

– технологические аспекты: тип организации производства (конвейерная/позиционная сборка); степень механизации и автоматизации процессов; используемое оборудование и оснастка; требования к точности соединений;
– человеческий фактор: квалификация рабочих; организация рабочих мест; система контроля качества; применение нормативов времени.

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

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

4.1 Выбор рациональной организации технологии сборки

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

Основные принципы рациональной организации сборки:

– разделение сборки на узлы и подузлы;
– сборка сложных изделий разбивается на отдельные узлы, которые собираются параллельно, это ускоряет процесс и позволяет специализировать рабочие места;
– поточный метод сборки: организация конвейерных линий с чётким тактом (ритмом) работы. Каждая операция выполняется за фиксированное время на отдельной рабочей позиции;

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

Методы оптимизации сборки:

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

Учитывая ограниченный спрос на подвеску самосвала с колесной формулой 6×6 наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит:

- минимизировать издержки за счёт гибкости производства,
- избежать избыточных запасов комплектующих,

– адаптировать процесс под индивидуальные требования заказчиков.

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

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

– узловая сборка – формирование отдельных компонентов конструкции;

– общая сборка – компоновка готовых узлов в конечное изделие.

Работы выполняются специализированными бригадами, что обеспечивает:

– гибкость производственного процесса,

– эффективное использование квалификации персонала,

– возможность параллельного выполнения операций.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_Д = \frac{F_Д \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (55)$$

где $F_Д$ – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным 2070 ч. для стационарной сборки на необорудованных стендах;

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 100 шт.

$$T_L = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{100} = 1242 \text{ ч.}$$

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства» [14].

«После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

– графическую схему последовательности операций,

– детальное описание всех сборочных этапов» [18].

Данный подход обеспечивает:

– четкую стандартизацию производственных этапов,

– контроль трудоемкости операций,

– минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки подвески самосвала с колесной формулой 6×6 приведена в таблице 6.

Таблица 6 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки подвески самосвала

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
Осмотреть раму самосвала на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, коррозии, деформаций. Допустимые отклонения по геометрии рамы – не более 2 мм	10
Взять амортизатор (4 шт.)	Соответствие амортизаторов каталожному номеру. Отсутствие утечек масла, повреждений штока	4
«Осмотреть амортизатор на наличие повреждений и дефектов	Проверить герметичность, состояние штока и крепежных элементов.	4
Взять болт М30-6g×50 UJCN 7808-70 (4 шт.), шайбу 32 65Г ГОСТ 6402-70 (8 шт.), гайку М30-6Н.22 ОСТ 98-074-72 (8 шт.)	Болты и гайки должны соответствовать ГОСТ. Резьба без повреждений	1
Взять мост задний при помощи грузоподъемного приспособления	Использовать сертифицированные грузоподъемные приспособления. Проверить балансировку при подъеме	3
Осмотреть мост задний на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, деформаций. Состояние шестерен и подшипников	5
Установить мост задний на раму	Точность позиционирования по осям (±1 мм). Затяжка болтов моментом 300 Н·м	30
Взять мост средний при помощи грузоподъемного приспособления	Контроль веса и балансировки	3
Осмотреть мост средний на наличие повреждений и дефектов	Проверить состояние дифференциала и крепежных элементов	5
Установить мост средний на раму	Выравнивание относительно заднего моста. Затяжка болтов моментом 300 Н·м	30
Установить амортизатор на раму, мост задний, мост средний при помощи болтов М30-6g×50 UJCN 7808-70, шайб 32 65Г ГОСТ 6402-70, гаек М30-6Н.22 ОСТ 98-074-72	Соосность креплений. Затяжка гаек моментом 150 Н·м	8» [8].

Продолжение таблицы 6

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Взять пневмобаллон (4 шт.)	Проверить отсутствие порезов, трещин. Соответствие давлению 8 бар	4
Осмотреть пневмобаллон на наличие повреждений и дефектов	Герметичность, состояние ниппеля	8
Взять болт М20-6g×50 ГОСТ 7808-70 (16 шт.), шайбу 22 65Г ГОСТ 6402-70 (16 шт.)	Резьба без повреждений. Соответствие ГОСТ	3
Установить пневмобаллон на предусмотренные места крепления на раме, мосту заднем и среднем при помощи болтов М20-6g×50 ГОСТ 7808-70, шайбу 22 65Г ГОСТ 6402-70	Равномерное распределение нагрузки. Затяжка болтов моментом 200 Н·м	25
Взять опору рессоры (2 шт.)	Отсутствие трещин, соответствие геометрии	2
Осмотреть опору рессоры на наличие повреждений и дефектов	Проверить износ посадочных мест	2
Взять рессоры при помощи грузоподъемного приспособления	Использовать стропы с защитными накладками	4
Осмотреть рессоры на наличие повреждений и дефектов	Отсутствие трещин, коррозии листов	2
Взять ось балансира (2 шт.)	Соответствие чертежам. Отсутствие деформаций	3
Осмотреть ось балансира на наличие повреждений и дефектов	Проверить диаметр и состояние посадочных мест	2
Взять шайбу 48 65Г ГОСТ 6402-70 (2 шт.), шайбу С 48.31 ГОСТ 10450-78 (2 шт.), гайка М48-6Н.22 ОСТ 98-0743-72 (2 шт.), шайбу 12 65Г ГОСТ 6402-70 (4 шт.), болт М10-6g×50 (4 шт.)	Соответствие ГОСТ. Отсутствие дефектов	2
Установить ось балансира на раму при помощи шайб 48 65Г ГОСТ 6402-70, шайб С 48.31 ГОСТ 10450-78, гайка М48-6Н.22 ОСТ 98-0743-72, шайб 12 65Г ГОСТ 6402-70, болтов М10-6g×50	Затяжка гаек моментом 400 Н·м	10
Взять стремянку (4 шт.)	Отсутствие деформаций	2
Осмотреть стремянку на наличие повреждений и дефектов	Проверить состояние крепежных отверстий	2
Взять гайку М30 ГОСТ 15525-70 (8 шт.)	Соответствие ГОСТ. Резьба без повреждений	1
Установить рессоры на опору рессоры	Совмещение отверстий без перекосов	2
Установить стремянку на рессоры и ось балансира	Равномерная затяжка	6» [8].

