

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

Институт машиностроения
(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»
(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Автомобили и тракторы
(направленность (профиль) / специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

на тему Проектирование конструкции стенда для испытания на долговечность
растяжки подвески автомобиля

Обучающийся

А.Л. Фесенко
(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 на тему: «Проектирование конструкции стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля».

Цель работы: разработка испытательного стенда для ресурсных испытаний растяжек подвески автомобилей, позволяющего моделировать реальные эксплуатационные нагрузки с целью оценки долговечности и надежности данных элементов.

Задачи работы:

- определение технических требований к стенду (диапазон нагрузок, частота циклов, виды нагружения);
- разработка конструктивной схемы стенда;
- проведение расчетов на прочность элементов стенда;
- разработка методики испытаний.

Методы исследования:

- теоретический анализ научной и технической литературы;
- компьютерное моделирование (CAD/CAE-системы);
- анализ существующих испытательных методик.

Основные результаты: разработанный стенд позволяет проводить ускоренные ресурсные испытания; снижать затраты на доводочные испытания; повышать надежность подвески автомобилей.

Проект может быть реализован на предприятиях-производителях автомобильных компонентов, в испытательных и учебных лабораториях.

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

В первом разделе рассмотрены ключевые аспекты испытаний на долговечность автомобильных компонентов. Раскрывается значение испытаний на долговечность, их роль в обеспечении качества и безопасности автомобильных компонентов.

Во втором разделе проведена конструкторская разработка стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

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

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

Пояснительная записка на 93 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is: «The design of a test bench for durability testing of automotive suspension Tie-Rods».

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

The aim of the project is to develop a specialized test bench for evaluating the durability of automotive suspension tie-rods, ensuring compliance with regulatory standards and improving testing accuracy for enhanced component reliability.

In the first part of the graduation project, the current state of durability testing for automotive components is examined, including key concepts, regulatory frameworks, objectives, testing methods, and typical testing environments.

In the second part, the engineering design of the test bench is presented, covering technical specifications, conceptual proposals, and structural calculations for critical components to ensure functionality and durability.

The third section focuses on the technological aspects of assembling the test bench, including the selection of optimal manufacturing methods and the development of a detailed assembly process.

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

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

This research contributes to the advancement of automotive testing equipment, offering a reliable solution for durability assessment of suspension tie-rods and supporting the development of safer and more durable vehicles.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	10
1.1 Понятие и сущность испытаний на долговечность автомобильных компонентов	10
1.2 Нормативно-правовая база испытаний на долговечность автомобильных компонентов	10
1.3 Цели и задачи испытаний на долговечность.....	11
1.4 Методы и виды испытаний на долговечность	11
1.5 Места проведения испытаний на долговечность.....	12
2 Конструкторская часть	13
2.1 Техническое задание на разработку стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля	13
2.2 Техническое предложение на разработку стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.....	18
2.3 Конструкторские расчеты основных элементов разрабатываемого устройства.....	33
3 Технологический раздел.....	42
3.1 Выбор рациональной организации технологии сборки.....	43
3.2 Проектирование технологического процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля	48
4 Безопасность и экологичность проекта	53
4.1 Структурно-функциональный анализ.....	55
4.2 Идентификация профессиональных рисков.....	57
4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	60
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта.....	66
4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.....	71
5 Экономическая эффективность проекта.....	74
Заключение	83
Список используемой литературы и используемых источников.....	84
Приложение А. Спецификация.....	88

Введение

Достижение гарантированного ресурса автомобиля представляет собой одну из ключевых задач современного машиностроения.

Современный автомобильный транспорт подвергается постоянному ужесточению требований к надежности, безопасности и долговечности. Особое внимание уделяется элементам подвески, которые испытывают значительные динамические нагрузки в процессе эксплуатации.

Одним из ключевых компонентов подвески являются растяжки (тяги, реактивные штанги), которые обеспечивают стабилизацию колес и воспринимают существенные усилия при разгоне, торможении и движении по неровностям.

Надежность растяжек напрямую влияет на управляемость автомобиля и безопасность движения. Однако в условиях длительной эксплуатации эти элементы подвергаются усталостным деформациям, что может привести к их разрушению. Поэтому проведение испытаний на долговечность является обязательным этапом при проектировании новых моделей подвесок.

Процесс проверки усталостной прочности осуществляется поэтапно: сначала проводятся лабораторные испытания отдельных узлов, электронных и механических систем на специализированных стендах, затем выполняется комплексная оценка ресурса готового транспортного средства в ходе дорожных тестов. Особую значимость приобретает необходимость ранней диагностики прочностных характеристик элементов ходовой части еще на стадии проектирования.

В настоящее время большинство испытаний проводится на универсальных стендах или в реальных дорожных условиях, что не всегда позволяет точно воспроизвести эксплуатационные нагрузки и оперативно получать результаты. Разработка специализированного стенда для испытаний растяжек подвески позволит оптимизировать процесс тестирования,

повысить точность измерений и сократить время проведения испытаний. Это определяет актуальность выбранной темы дипломного проекта

Вопросы проектирования испытательного оборудования для автомобильных компонентов широко освещены в научно-технической литературе.

Методологии испытаний на долговечность посвящены работы таких авторов, как:

- Зорин Д. В., автор научной статьи «Исследование достоверности методов оценки долговечности деталей транспортных машин» (журнал «Известия высших учебных заведений. Машиностроение», 2007);
- Кулагин В. А., Назарков И. А., Бокарев А. И., авторы статьи «Стратегия разработки методологий стендовых испытаний по проверке прочности и долговечности компонентов ходовой части автомобиля на этапе технического проекта» (материалы Международной научно-практической конференции «Автомобиле- и тракторостроение», 2019).

В их исследованиях рассмотрены принципы нагружения, методы ускоренных испытаний и подходы к оценке усталостной прочности.

Однако анализ существующих разработок показывает, что большинство стендов предназначено для комплексных испытаний подвески в целом и не учитывает специфику тестирования отдельных элементов, таких как растяжки подвески.

«Растяжка нижнего рычага передней подвески (рисунок 1) выполняет две ключевые функции: связывает рычаг с поперечиной и перераспределяет нагрузку, снижая воздействие на плечо рычага, а также повышает общую жесткость конструкции подвески.

Крепление осуществляется через резиновые демпфирующие подушки, которые не только фиксируют растяжку к рычагу и поперечине, но и гасят ударные нагрузки, защищая кузов автомобиля от вибраций.

Конструктивно растяжка оснащена крепежными штырями с резьбой M16×1,5, позволяющими точно регулировать положение рычага относительно поперечины с помощью наборных регулировочных шайб» [4].



Рисунок 1 – Растяжка передней подвески

«Для долговечности элемент изготовлен из высокопрочной легированной стали с антикоррозионным покрытием, устойчивым к влаге и дорожной пыли.

Благодаря своей конструкции растяжка эффективно разгружает остальные узлы подвески, принимая на себя часть динамических нагрузок при движении, что повышает надежность и комфорт эксплуатации автомобиля» [4].

Современные тенденции цифровизации и автоматизации испытательных процессов требуют внедрения новых решений в конструкцию стендов.

Таким образом, несмотря на значительное количество исследований в данной области, остается потребность в разработке специализированного оборудования для испытаний растяжек подвески.

Целью данного дипломного проекта является проектирование конструкции стенда для испытаний на долговечность растяжек подвески автомобиля, обеспечивающего воспроизведение реальных эксплуатационных нагрузок и автоматизированный сбор данных.

«Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ существующих методов и оборудования для испытаний на долговечность автомобильных компонентов;
- изучить нормативно-техническую документацию, регламентирующую испытания растяжек подвески;
- разработать техническое задание и предложение на проектирование стенда с учетом требований к нагрузкам и точности измерений;
- разработать 3D-модель конструкции стенда и подготовить комплект конструкторской документации» [12].

Практическая значимость работы состоит в том, что разработанный стенд может быть использован:

- на предприятиях-изготовителях автомобильных компонентов для контроля качества,
- в отделе доводки ходовой части в производстве,
- в учебном процессе при подготовке инженеров-автомобилестроителей.

1 Состояние вопроса

1.1 Понятие и сущность испытаний на долговечность автомобильных компонентов

Испытания на долговечность являются важнейшим этапом в процессе разработки автомобильных компонентов. Они направлены на оценку способности деталей сохранять свои функциональные характеристики в условиях длительного воздействия эксплуатационных нагрузок.