Продолжение таблицы 6

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Закрутить гайку М30 ГОСТ 15525-70	Контроль момента затяжки (250 Н·м)	5
Взять буфер подвески (4 шт.)	Отсутствие трещин	2
Осмотреть буфер подвески на наличие повреждений и дефектов	Проверить резину на расслоение	2
Взять палец (4 шт.), кронштейн (2 шт.)	Соответствие размерам. Отсутствие деформаций	1
Установить буфер подвески при помощи пальцев и кронштейнов	Плавность хода буфера. Зазор не более 1 мм	8
Взять штангу подвески (6 шт.)	Отсутствие изгибов, трещин	2
Осмотреть штангу подвески на наличие повреждений и дефектов	Проверить состояние втулок и крепежей. Контроль геометрии	6
Взять втулку (42 шт.)	Отсутствие износа, соответствие размерам	2
Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов	Проверить внутренний диаметр и отсутствие задиров	3
Взять втулку распорную (36 шт.)	Соответствие чертежам	2
Осмотреть втулку распорную на наличие повреждений и дефектов	Проверить толщину стенок	3
Взять палец (12 шт.)	Отсутствие коррозии, соответствие диаметру втулок	1
Осмотреть палец на наличие повреждений и дефектов	Проверить шероховатость поверхности	2
Взять болт М24-6g×50 ГОСТ 7808-70 (30 шт.), шайбу 24 65Г ГОСТ 6402-70 (30 шт.)	Резьба без повреждений. Соответствие ГОСТ	3
Установить штанги к кронштейну, заднему и среднему мостам при помощи втулок, втулок распорных, пальцев, болтов М24-6g×50 ГОСТ 7808-70, шайб 24 65Г ГОСТ 6402-70	Совмещение отверстий без перекосов. Затяжка болтов моментом 280 Н·	40
Взять масленку 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74 (14 шт.)	Герметичность, соответствие ГОСТ	2
Осмотреть масленку 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74 на наличие повреждений и дефектов	Проверить состояние резьбы и колпачка	3
Установить масленки 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74 в места предназначенные для крепления	Плотная посадка. Отсутствие перекосов	20
Проверить качество выполненных операций и при необходимости выполнить регулировку	Контроль затяжки всех крепежей, соответствие чертежам, плавность хода подвески	30» [8].
	Итого:	321

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

$$t_{оп}^{общ} = \sum t_{оп1} + t_{оп2} + ...t_{оп_n}. \quad (56)$$

Методика расчета основана на суммировании нормированного времени по всем позициям технологической карты с применением поправочных коэффициентов.

Полученные данные позволяют точно планировать производственные мощности и загрузку оборудования.

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{шт}^{общ} = t_{оп}^{общ} + t_{оп}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (57)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, принимаем равным 3%;

β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, принимаем равным 5%» [23].

$$t_{шт}^{общ} = 321 + 321 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 346,68 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки равна 346,68 мин.

4.2 Проектирование технологического процесса сборки подвески самосвала с колесной формулой 6×6

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 7.

Таблица 7 – Технологический процесс сборки подвески самосвала с колесной формулой 6×6

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
005	Сборочная	«1	Осмотреть раму самосвала на наличие повреждений и дефектов	Мостовой кран (грузоподъемность не менее 5 т), стропы текстильные (4 шт., нагрузка до 3 т), таль ручная (грузоподъемность 2 т), набор гаечных ключей (рожковые, накидные, торцевые). динамометрический ключ (диапазон 100–500 Н·м), молоток слесарный (вес 1 кг), зубило, напильник, шприц для смазки, штангенциркуль (точность 0,1 мм), стенд для сборки мостов, опорные подставки (для фиксации рамы), шаблоны для контроля геометрии подвески, лестница-стремянка (высота 2 м). смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-87), герметик анаэробный (для резьбовых соединений), ветошь техническая, растворитель	291
		2	Взять амортизатор (4 шт.)		
		3	Осмотреть амортизатор на наличие повреждений и дефектов		
		4	Взять болт М30-6g×50 UJCN 7808-70 (4 шт.), шайбу 32 65Г ГОСТ 6402-70 (8 шт.), гайку М30-6Н.22 ОСТ 98-074-72 (8 шт.)		
		5	Взять мост задний при помощи грузоподъемного приспособления		
		6	Осмотреть мост задний на наличие повреждений и дефектов		
		7	Установить мост задний на раму		
		8	Взять мост средний при помощи грузоподъемного приспособления		
		9	Осмотреть мост средний на наличие повреждений и дефектов		
		10	Установить мост средний на раму		
		11	Установить амортизатор на раму, мост задний, мост средний при помощи болтов М30-6g×50 UJCN 7808-70, шайб 32 65Г ГОСТ 6402-70, гаек М30-6Н.22 ОСТ 98-074-72» [3].		

Продолжение таблицы 7

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		12	«Взять пневмобаллон (4 шт.)	(для обезжиривания поверхностей)	
		13	Осмотреть пневмобаллон на наличие повреждений и дефектов		
		14	Взять болт М20-6g×50 ГОСТ 7808-70 (16 шт.), шайбу 22 65Г ГОСТ 6402-70 (16 шт.)		
		15	Установить пневмобаллон на предусмотренные места крепления на раме, мосту заднем и среднем при помощи болтов М20-6g×50 ГОСТ 7808-70, шайбу 22 65Г ГОСТ 6402-70		
		16	Взять опору рессоры (2 шт.)		
		17	Осмотреть опору рессоры на наличие повреждений и дефектов		
		18	Взять рессоры при помощи грузоподъемного приспособления		
		19	Осмотреть рессоры на наличие повреждений и дефектов		
		20	Взять ось балансира (2 шт.)		
		21	Осмотреть ось балансира на наличие повреждений и дефектов		
		22	Взять шайбу 48 65Г ГОСТ 6402-70 (2 шт.), шайбу С 48.31 ГОСТ 10450-78 (2 шт.), гайка М48-6Н.22 ОСТ 98-0743-72 (2 шт.), шайбу 12 65Г ГОСТ 6402-70 (4 шт.), болт М10-6g×50 (4 шт.)» [3].		