Долговечность подвески автомобиля, в частности ее растяжек, определяется способностью выдерживать циклические нагрузки, вибрации, коррозию и другие факторы, возникающие в процессе эксплуатации. Испытания позволяют выявить критические дефекты, такие как усталостные трещины, деформации и износ, которые могут привести к преждевременному отказу элемента. Современные методы испытаний включают как натурные (полигонные) тесты, так и лабораторные исследования с использованием специализированных стендов, имитирующих реальные условия эксплуатации. Последние обеспечивают более высокую точность и воспроизводимость результатов, сокращая время и стоимость испытаний.

1.2 Нормативно-правовая база испытаний на долговечность автомобильных компонентов

Проведение испытаний на долговечность регламентируется рядом международных и национальных стандартов, технических регламентов и отраслевых требований.

Среди ключевых документов можно выделить:

- ISO 16750-3 – стандарты испытаний на виброустойчивость и усталостную прочность;
- SAE J2380 – методика испытаний на усталость;

- Технические условия ТУ 4591-027-20976755-2012 Растяжка нижнего рычага передней подвески и рычаг передней подвески нижний с шарнирами в сборе

Кроме того, автопроизводители разрабатывают собственные корпоративные стандарты (например, Volkswagen PV 1210, Ford FLTM BO 162-01), которые ужесточают общие требования и адаптируют их под конкретные модели автомобилей.

1.3 Цели и задачи испытаний на долговечность

Основными целями испытаний на долговечность являются: оценка ресурса детали до появления критических дефектов; определение предельных нагрузок, при которых компонент сохраняет работоспособность; сравнение различных конструктивных решений и материалов; верификация расчетных моделей и компьютерного моделирования.

Задачи испытаний включают: разработку методик, адекватно воспроизводящих реальные эксплуатационные условия; регистрацию и анализ параметров деформации, износа и усталости. оптимизацию конструкции на основе полученных данных;

1.4 Методы и виды испытаний на долговечность

В зависимости от условий и задач применяются различные методы испытаний. Лабораторные испытания на стендах: циклические нагрузки с регулируемой амплитудой и частотой; испытания на растяжение-сжатие с имитацией динамических воздействий; комбинированные воздействия (вибрация, коррозия, температурные перепады).

Полигонные испытания: тесты на специальных трассах с искусственными неровностями; дорожные испытания в различных климатических условиях.

Ускоренные испытания: применение повышенных нагрузок для сокращения времени тестирования; метод экстраполяции данных на реальные условия эксплуатации.

Компьютерное моделирование (CAE-анализ): конечно-элементный анализ (FEA) для прогнозирования усталостных характеристик; виртуальные испытания в программных комплексах (ANSYS, SolidWorks Simulation).

1.5 Места проведения испытаний на долговечность

Испытания могут проводиться в различных условиях.

Сертифицированные испытательные центры оснащены современными стендами и измерительным оборудованием (НАМИ (Россия), DEKRA (Германия), TÜV (Европа). Заводские лаборатории автопроизводителей – собственные испытательные комплексы компаний (Volkswagen, Toyota, BMW и так далее). Специализированные полигоны – испытательные трассы с различными покрытиями (гравий, бездорожье, городской цикл).

Университетские и научно-исследовательские центры, разрабатывающие новые методики испытаний в сотрудничестве с промышленными партнерами. В современных условиях наблюдается тенденция к автоматизации испытательных процессов, использованию цифровых двойников и внедрению систем машинного обучения для прогнозирования усталостных характеристик. Это открывает новые возможности для повышения точности и сокращения сроков испытаний.

Выводы по разделу.

Анализ состояния вопроса показывает, что испытания на долговечность являются комплексной задачей, требующей учета нормативных требований, выбора оптимальных методов и использования специализированного оборудования.

2 Конструкторская часть

2.1 Техническое задание на разработку стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

«Стенд для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля должен представлять собой раму, с возможностью установки на ней испытуемых объектов, обеспечивая быструю переналадку для испытания конкретного объекта.

Стенд должен обеспечивать синусоидальные изгибающие нагрузки, симметричного и асимметричного цикла.

Стенд относится к области испытательной техники» [4].

«В процессе эксплуатации, детали подвески автомобиля испытывают циклические нагрузки. Растяжка нижнего рычага передней подвески является изделием, входящим в направляющий аппарат подвески, обеспечивающий эластокинематику передней подвески и передачу реакций от колес к кузову. Растяжка нижнего рычага передней подвески относится к необслуживаемым, невосстанавливаемым (неремонтируемым) изделиям непрерывного длительного применения, вида 1 по ГОСТ 27.003» [7].

«Сущность испытания заключается в имитации циклической нагрузки, действующей на растяжку нижнего рычага передней подвески автомобиля, в процессе эксплуатации.

Испытания на циклическую долговечность растяжки нижнего рычага передней подвески проводить согласно ТУ 4591-027-20976755-2012 (459100 - Унифицированные узлы и детали, применяемые в автомобильной промышленности) завода изготовителя:

- закон нагружения – синусоидальный,
- частота нагружения – 3 Гц,
- нагрузка циклическая – от 0,5 до 1,5 кН» [18].

«Перед испытаниями растяжки должны быть соединены при помощи металлических пластин и дуговой сварки (рисунок 2). Размеры пластин, а также место нанесения, катеты и длина сварочных швов не регламентированы» [18].

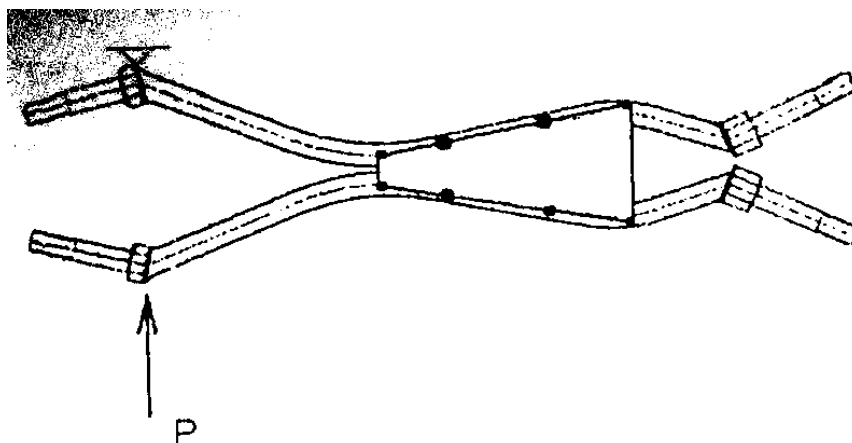


Рисунок 2 – Схема нагружения растяжки для испытаний

«Проектируемое оборудование находится в лаборатории для испытаний, стенд размещается в закрытом помещении, при температуре воздуха от плюс 15° до плюс 25°С. Влажность воздуха в помещении не превышает норму» [11].

«При разработке оборудования особое внимание следует обратить на следующие источники информации: авторские свидетельства и патенты МПК G01N3/32; ТУ 4591-027-20976755-2012; стандарты по безопасности производства; журналы и другая техническая литература. Обеспечить патентную чистоту конструкции» [7].

Стенд в комплектации для испытаний растяжек должен состоять из универсальной рамы, привода, нагружающего устройства, площадки для крепления испытуемой детали, датчика контроля количества циклов и устройства для контроля усилия от нагружающего устройства.