Продолжение таблицы 7

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		23	«Установить ось балансира на раму при помощи шайб 48 65Г ГОСТ 6402-70, шайб С 48.31 ГОСТ 10450-78, гайка М48-6Н.22 ОСТ 98-0743-72, шайб 12 65Г ГОСТ 6402-70, болтов М10-6g×50		
		24	Взять стремянку (4 шт.)		
		25	Осмотреть стремянку на наличие повреждений и дефектов		
		26	Взять гайку М30 ГОСТ 15525-70 (8 шт.)		
		27	Установить рессоры на опору рессоры		
		28	Установить стремянку на рессоры и ось балансира		
		29	Закрутить гайку М30 ГОСТ 15525-70		
		30	Взять буфер подвески (4 шт.)		
		31	Осмотреть буфер подвески на наличие повреждений и дефектов		
		32	Взять палец (4 шт.), кронштейн (2 шт.)		
		33	Установить буфер подвески при помощи пальцев и кронштейнов		
		34	Взять штангу подвески (6 шт.)		
		35	Осмотреть штангу подвески на наличие повреждений и дефектов		
		36	Взять втулку (42 шт.)		
		37	Осмотреть втулку на наличие повреждений и дефектов» [3].		

Продолжение таблицы 7

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Затрачиваемое время, мин.
		38	«Взять втулку распорную (36 шт.)		
		39	Осмотреть втулку распорную на наличие повреждений и дефектов		
		40	Взять палец (12 шт.)		
		41	Осмотреть палец на наличие повреждений и дефектов		
		42	Взять болт М24-6g×50 ГОСТ 7808-70 (30 шт.), шайбу 24 65Г ГОСТ 6402-70 (30 шт.)		
		43	Установить штанги к кронштейну, заднему и среднему мостам при помощи втулок, втулок распорных, пальцев, болтов М24-6g×50 ГОСТ 7808-70, шайб 24 65Г ГОСТ 6402-70		
		44	Взять масленку 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74 (14 шт.)		
		45	Осмотреть масленку 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74 на наличие повреждений и дефектов		
		46	Установить масленки 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74 в места предназначенные для крепления» [3].		

Дополнительные требования при сборке и испытаниях подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн.

Все детали перед сборкой должны быть очищены от загрязнений, обезжирены и проверены на соответствие чертежам.

Резьбовые соединения обработать смазкой Литол-24 (ГОСТ 21150-87).

Моменты затяжки резьбовых соединений:

- болты М30: 300 Н·м (крепление мостов);
- болты М24: 280 Н·м (крепление штанг);
- болты М20: 200 Н·м (крепление пневмобаллонов);
- гайки М48: 400 Н·м (крепление оси балансира).

Контроль момента затяжки обязателен с использованием динамометрического ключа.

Точность установки:

- отклонение положения мостов относительно рамы – не более ±1 мм;
- зазоры в соединениях (например, буфер подвески) – не более 1 мм;
- соосность креплений амортизаторов и штанг проверяется шаблонами.

Смазка и герметизация:

- все подвижные соединения (оси, пальцы, втулки) смазать перед установкой;
- резьбовые соединения, работающие под нагрузкой, обработать анаэробным герметиком.

Статические испытания:

- проверить затяжку всех резьбовых соединений после сборки;
- рама должна быть нагружена в соответствии с техническими условиями (имитация полной загрузки);
- контроль отсутствия деформаций и трещин в течение 30 минут под нагрузкой.

Динамические испытания:

- провести тестовый пробег (не менее 10 км) по дороге с разным покрытием (грунт, асфальт, бездорожье);
- контроль: отсутствие стуков и вибраций в подвеске; температура узлов (мосты, амортизаторы) не должна превышать 70°С; герметичность пневмобаллонов (падение давления не более 0,5 бар за час).

Финишный контроль: проверить геометрию подвески после испытаний (отклонения – не более 2 мм от нормы); убедиться в отсутствии подтеканий масла из амортизаторов и смазки из шарниров.

Технологическая схема сборки подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн представлена в графической части ВКР.

Выводы по разделу.

В данном разделе проведено всестороннее исследование и обоснована целесообразность избранного технологического процесса сборки подвески специализированного транспортного средства – полноприводного грузового автомобиля-самосвала с максимальной разрешенной массой 45 тонн.

На основании анализа современной практики производства аналогичной продукции и требований заказчика было принято решение о внедрении комплексного подхода к организации производственного цикла. В рамках обоснования осуществлено следующее:

Подробно проанализированы существующие производственные процессы сборки аналогов отечественных и зарубежных производителей.

- выполнены оценки необходимой квалификации персонала, потребности в оборудовании и ресурсах;
- определён перечень этапов технологического процесса, учтены риски возможных ошибок и разработаны меры их предотвращения.
- произведены расчётные мероприятия по определению трудоёмкости сборочных операций, разработана нормативная документация.

Итоги проделанного анализа позволили разработать уникальный проект технологического процесса сборки, учитывающий особенности конструкции автомобиля и предполагаемый объем выпуска. Данный процесс включает подробную последовательность действий, регламентирует применяемые инструменты и оборудование, устанавливает контрольные процедуры и критерии качества конечного продукта.

5 Безопасность и экологичность проекта

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

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

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

Структура отраслевых рисков:

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

В таблице 8 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 8 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

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

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

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

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

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

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

К мерам обеспечения безопасности относится:

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

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

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

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

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

5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 9).

Таблица 9 – Технологический паспорт технологического процесса сборки подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего работу	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
«Сборка подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн	1 Подготовка к сборке. 2 Сборка основных узлов подвески. 3 Монтаж вспомогательных элементов. 4 Контроль и испытания подвески	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда» [4].	Мостовой кран (грузоподъемность не менее 5 т), стропы текстильные (4 шт., нагрузка до 3 т), таль ручная (грузоподъемность 2 т), набор гаечных ключей (рожковые, накидные, торцевые). динамометрический ключ (диапазон 100–500 Н·м), молоток слесарный (вес 1 кг), зубило, напильник, шприц для смазки, штангенциркуль	Смазка Литол-24 (ГОСТ 21150-87), герметик анаэробный (для резьбовых соединений), ветошь техническая, растворитель (для обезжиривания поверхностей)

Продолжение таблицы 9

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего работу	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
			(точность 0,1 мм), стенд для сборки мостов, опорные подставки (для фиксации рамы), шаблоны для контроля геометрии подвески, лестница-стремянка (высота 2 м)	

Данный документ является обязательным требованием для:

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

Функциональное назначение технологического паспорта:

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

Преимущества оформления паспорта:

- упрощение процедур сертификации и аудита,
- снижение рисков производственного брака,
- повышение прозрачности технологических процессов,

– обеспечение соответствия международным стандартам (ISO, ГОСТ, ТР ТС).

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

5.2 Идентификация профессиональных рисков

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

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

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

– динамический контроль и совершенствование: регулярный аудит условий труда; анализ эффективности принятых мер; своевременная корректировка защитных мероприятий.

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

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

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

В представленной таблице 10 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса.

Таблица 10 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
«1 Подготовка к сборке. 2 Сборка основных узлов подвески. 3 Монтаж вспомогательных элементов. 4 Контроль и испытания подвески	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей трактора, навесного оборудования	Элементы конструкции базовой машины
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног» [10].
	«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины
	Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания

Продолжение таблицы 10

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [12]
	«Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [12].
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [12].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	«Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [12].
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию» [14].	

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

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

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

Технические решения:

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

Организационные мероприятия:

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

Средства индивидуальной защиты:

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

Инженерные разработки:

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

– звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

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

Особое внимание уделяется:

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

Реализация данных мер позволяет:

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

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

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

«Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

– применять нормативно-обоснованные меры,
– реализовывать адресные мероприятия,
– обеспечивать системный контроль» [11].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; – обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Повышенный уровень шума	Мониторинг здоровья работников: – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. Инструктаж по: – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противошумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. Техническая модернизация: плановый контроль уровня шума оборудования внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны);	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].

Продолжение таблицы 11

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

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	Техническая защита: – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. Профилактический контроль: – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов: – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования; – ведение электронного журнала технического состояния. Административный надзор: – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссионная инспекция, – автоматизированная система учета нарушений Медицинское сопровождение: – углубленные медосмотры для электротехперсонала: – проверка нервной системы; – контроль сердечно-сосудистых показателей, тесты на скорость	
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках). Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без	–

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	искусственных источников)	
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой	Оздоровительно-профилактические мероприятия: – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ; – правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащенности средствами комплексной и малой механизации; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27].	–
«Монотонность труда	– чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлеченности; – внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы; – регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня; использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда; – психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса;	–

Продолжение таблицы 11

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	– оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение). Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ).	

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

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

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

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

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

– проверки и обновления (регулярные тренировки, корректировка плана).

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 12).

Таблица 12 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

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

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

– первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);
– пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
– пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
– мотопомпы (переносные насосы для воды);
– «установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
– пожарные краны и рукава (в зданиях);
– пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные)» [1];

– приёмно-контрольные приборы (ПКП);
– системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
– средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);
– специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

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

– первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1 шт.;
– мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);
– стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

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

Цели разработки планов:

– предотвращение пожаров (профилактика нарушений);

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

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

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

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

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

План противопожарных мероприятий содержит:
– регулярные проверки (электропроводки, систем сигнализации);
– обучение персонала (инструктажи, тренировки);
– техническое обслуживание средств пожаротушения.

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

Разработка планов состоит из 5 этапов:
– анализ объекта (категория пожарной опасности, особенности здания);
– определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
– разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
– согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
– обучение персонала и проведение тренировок.

Разрабатываем планы соблюдения требований пожарной безопасности при сборке оборудования для чистки снега плужно-роторного типа (таблица 13).

Таблица 13 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке оборудования для очистки снега плужно-роторного типа

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [26]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143-2009, ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [15]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

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

«Обучение персонала: четко разъяснять сотрудникам риски, связанные с используемыми материалами и технологическими процессами; вводный

инструктаж для новых работников; ознакомить каждого нового сотрудника с разделами плана пожарной безопасности, которые касаются его личной защиты в ЧС.

Техническое обслуживание оборудования: проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания» [4].

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки

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

Ключевые аспекты:

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

Основные направления:

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

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

«Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе сборки подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной

массой 45 тонн» [4] и сведем их в таблицу 14.

Таблица 14 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [11].

Для минимизации вреда от пыли и СОЖ требуется комплексный подход:

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

Составляем сводную таблицу 15 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 15 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Мелкодисперсная пыль	Фильтрация: – циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%); – рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%); – субмикронной пыли (используют коронный разряд), мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов) – электрофильтры – для субмикронной пыли.	–

Продолжение таблицы 15

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха. Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров СОЖ на CO_2 и H_2O	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м³ (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м³ (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: – металлическая стружка и лом; – промасленная ветошь, спецодежда; – твердые коммунальные отходы	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание и сжигание в спецпечах. Сортировка и захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

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

Выводы по разделу.

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

- составлен технологический паспорт процесса сборки подвески полноприводного грузового автомобиля-самосвала полной массой 45 тонн»;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при сборке оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

6 Экономическая эффективность проекта

«Для определения финансовых затрат на разработку конструкции подвески самосвала необходимо учесть следующие факторы:

- стоимость материалов: необходимо определить, какие материалы будут использоваться для создания конструкции, и рассчитать их стоимость;
- трудозатраты: необходимо определить количество человеко-часов, которые будут потрачены на разработку конструкции подвески, и рассчитать стоимость труда в соответствии с тарифами на работу;
- оборудование: необходимо определить, какое оборудование будет необходимо для создания конструкции (например, инструменты, станки и так далее) и рассчитать их стоимость;
- дополнительные расходы: необходимо учесть все дополнительные расходы, такие как аренда помещения, расходы на транспортировку материалов и оборудования, расходы на электроэнергию» [21].