«К конструкции стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля предъявляются следующие требования:

- рама устройства должна обладать достаточной жесткостью и прочностью для безопасного проведения испытаний;
- стенд должен обеспечивать поочередное проведение испытаний с минимальным количеством переналадочных работ;
- для удобства и простоты изготовления в конструкции стенда необходимо использовать нормализованные и унифицированные узлы и агрегаты;
- использовать стандартные крепёжные изделия и металлопрокат;
- должна быть предусмотрена возможность приложения синусоидальной нагрузки от 0,5 до 1,5 кН;
- необходимо обеспечить контроль количества циклов нагружения, не менее 2000000 миллионов циклов» [4].
- «необходимо обеспечить горизонтальное расположение двух испытываемых деталей;
- весь цикл испытаний должен продолжаться без остановки;
- использовать энергообеспечение трехфазным током;
- конструкция должна иметь заземление;
- для включения использовать магнитный пускатель, исключающий самопроизвольное включение двигателя при кратковременном отключении напряжения от сети;
- обеспечить удобство при проведении регулировочных и смазочных работ;
- при работе устройство должно создавать минимальные вибрации издавать шум в допустимых пределах, отвечать всем требованиям производственной безопасности;
- конструкция оборудования должна исключать выбрасывание предметов, представляющих опасность для работающих, а также выбросы смазывающих, охлаждающих и других рабочих жидкостей;

- элементы оборудования не должны иметь острых углов, кромок, заусенцев и поверхностей с неровностями, представляющих опасность травмирования работающих» [9];
- «движущиеся части окрасить в оранжевый цвет, остальные части в серый;
- использование смазочных материалов, выпускающихся серийно, не требующих использования специальных инструментов при выполнении смазочных работ;
- в процессе эксплуатации предусмотреть возможность ежемесячного обслуживания и проверки оборудования» [1].

Из конструктивных соображений и учитывая характеристики существующего аналога, принимаем ориентировочно следующие технические показатели стенда для испытаний растяжек:

- габаритные размеры, не более мм 2200×750×1200.
- масса устройства, не более кг 400.
- мощность электродвигателя, не более кВт×ч 3.

«Стенд для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля изготовить в 1 экземпляре. Поскольку серийное производство не предусмотрено, то поиск на патентную чистоту не обязателен.

Внешние очертания устройства должны отвечать требованиям технической эстетики и передавать функциональный характер изделия. Пропорции контуров устройства должны обеспечивать композиционное равновесие. Переломы элементов формы должны быть логичными и согласовываться между собой, острые углы рекомендуется скруглить. Мелкие детали оборудования не должны быть хаотично расположены и при необходимости должны быть закрыты декоративными панелями» [3].

«Уровень шума нормируется в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Предельно допустимые значения для общей вибрации 3 категории (технологическая вибрация) типа В (помещение лаборатории) не должны превышать значения, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Предельно допустимые значения вибрации

Среднегеометрические частоты полос, Гц	Предельно допустимые значения по осям X_o , Y_o , Z_o							
	виброускорения				виброскорости			
	м/с ²		дБ		м/с 10 ⁻²		дБ	
	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт	1/3 окт	1/1 окт
3,15	0,0089		79		0,045		79	
Корректированные и эквивалентные корректированные значения и их уровни		0,014		83		0,028		75

Использовать устройство должны люди, прошедшие специальный инструктаж по технике безопасности и изучившие правила эксплуатации устройства» [16].

«Для безотказной и эффективной работы устройства предусмотреть плановое ТО не реже 1 раза в 6 месяцев и обеспечение ремонтом в неустановленные сроки в норме 1/10 от трудоёмкости полного ремонта.

Составные части конструкции должны легко подвергаться сборке-разборке при замене деталей или транспортировке. Транспортировка осуществляется в разобранном виде, все узлы и агрегаты, снятые с рамы, должны быть упакованы в деревянные ящики, которые маркируются соответственным образом. Хранить устройство в собранном или разобранном виде в сухом помещении» [9].

«Экономические показатели проектируемого стенда ориентировочно могут быть выражены следующими значениями:

- основные инвестиционные затраты, включающие изготовление
- опытного образца и проведение испытаний, предполагается осуществить в течение 1 года, общая сумма предполагаемых затрат 200000 р;
- ожидаемая себестоимость стенда на начальном этапе производства около 120000 р., при этом планируемая рентабельность 5%.

Срок окупаемости оборудования принимаем ориентировочно 2 года» [8].

2.2 Техническое предложение на разработку стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

В соответствии с техническим заданием необходимо разработать конструкцию стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

«Стенд представляет собой сварную раму из металлопроката, электродвигатель, ременную передачу, поворотные кулаки для крепления шкивов, шатун, трос, с возможностью регулировки длины, для изменения величины нагрузки, стол для крепления растяжек, датчик для фиксации циклов, частотный регулятор для изменения частоты вращения электродвигателя» [11].

Стенд обеспечивает проведение испытаний на циклическую долговечность растяжек подвески автомобилей LADA с заданными техническими условиями:

- закон нагружения – синусоидальный,
- частота нагружения – 3 Гц,
- нагрузка циклическая – от 0,5 до 1,5 кН.

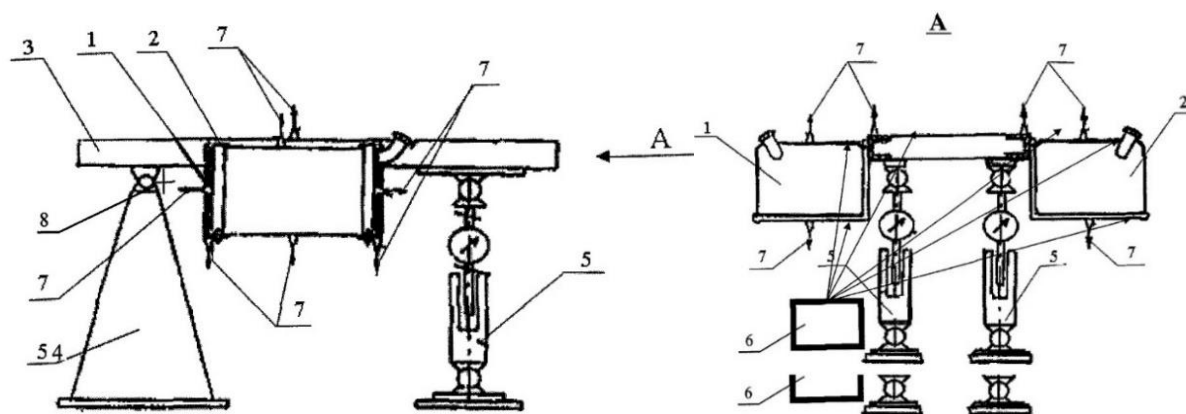
Проведенный поиск аналогов показал, что имеется установка для испытания образцов на усталость (авт. св. СССР № 1245933, кл. G01N3/32, 1986), а также установка для испытания образцов на усталость (заявка № 4776138/25-28, кл. G01N3/32, 1990).

«Установки содержат корпус, установленные на нем торцовый и консольный захваты образца, привод вращения торцового захвата, механизм нагружения, включающий эксцентрик с приводом вращения, шаровую подвеску, связанную с консольным захватом, упругий элемент, соединяющий подвеску с эксцентриком. Однако испытания на них проводятся либо при неизменном, либо при ступенчатом изменении амплитуды нагружения. Испытания при циклическом изменении амплитуды нагружения на установках неосуществимы» [15].

«Известен стенд для испытания упругих элементов на усталость, содержащий раму с направляющей, две опоры для закрепления одного из концов соответствующих упругих элементов, размещенный в направляющей ползун с подвижными опорами для крепления вторых концов соответствующих упругих элементов, и привод перемещения ползуна, включающий кривошипный механизм, палец которого связан с ползуном, опоры установлены соосно направляющей и симметрично относительно ползуна, а стенд снабжен двумя находящимися в зацеплении зубчатыми колесами, одно из которых закреплено на оси кривошипа, а второе установлено на раме дополнительным кривошипом, закрепленным на втором колесе, и силовой пружиной, один конец которой связан с рамой, а другой - с дополнительным кривошипом, а диаметр первого зубчатого колеса в два раза больше диаметра второго зубчатого колеса (см. авт. свид. СССР №1803786, кл. G01N 3/32, 1993)» [13].

Недостаток стенда заключается в его сложности.

«Известен стенд для испытаний узлов и агрегатов автотранспортных средств (рисунок 3), содержащий раму 3, два гидроцилиндра 5, опору 4, топливные баки 1 и 2, измерительный комплекс 6 (ноутбук, устройство сбора данных, зарядовые усилители в комплекте с акселерометрами, калибратор акселерометров, датчики 7 виброускорений), обеспечивающий контроль режима испытаний по уровню измеряемых датчиками виброускорений в контрольных точках на лонжеронах рамы, баках и элементах их крепления. Рама стенда 3 крепится к опоре 4 посредством оси балансира 8, позволяющей раме совершать возвратно-поступательные движения под требуемым углом вокруг оси балансира. Топливные баки крепятся к раме кронштейнами симметрично относительно продольной оси рамы стенда. Гидравлические цилиндры устанавливаются под лонжеронами рамы в плоскости, равноудаленной от точек расположения элементов крепления топливных баков на раме, симметрично относительно продольной оси рамы стенда.