«Затраты на изготовление конструкции подвески самосвала определяем по формуле:

$$C_{кон} = C_{к.д} + C_{о.д} + C_{п.д} + C_{сб.н} + C_{о.н}, \quad (58)$$

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

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

$C_{п.д}$ – цена покупных деталей, изделий, агрегатов, р.;

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

$C_{о.н}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р» [7].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_к \cdot C_к, \quad (59)$$

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

$C_к$ – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 120,0 р./кг» [7].

Корпусные детали для данной конструкции подвески не разрабатывались.

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{о.д} = C_{прн} + C_м, \quad (60)$$

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

$C_м$ – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р» [7].

«Заработную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{пр} = t \cdot C_ч \cdot \kappa_t, \quad (61)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей, (опора пневморессоры 1,0 чел.-ч.; крышка 0,3 чел.-ч.; опора пневмобаллона 0,7 чел.-ч.);

$C_ч$ – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду;

κ_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимается равным 1,03» [7].

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

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

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

$$C_{пр} = 2 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 468,86 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{д} = (5...12) \cdot C_{пр} / 100, \quad (62)$$

$$C_{д} = 10 \cdot 468,86 / 100 = 46,89 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{соц} = 30 \cdot (C_{пр} + C_{д}) / 100, \quad (63)$$

$$C_{соц} = 30 \cdot (468,86 + 46,89) / 100 = 154,72 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma пр} = 468,86 + 46,89 + 154,72 = 670,47 \text{ р.}$$

Таким образом, заработная плата на изготовление оригинальных деталей составляет 670,47 р.

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

$$C_{М} = Ц \cdot Q_{з}, \quad (64)$$

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

$Q_{з}$ – масса заготовки, кг» [7].

$$C_{м} = 160 \cdot 34 = 5440 \text{ р.}$$

$$C_{о.д} = 670,47 + 5440 = 6110,47 \text{ р.}$$

Таким образом, затраты на изготовление оригинальных деталей составляют 622,12 р.

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

$$C_{сб.п} = C_{сб} + C_{д.сб} + C_{соц.сб}, \quad (65)$$

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

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

$C_{соц.сб}$ – страховые взносы в фонды, р» [7].

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

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (66)$$

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

$$T_{сб} = k_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (67)$$

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

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

По справочным данным трудоемкость сборки принимаем равную 16,0 чел.-ч.

$$T_{сб} = 1,25 \cdot 16 = 20 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{сб} = 20 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 4688,56 \text{ р.},$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 4688,56 = 468,86 \text{ р.},$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot \left(4688,56 + 468,86\right) = 1547,23 \text{ р.},$$

$$C_{сб.п} = 4688,56 + 468,86 + 1547,23 = 6704,65 \text{ р.}$$

Таким образом, полная заработная плата производственных рабочих занятых на сборке составит 6704,35 р.

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{он} = \frac{\left(C_{пр}^{/} \cdot R_{оп}\right)}{100}, \quad (68)$$

где $C^{/}_{пр}$ – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

$R_{оп}$ – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [7].

$$C^{/}_{пр} = \left(C_{пр} + C_{сб}\right), \quad (69)$$

$$C^{/}_{пр} = 468,86 + 4688,56 = 5157,42 \text{ р.}$$

$$C_{он} = \frac{(5157,42 \cdot 15)}{100} = 773,61 \text{ р.}$$

Стоимость покупных деталей, изделий, агрегатов представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Значение, руб.
Амортизатор (4 шт.)	15680
Штанги подвески (6 шт.)	73920
Рессоры	67200
Втулка (78 шт.)	8736
Пневмобаллон (4 шт.)	24640
Ось балансира (2 шт.)	13440
Буфер подвески (4 шт.)	8960
Метизы	2800
Итого:	215376

$$C_{пд} = 15680 + 73920 + 67200 + 8736 + 24640 + 13440 + \\ + 8960 + 2800 = 215376 \text{ р.}$$

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

Затраты на изготовление конструкции:

$$C_{кон} = 0 + 6110,47 + 215376 + 6704,65 + 773,61 = 228964,73 \text{ р.}$$

Затраты на изготовление конструкторской разработки подвески самосвала сведем в таблицу 17.

Таблица 17 – Затраты на изготовление конструкторской разработки подвески самосвала

Обозначение	Числовое значение, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	0
Стоимость изготовления оригинальных деталей	6110,47
Общая заработная плата на сборку	6704,65
Общепроизводственные накладные расходы	773,61
Стоимость покупных изделий	215376
Итого:	228964,73

Общие затраты на изготовление конструкции подвески самосвала равны 228964,73 р.

Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$Э_Г = C_{ПР} - C_{КОН}, \quad (70)$$
$$Э_Г = 285000 - 228964,73 = 56035,27 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{ОК} = \frac{C_{КОН}}{Э_Г}, \quad (71)$$
$$O_{ОК} = \frac{228964,73}{56035,27} = 4,08 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$Э_{ЭФ} = Э_Г - 0,15 \cdot C_{КОН}, \quad (72)$$
$$Э_{ЭФ} = 56035,27 - 0,15 \cdot 228964,73 = 21690,56 \text{ р.}$$

В таблице 18 представлены основные показатели проекта.

Таблица 18 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	285000	228964,73
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	56035,27
Экономический эффект при внедрении конструкции	р.	–	21690,56
Срок окупаемости	год	–	4,08

Выводы по разделу.

Затраты на разработку окупаются за 4 года, что соответствует среднерыночным показателям для подобных проектов.

Применение стандартизированных комплектующих (ГОСТ, ОСТ) снижает себестоимость производства.

Заключение

В рамках утверждённой темы ВКР создана уникальная конструкция подвески для самосвала с колёсной формулой 6×6 и полной массой 45 тонн. Центральным направлением исследовательской деятельности стало конструирование эффективной подвески для данного класса машин, позволяющей достичь значительного роста эксплуатационных характеристик автомобиля, включая улучшение плавности хода, устойчивости, прочности и долговечности.

«В работе затрагивается проблема разработки оптимальной конструкции подвески для самосвала 6×6 с учетом существующих требований безопасности, эргономических и эстетических требований, комфортабельности, надежности, снижения совокупных затрат на производство, обслуживание и эксплуатацию» [22].

В ходе выполнения дипломного проекта было сделано следующее:

- рассмотрены условия работы самосвала полной массой 45 тонн, схемы подвесок, выполнен анализ схем подвесок методом экспертных оценок;
- выполнен тягово-динамический расчёт самосвала;
- рассмотрена конструкция и принцип действия разрабатываемой подвески, выполнены конструкторские расчеты подвески, проведена оценка надежности, долговечности пневмобаллона и штанги – на прочность и жесткость;
- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки;
- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
- определена целесообразность разработки конструкции подвески самосвала с колесной формулой 6×6 с экономической стороны.

Список используемой литературы и используемых источников

1 Белоусов Б. Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 (М. : Типография "Наука"). 727 с.

2 Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта : Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов "Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). 521, с.

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

4 Горина Л. Н., Фесина М. И. Раздел бакалаврской работы «Безопасность и экологичность технического объекта». Уч.-методическое пособие (2-е изд. Доп.). - Тольятти: изд-во ТГУ, 2021. 22 с.

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

6 Зузов В. Н. Механика наземных транспортно-технологических средств [Текст]: учебное пособие / В. Н. Зузов; Московский гос. технический ун-т им. Н. Э. Баумана. Москва: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2015. 185 с.

7 Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке: [монография] / П.Л. Мариев [и др.]; Российская акад. наук, Ин-т проблем трансп. Санкт-Петербург: Наука, 2006. 386 с.

8 Кондратьева-Бейер М. В. Automobil und traktor [Текст] = Автомобиль и трактор: Немецкая хрестоматия / М. В. Кондратьева-Бейер, Ю. В. Бейер.

Москва; Ленинград: Гос. техн.-теоретич. изд-во, 1933 (М.: 17 тип. треста «Полиграфкнига») 179 с.

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

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

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

12 Нагруженность картера заднего моста карьерного самосвала: Оператив.-информ. материалы / АН БССР, Ин-т пробл. надежности и долговечности машин. Минск: ИНДмаш, 1981 (1987). 45 с.

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

14 Сологуб, В. А. Автопрактикум. Ч. 2. Трансмиссия большегрузных автомобилей: учеб. пособие. Оренбург: ОГУ, 2012. 111 с.

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

16 Транспортное обеспечение производства: учебное пособие / О. А. Лукашук, В. С. Великанов, А. А. Маркина, К. Ю. Летнев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента

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

18 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта : электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2021. 12 с.

19 Школьников, А. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст]: учебное пособие / А. И. Школьников; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. радиотехнических систем. Челябинск: ЮУрГУ, 2009. 63 с.

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

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

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

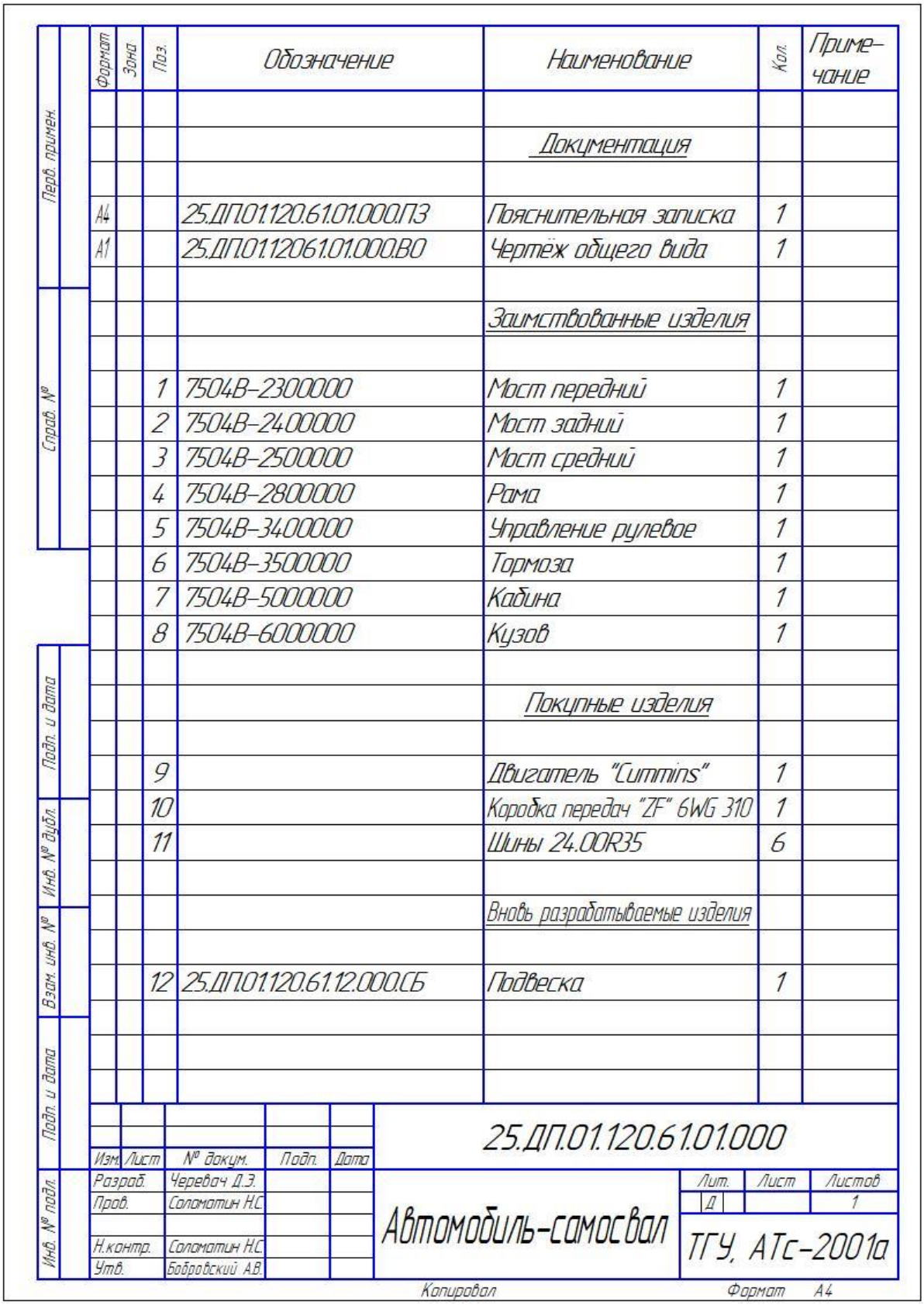
23 Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. - Linkoping, 1997. 150 p.