1, 2 – баки; 3 – рама; 4 – опора; 5 – гидроцилиндр; 6 – измерительный комплекс; 7 – датчики виброускорений; 8 – ось балансира

Рисунок 3 – Стенд для испытаний узлов и агрегатов автотранспортных средств

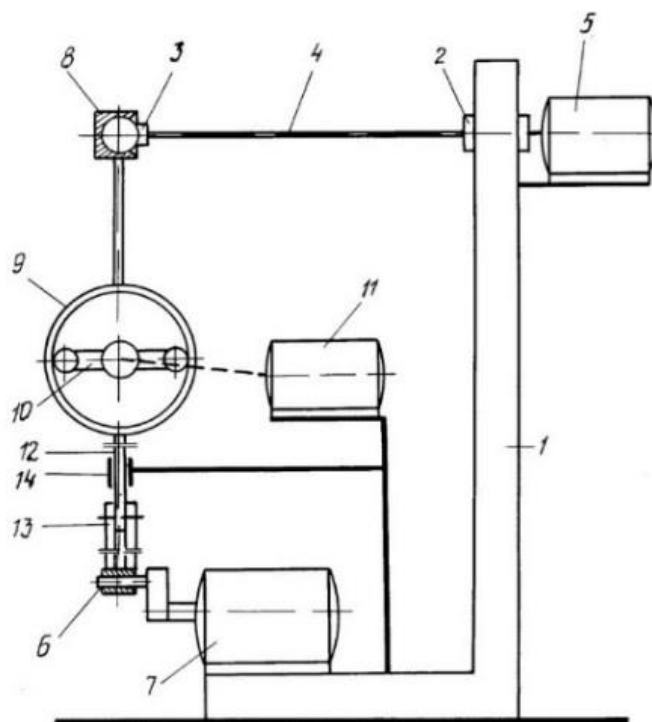
Стенд работает следующим образом.

Два гидравлических цилиндра 5 вибрирующей установки, создают колебания рамы 3 с баками 1 и 2, при которых воспроизводятся нагрузки на баках и элементах их крепления, имеющие место при эксплуатации автомобиля. Измерительный комплекс 6 обеспечивает контроль режима испытаний по уровню измеряемых датчиками 7 виброускорений в контрольных точках на лонжеронах рамы, баках и элементах их крепления. При помощи системы управления и контроля вибрирующей установки обеспечивается поддержание и равенство виброускорений на баках 1 и 2 и элементах их крепления к раме 3. Режим испытаний поддерживается за счет настройки возбуждения каждого из двух цилиндров в реальном масштабе времени и их синхронизации» [5].

Недостатком является сложность конструкции.

«Известна установка для испытания образцов на усталость (рисунок 4) [19], содержащая корпус, установленные на нем торцевой и консольный захваты образца, привод вращения торцевого захвата, механизм нагружения, включающий эксцентрик с приводом вращения, шаровую подвеску, связанную с консольным захватом, и упругий элемент, содержащий подвеску с эксцентриком, отличающаяся тем, что, с целью обеспечения испытаний как

при ступенчатом, так и при циклическом плавном изменении амплитуды нагружения, упругий элемент выполнен в виде кольца, а установка снабжена упором, установленным внутри кольца с возможностью взаимодействия с его внутренней стенкой и приводом вращения упора.



1 – корпус; 2 – торцовый захват; 3 – консольный захват; 4 – образец; 5 – привод вращения торцового захвата; 6 - механизм нагружения; 7 - привод вращения; 8 - шаровая подвеска; 9 - упругий элемент; 10 – упор; 11 – привод; 12 – тяга; 13 – шарнир; 14 – направляющая

Рисунок 4 – Установка для испытания образцов на усталость

Установка работает следующим образом.

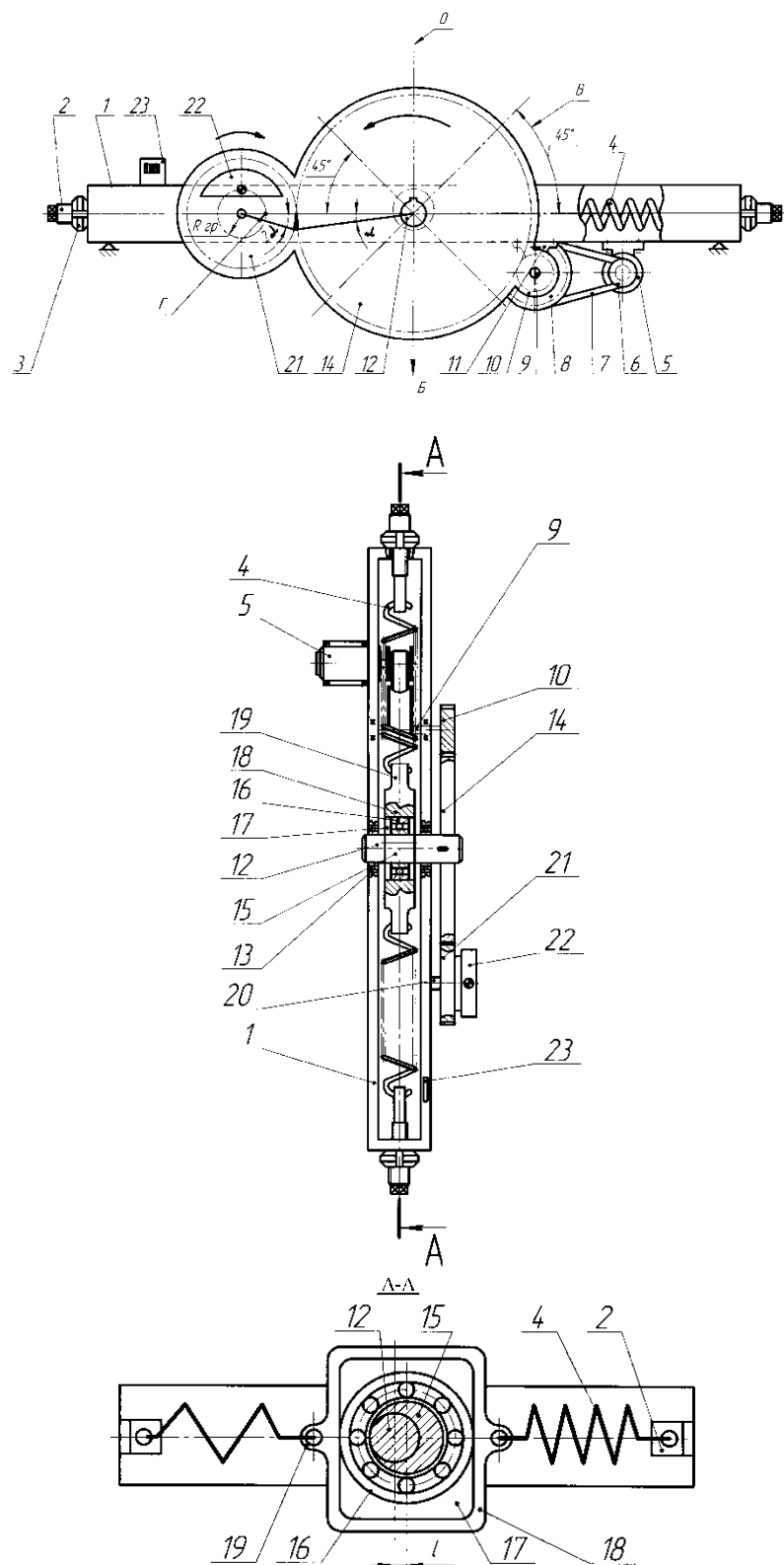
Включают привод 5 и через захват 2 вращают образец 4. Включают привод 7 и через эксцентрик 6 и упругий элемент 9 циклически нагружают консольный захват 3. Для изменения амплитуды нагрузки в циклическом режиме включают привод 11 и вращают упор 10. Упор 10 взаимодействует последовательно с разными точками стенок кольца, отчего изменяется жесткость деформирования кольца эксцентриком и, соответственно, амплитуда нагружения образца. Для ступенчатого изменения амплитуды привод 11 включают периодически.

Установка позволяет проводить испытания в разных условиях: при постоянных, ступенчато или циклически изменяющихся амплитудах нагрузки» [19].