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

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

Приложение А

Спецификации



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
А4			25.ДП.01.120.61.01.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
А1			25.ДП.01.12061.01.000.ВО	Чертёж общего вида	1	
				Заимствованные изделия		
		1	7504В-2300000	Мост передний	1	
		2	7504В-2400000	Мост задний	1	
		3	7504В-2500000	Мост средний	1	
		4	7504В-2800000	Рама	1	
		5	7504В-3400000	Управление рулевое	1	
		6	7504В-3500000	Тормоза	1	
		7	7504В-5000000	Кабина	1	
		8	7504В-6000000	Кузов	1	
				Покупные изделия		
		9		Двигатель "Cummins"	1	
		10		Коробка передач "ZF" 6WG 310	1	
		11		Шины 24.00R35	6	
				Вновь разрабатываемые изделия		
		12	25.ДП.01.120.61.12.000.СБ	Подвеска	1	

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Черевач Д.Э.		
Пров.		Соламатин Н.С.		
Н.контр.		Соламатин Н.С.		
Утв.		Бобровский А.В.		

25.ДП.01.120.61.01.000

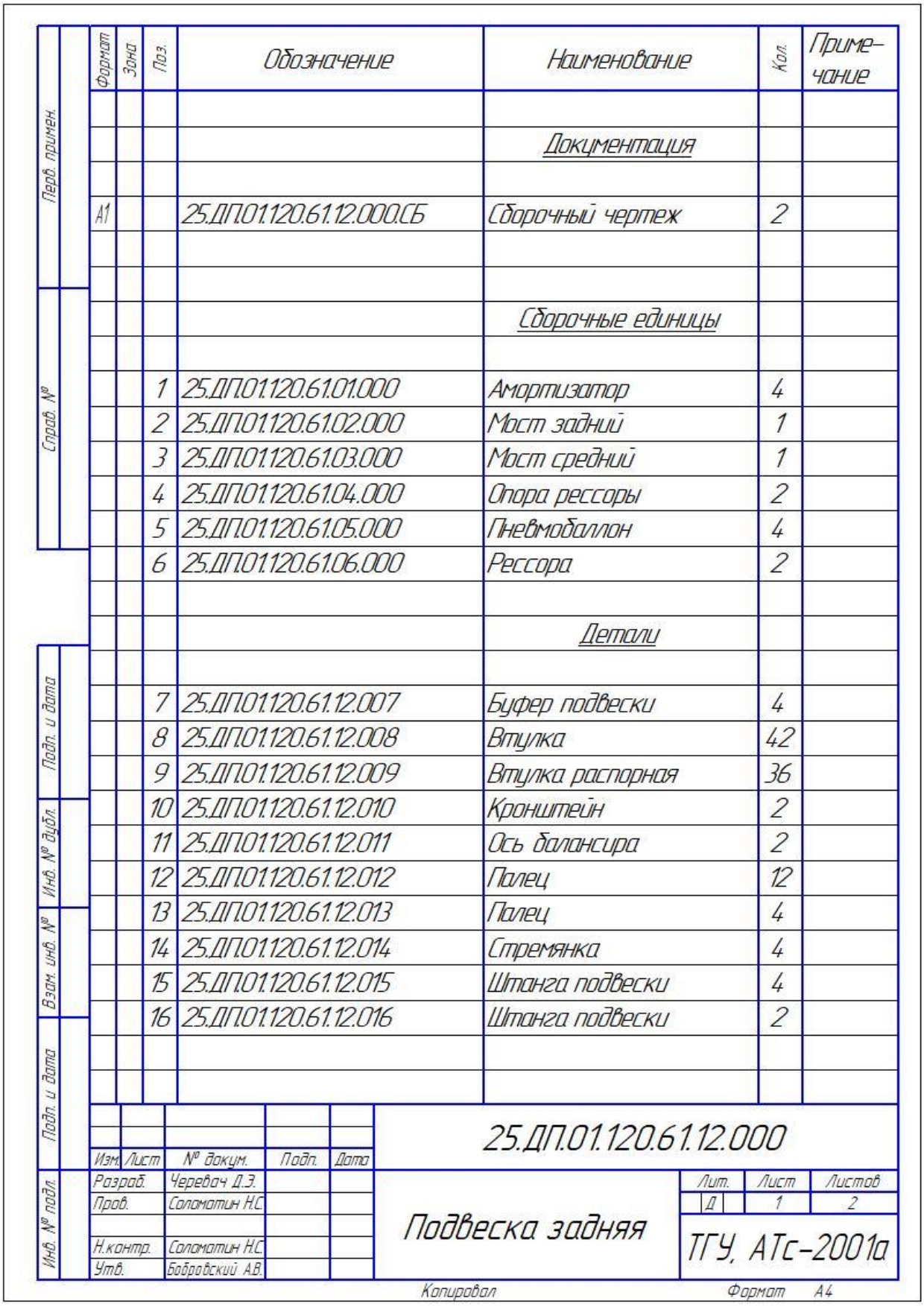
Автомобиль-самосвал

Лит.	Лист	Листов
Д		1

ТГУ, АТс-2001а

Копировал Формат А4

Рисунок А.1 – Спецификация на автомобиль-самосвал



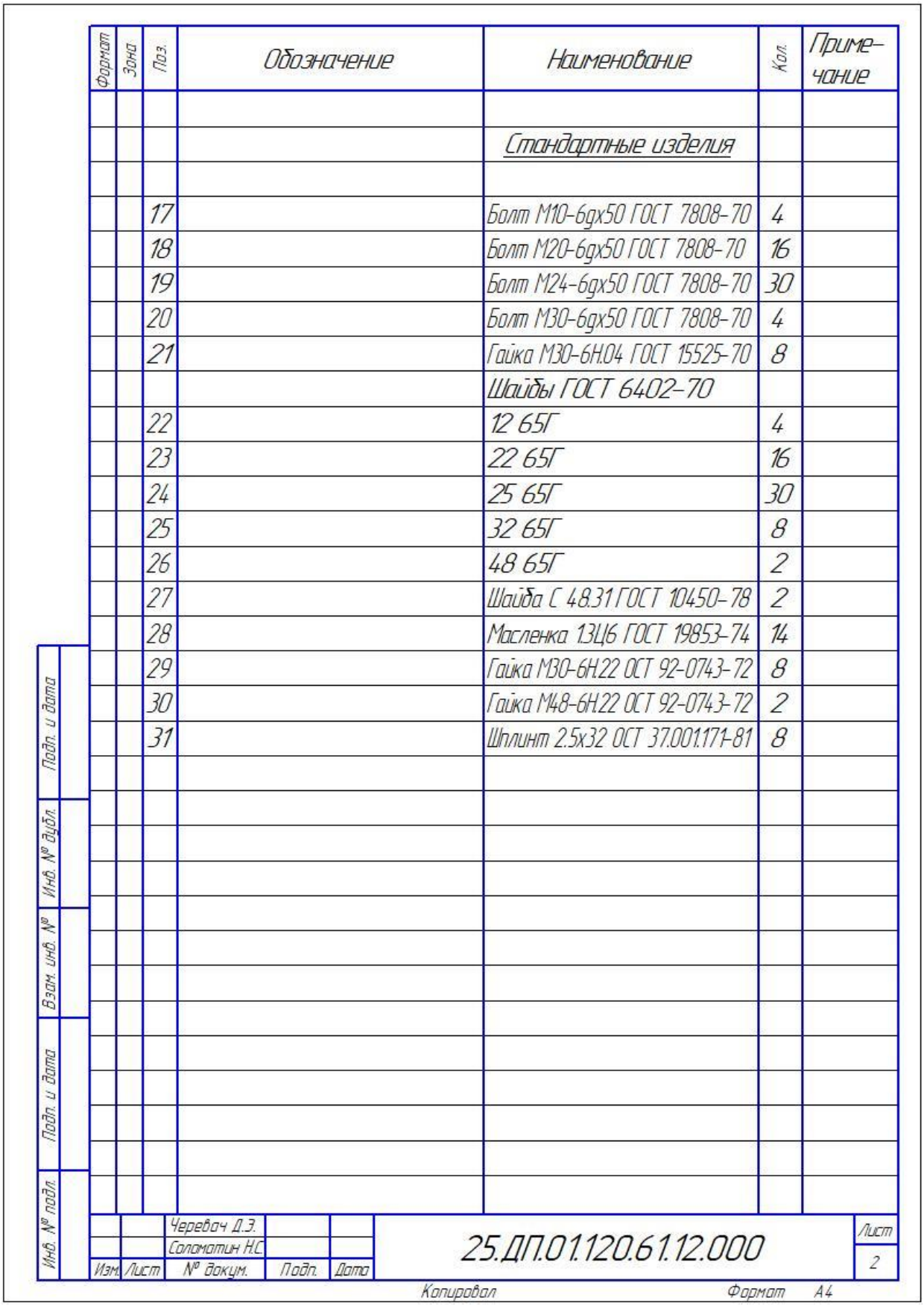
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Документация		
A1			25.ДП.01.120.61.12.000.СБ	Сборочный чертеж	2	
				Сборочные единицы		
		1	25.ДП.01.120.61.01.000	Амортизатор	4	
		2	25.ДП.01.120.61.02.000	Мост задний	1	
		3	25.ДП.01.120.61.03.000	Мост средний	1	
		4	25.ДП.01.120.61.04.000	Опора рессоры	2	
		5	25.ДП.01.120.61.05.000	Пневмобаллон	4	
		6	25.ДП.01.120.61.06.000	Рессора	2	
				Детали		