Недостатком является энергоемкость установки.

«Известен стенд для испытания упругих элементов на усталость (рисунок 5) [20], состоящий из рамы 1, на концах которой расположены неподвижные регулируемые винтовые опоры 2 с гайками 3, к которым крепится один из концов испытуемых упругих элементов 4 привода в виде электродвигателя 5 со шкивом 6, который посредством ремня 7 соединен со шкивом 8, сидящем на валу 9, который жестко соединен с шестерней 10. Вал 9 устанавливается в кронштейнах 11, расположенных на раме 1. В середине рамы 1 установлен вал кривошипного механизма 12 на подшипниках 13, на одном конце которого вне рамы 1 жестко закреплено зубчатое колесо 14, находящееся в зацеплении с шестерней 10. На палец 15 вала кривошипного механизма 12 насажен подшипник 16, который входит в прямоугольный паз 17 ползуна 18 с проушинами 19 для крепления подвижных концов соответствующих упругих элементов 4. Направляющими для ползуна 18 служат бруссы рамы 1. Прямоугольный паз 17 своим наибольшим размером ориентирован по вертикали и поэтому вертикальные «биения» пальца 15 не передаются на ползун, в то время как горизонтальный размер паза выполнен с малым (тепловым) зазором относительно наружного размера подшипника 16 и поэтому ползун 18 отслеживает горизонтальные «биения» пальца 15, передавая их упругим испытуемым элементам 4» [20].

«С внешней стороны рамы 1 на оси 20 установлено зубчатое колесо 21, находящееся в зацеплении с колесом 14. Сверху на раме 1 закреплен счетчик циклов 23. Буквами обозначены: Б - направление действия силы тяжести; В - углы максимального крутящего момента уравнивания; Г - положение центра тяжести груза при максимальном крутящем моменте уравнивания; О - ось наибольшего эксцентриситета.



1 – рама; 2 – неподвижная опора; 3 – гайка; 4 – испытуемые упругие элементы; 5 – двигатель привода; 6 – шкив; 7 – ремень; 8 – шкив; 9 – вал; 10 – шестерня; 11 – кронштейн; 12 – вал кривошипного механизма; 13 – подшипник; 14 – зубчатое колесо; 15 – палец; 16 – подшипник; 17 – прямоугольный паз; 18 – ползун; 19 – проушины; 20 – ось; 21 – зубчатое колесо; 22 – груз; 23 – счетчик циклов

Рисунок 5 – Стенд для испытания упругих элементов на усталость

Стенд работает следующим образом.

В проушинах 19 закрепляются испытуемые упругие элементы 4 своими подвижными концами. Отпуская гайки 3, к неподвижным опорам 2 крепятся другие концы соответствующих упругих элементов 4. Включая двигатель 5 привода, поворачивают колесо 14 в такое положение, чтобы палец кривошипного механизма стал нейтрально, т.е. он не создаст натяга ни в одном из упругих элементов, расположенных горизонтально. Гайками 3 выбираются зазоры в сочленениях упругих элементов 4 с проушинами 19 и опорами 2, а если необходимо (по техническим требованиям к упругим элементам 4), то создаются или натяги или сжатия. Для фиксации колеса 14 в этом установочном (нейтральном) положении могут быть предусмотрены фиксаторы, а для его опознавания - риски или метки на колесе 14 или раме 1, при этом колесо 21 должно стоять так, чтобы центр тяжести груза 22 находился над осью его вращения» [20].

«При включении привода (двигателя 5) палец 15, поворачиваясь, начнет сжимать один из упругих элементов 4, а другой - растягивать, на что будет расходоваться энергия груза 22. При повороте колеса 14 на 90° один из упругих элементов 4 будет максимально сжат, а другой растянут, колесо 21 повернется на 180° , т.е. груз 22 полностью отдаст энергию, крутящий момент будет равен нулю, т.к. в этом положении плечо действия сил от упругих элементов будет равно нулю ($1 \cdot \cos 90^\circ = 1 \cdot 0 = 0$). При дальнейшем повороте на 90° упругие элементы 4 будут возвращать накопленную энергию, т.е. крутящий момент будет отрицательным. Эта энергия будет поглощена грузом 22. Далее процесс будет повторяться на других четвертях поворота колеса 14. При этом колесо 21 будет поворачиваться на 180° , т.к. его диаметр в 2 раза меньше диаметра зубчатого колеса 14» [20].

Недостатком является сложность конструкции.

Анализ конструктивных особенностей стендов - аналогов показал, что ни один из них не отвечает в полной мере установленным в ТЗ требованиям, что обуславливает необходимость разработки новой конструкции.

Предлагается два варианта компоновки стенда: расположение привода в нижнем ярусе (рисунок 6) или расположение привода вертикально на одном уровне с испытуемой деталью (рисунок 7).

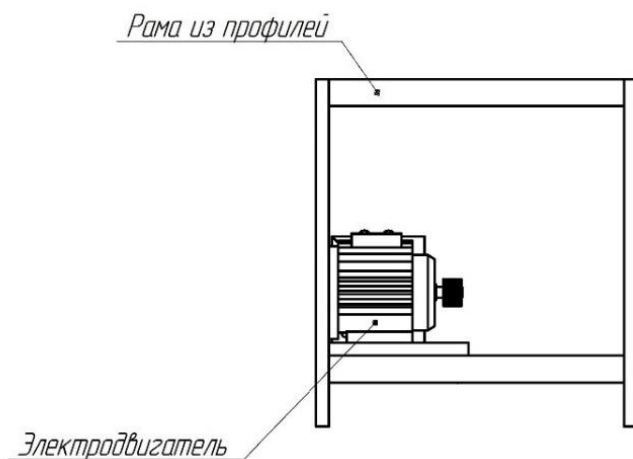


Рисунок 6 – Расположение привода в нижнем ярусе

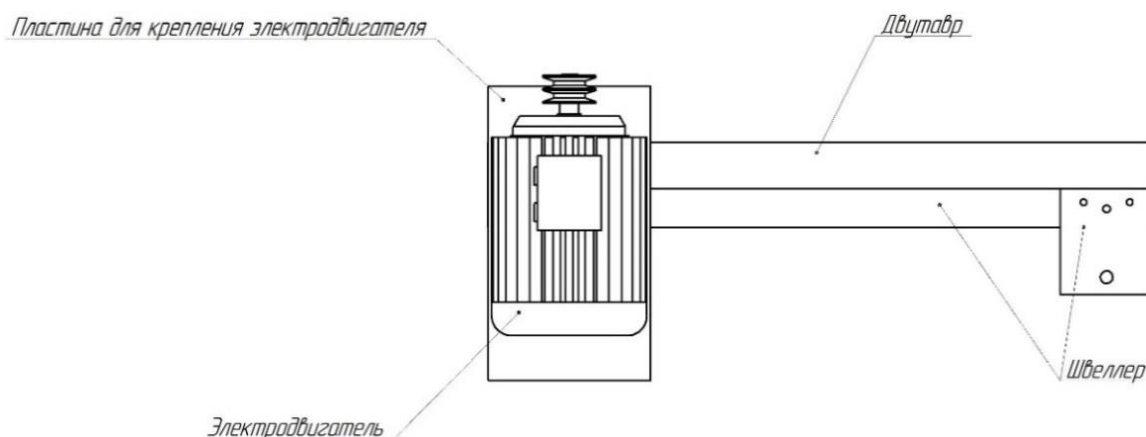


Рисунок 7 – Расположение привода вертикально на одном уровне с испытуемой деталью

Преимуществом первого варианта компоновки является экономия площади, однако привод стенда усложняется, повышается металлоемкость. На основании этого, более приемлемым вариантом можно считать расположение привода вертикально, на одном уровне с испытуемой деталью.

«Датчик для измерения количества циклов может быть размещен на отдельном столе, что исключает воздействие на него вибраций от работающего стенда, но в этом случае занимает большая производственная

площадь, возможно повреждение кабелей. Размещение датчика для измерения количества циклов на раме стенда более компактное, а действие вибраций может быть нейтрализовано специальными устройствами в местах подсоединения аппаратуры к раме. Изменение величины нагрузки может осуществляться несколькими способами: изменением длины троса, изменением места крепления испытуемой детали на столе, применением эксцентрикового механизма. Первый и второй вариант предпочтительнее, т.к. как они проще в исполнении» [19].