		7	25.ДП.01.120.61.12.007	Буфер подвески	4	
		8	25.ДП.01.120.61.12.008	Втулка	42	
		9	25.ДП.01.120.61.12.009	Втулка распорная	36	
		10	25.ДП.01.120.61.12.010	Кронштейн	2	
		11	25.ДП.01.120.61.12.011	Ось балансира	2	
		12	25.ДП.01.120.61.12.012	Палец	12	
		13	25.ДП.01.120.61.12.013	Палец	4	
		14	25.ДП.01.120.61.12.014	Стремянка	4	
		15	25.ДП.01.120.61.12.015	Штанга подвески	4	
		16	25.ДП.01.120.61.12.016	Штанга подвески	2	

Перв. примен. | Справ. № | Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	25.ДП.01.120.61.12.000		
Разраб.		Черевач Д.Э.			Подвеска задняя	Лит. Д	Лист 1 / Листов 2
Пров.		Саламатин Н.С.				ТГУ, АТс-2001а	
Н.контр.		Саламатин Н.С.					
Утв.		Бобровский А.В.					

Копировал Формат А4

Рисунок А.2 – Спецификация на заднюю подвеску



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме-чание
				Стандартные изделия		
		17		Болт М10-6gх50 ГОСТ 7808-70	4	
		18		Болт М20-6gх50 ГОСТ 7808-70	16	
		19		Болт М24-6gх50 ГОСТ 7808-70	30	
		20		Болт М30-6gх50 ГОСТ 7808-70	4	
		21		Гайка М30-6Н.04 ГОСТ 15525-70	8	
				Шайбы ГОСТ 6402-70		
		22		12 65Г	4	
		23		22 65Г	16	
		24		25 65Г	30	
		25		32 65Г	8	
		26		48 65Г	2	
		27		Шайба С 48.31 ГОСТ 10450-78	2	
		28		Масленка 1.3Ц6 ГОСТ 19853-74	14	
		29		Гайка М30-6Н.22 ОСТ 92-0743-72	8	
		30		Гайка М48-6Н.22 ОСТ 92-0743-72	2	
		31		Шплинт 2.5х32 ОСТ 37.001.171-81	8	

Подп. и дата | Инв. № дубл. | Взам. инв. № | Подп. и дата | Инв. № подл.

Черевач Д.Э.
Соломатин Н.С.

Изм. Лист № докум. Подп. Дата

25.ДП.01.120.61.12.000

Лист 2

Копировал Формат А4

Рисунок А.3 – Спецификация на заднюю подвеску