Предлагаются следующие варианты исполнения элементов стенда.

«Рама – это базовая деталь стенда, которая должна обеспечить требуемую координацию всех элементов конструкции и надежное их крепление, позволять легко монтировать и демонтировать агрегаты стенда. С учетом выдвинутых в ТЗ требований к технологичности конструкции, рама может быть изготовлена из прямоугольного профиля (рисунок 8, а) или горячекатаных уголков (рисунок 8, б).

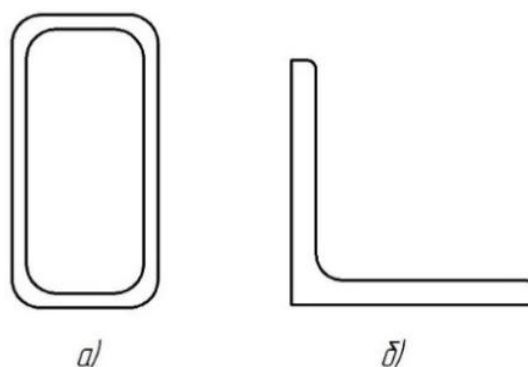


Рисунок 8 – Виды конструкций рамы

Достоинством первого варианта является меньший габаритный размер сечения, следовательно, меньше масса стенда» [21].

Выбор типа привода зависит от условий работы исполнительного механизма, для которого он предназначен. Предлагается три варианта привода: гидравлический, пневматический, электромеханический.

Составим сравнительную таблицу с критериями выбора приводов (таблица 2).

Таблица 2 – Критерии выбора приводов

Фактор	Тип привода		
	Гидравлический	Электромеханический	Пневматический
Точность	Средняя	Высокая	Низкая
Мощность	до 500 кН	до 50 кН	до 10 кН
Частота циклов	до 5 Гц	до 10 Гц	до 20 Гц
Плавность хода	Высокая	Средняя	Низкая
Стоимость	Высокая	Средняя	Низкая

На основании проведенного сравнения критериев выбора привода, с учётом требований к испытанию растяжки передней подвески принимается электромеханический привод.

Электромеханический привод – лучший компромисс между точностью, надежностью и стоимостью.

Предлагается два варианта исполнения передаточного механизма: цепная передача (рисунок 9) или ременная передача (рисунок 10).

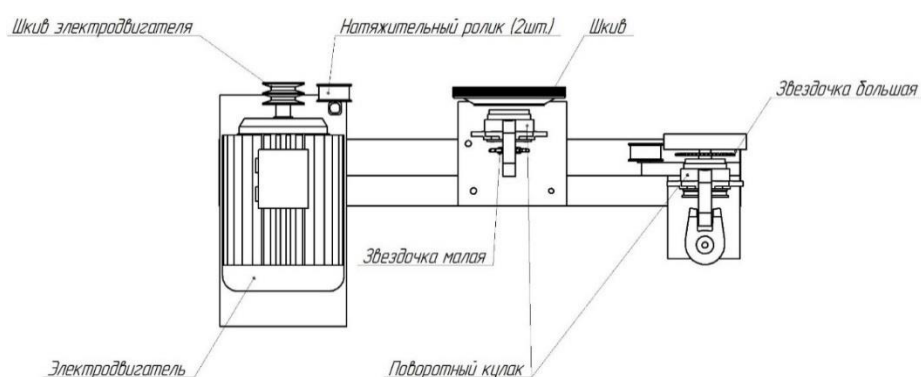


Рисунок 9 – Передаточный механизм цепной передачей

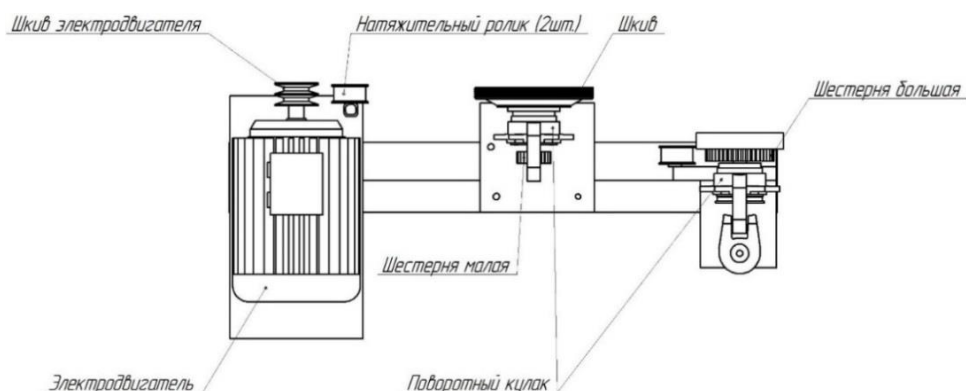


Рисунок 10 – Передаточный механизм ременной передачей

Принимаем в качестве передаточного механизма ременную передачу.

В качестве ременной передачи принимаем поликлиновую ременную передачу.

Преимущества перед другими типами передач:

- высокая гибкость и плавность хода (снижение вибраций),
- КПД до 98% (выше, чем у клиноременной),
- компактность при высокой мощности передачи,
- возможность работы на высоких скоростях (до 60 м/с).

«Долговечное и гибкое покрытие обеспечивает защиту несущего слоя и позволяет применять для поликлиновой передачи натяжной ролик» [19].

В качестве датчика для контроля количества циклов принимаем тензометрический датчик (рисунок 11).



Рисунок 11 – Тензометрический датчик

Основные характеристики тензометрического датчика SBS-2:

- тип: тензорезистивный датчик силы (мостовая схема);
- назначение: измерение растягивающих и сжимающих усилий;
- диапазон измерений: 1...200 кН (в зависимости от модификации);
- класс точности: 0,5% от полной шкалы;
- рабочая температура: от минус 30 до плюс 80°C;
- материал корпуса: нержавеющая сталь (обычно 17-4PH);
- выходной сигнал: 1...2 мВ/В (требуется усилитель);
- степень защиты: IP65 (пыле- и влагозащищенный).

Достоинства тензодатчика SBS-2:

- точность – класс 0,5%, минимальный гистерезис;
- прочность – корпус из нержавеющей стали, защита IP65;
- широкий диапазон – измеряет 1–200 кН (растяжение/сжатие);
- универсальность – 4-проводное подключение, совместим с PLC, Arduino;
- долговечность – ресурс более 1 млн циклов, термокомпенсация;
- простой монтаж – резьбовое крепление, возможность использования шарниров;
- сертификация – соответствует ГОСТ, ISO.

SBS-2 – надежное решение для стендов испытаний подвески, но требует:

- правильного монтажа без перекосов,
- защиты от перегрузок и вибраций,
- точной калибровки и программной обработки сигнала.

Для критичных применений рекомендуется периодическая поверка (раз в 6 месяцев).

В качестве подшипникового узла, предлагаю использовать стандартный подшипник, используемый в поворотном кулаке ВАЗ-2108.

Конструктивные преимущества:

- готовый герметичный узел (не требует обслуживания),
- двухрядная роликовая конструкция (воспринимает комбинированные нагрузки),
- встроенные крепежные фланцы (упрощает монтаж).

Технические параметры:

- динамическая грузоподъемность: ~25-30 кН;
- допустимая радиальная нагрузка: ~15 кН;
- допустимая осевая нагрузка: ~7 кН;
- рабочая температура: от минус 40 до плюс 120°C.

Эксплуатационные преимущества:

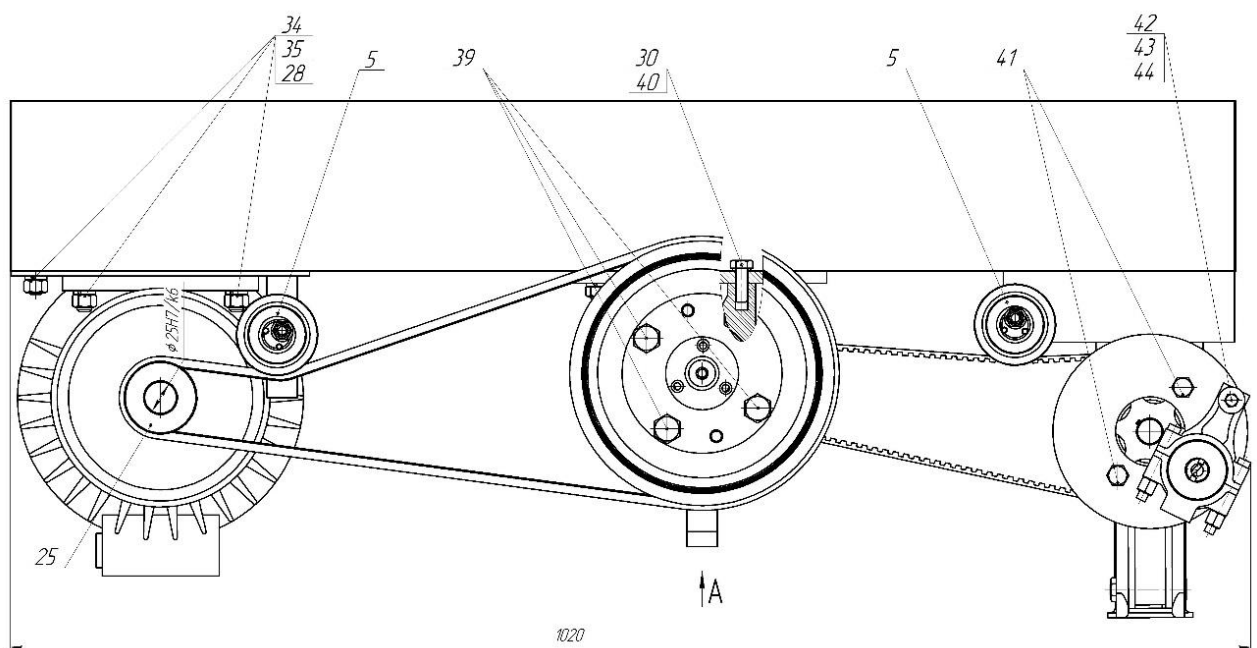
- доступность и низкая стоимость (500-1000 р.),
- проверенная надежность (ресурс 80-100 тыс. км в автомобиле),
- простота замены.

Не рекомендуется использовать бывшие в употреблении подшипники - только новые оригинальные (например, производства «Волжский подшипниковый завод») или качественные аналоги (SKF, FAG).

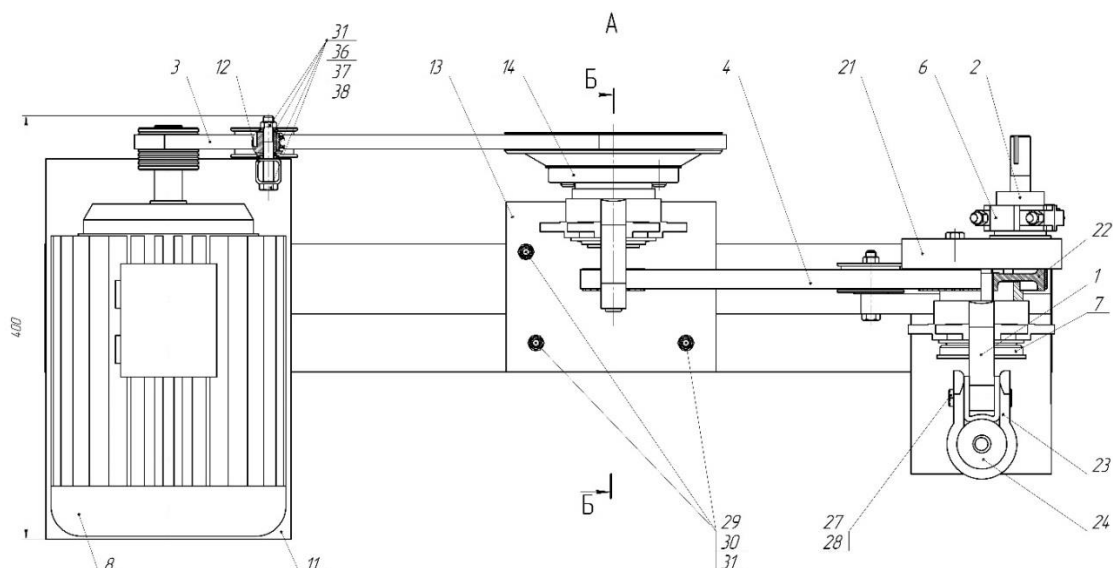
Данное решение обеспечит надежную работу стенда при минимальных затратах на обслуживание.

После выбора компонентов стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля составляем общую компоновку.

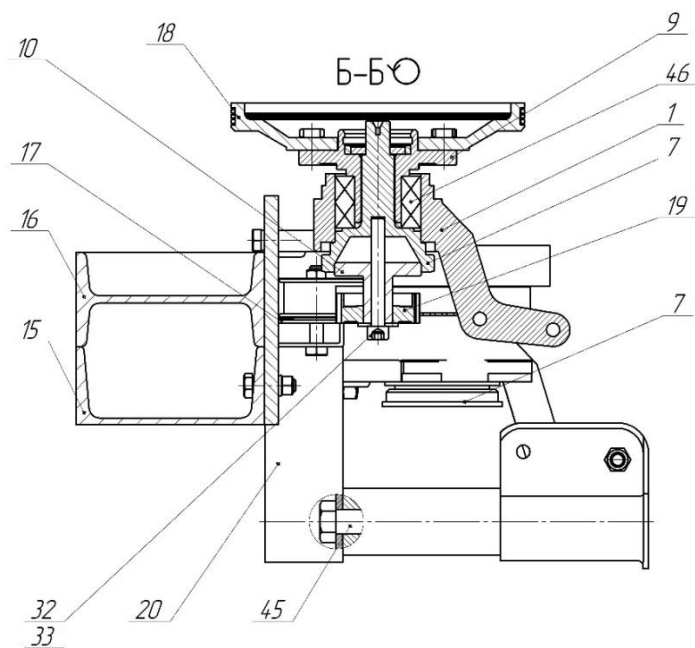
Стенд для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля представляет собой раму из металлопроката (рисунок 12). На раму установлен привод, в который входит: электродвигатель 8, ременные передачи 3, 4, поворотные кулаки с подшипниковыми узлами 1, шкивы, шатун 6, трос, с возможностью регулировки длины, для изменения величины нагрузки, стол для крепления растяжек, датчик для фиксации циклов.



а) вид сверху



б) вид сбоку

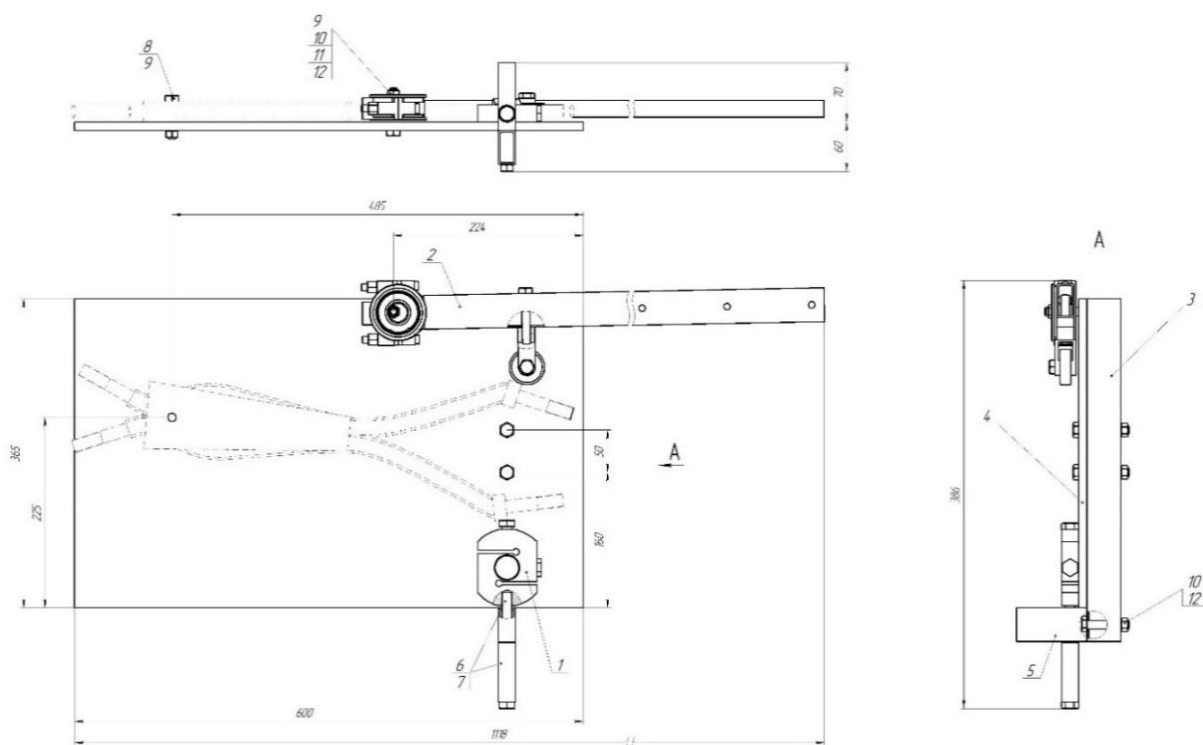


в) разрез

- 1 – кулак поворотный; 2 – ось ступицы; 3 – ремень поликлиновой; 4 – ремень зубчатый;
 5 – ролик натяжной; 6 – шатун в сборе; 7 – ШРУС; 8 – электродвигатель; 9 – ступица;
 10 – втулка; 11 – пластина для крепления электродвигателя; 12 – профиль прямоугольный
 25×25×2; 13 – стальной лист толщиной 10 мм; 14 – ступица; 15 – швеллер №14;
 16 – двутавр №14; 17 – профиль прямоугольный 60×25×2,5; 18 – шкив; 19 – шкив малый;
 20 – швеллер №14; 21 – металлический диск; 22 – шкив большой; 23 – держатель;
 24 – ось; 25 – шкив; 27-45 – метизы; 46 – подшипник

Рисунок 12 – Конструкция стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

Площадка для испытаний растяжек (рисунок 13) предназначена для крепления растяжек.



1 – тензометрический датчик; 2 – устройство для нагружения; 3 – профиль прямоугольный 40×20×2; 4 – стальной лист толщиной 10 мм; 5 – профиль прямоугольный 40×20×2; 6–13 – метизы

Рисунок 13 – Площадка для испытаний

Спецификации на стенд для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля представлена на рисунках А.1-А.5.

«Стенд работает следующим образом.

Проводятся испытания без растяжек с целью установления, требуемых ТУ (закон нагружения – синусоидальный; частота нагружения – 3 Гц; нагрузка циклическая – от 0,5 до 1,5 кН). Частотным регулятором задается частота вращения электродвигателя, соответствующая требуемой частоте нагружения. Растяжки перед испытаниями соединяются с помощью металлических пластин и дуговой сварки и закрепляются при помощи болта на площадке для испытаний» [25].

2.3 Конструкторские расчеты основных элементов разрабатываемого устройства

Расчет ременной передачи.

Исходные данные: мощность электродвигателя – 1,5 кВт, частота вращения коленчатого вала – 1500 об/мин⁻¹; передаточное значение – 3,6; работа двухсменная; желательное межосевое расстояние – 450 мм.

Предварительный выбор сечения ремня в зависимости от передаваемой мощности [Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.].

По рисунку 14 номограммы принимаем сечение ремня РК.

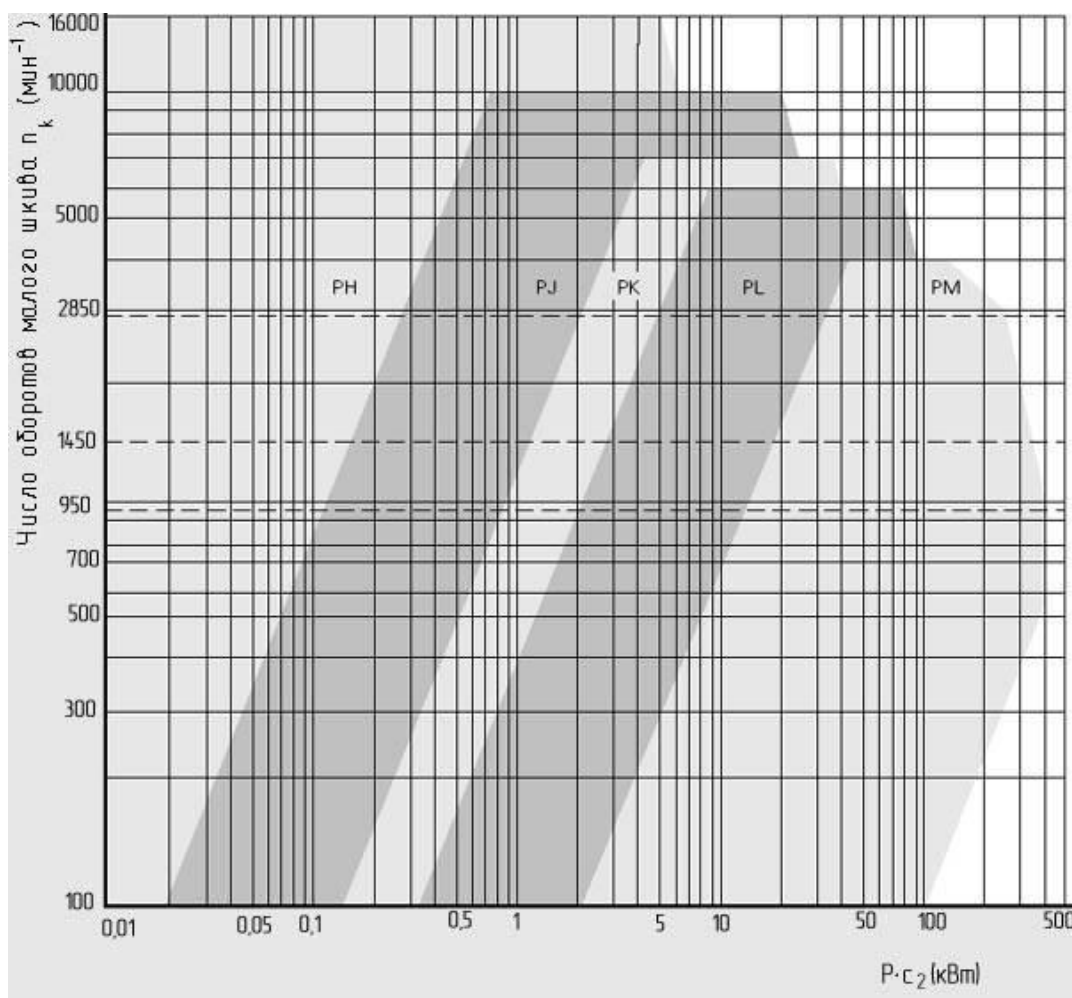


Рисунок 14 – Номограмма выбора сечения ремня

По таблице 3 определяем минимально допустимый диаметр шкива для выбранного сечения.

Таблица 3 – Геометрические размеры поликлиновых ремней

Обозначение	РН	РJ	РК	РL	РМ
Шаг ребер, s , мм	1,6	2,34	3,56	4,7	9,4
Высота ремня, h , мм	2,7	4,0	5,4	9,0	14,2
Нейтральный слой, h_b , мм	0,8	1,2	1,5	3,0	4,0
Минимальный диаметр шкива, d_b , мм	13	20	45	75	180
Максимальная скорость, V_{max} , м/с	60	60	50	40	35
Диапазон длины, L , мм	1140...2404	356...2489	527...2550	991...2235	2286...16764

Принимаем $d_{b1} = 60$ мм.

Определяем диаметр второго шкива

$$d_{b2} = d_{b1} \times u \quad (1)$$

$$d_{b2} = 60 \times 3,6 = 216 \text{ мм.}$$

Определяем ориентировочную длину поликлинового ремня

$$L = 2 \times a + \frac{\pi}{2} \times (d_{b1} + d_{b2}) + \frac{(d_{b2} - d_{b1})^2}{4 \times a} \quad (2)$$

$$L = 2 \times 450 + \frac{3,141}{2} \times (60 + 216) + \frac{(216 - 60)^2}{4 \times 450} = 1397,05 \text{ мм}$$

Для сечения РК принимаем ближайшее стандартное значение длины ремня равное 1397 мм.

Уточняем межосевое расстояние.

$$a = \frac{1}{4} \times \left[L - \frac{(d_{b1} + d_{b2})}{2} \times \pi + \sqrt{\left(L - \frac{(d_{b1} + d_{b2})}{2} \times \pi \right)^2 - 2 \times (d_{b2} - d_{b1})^2} \right] \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{4} \times \left[1397 - \frac{(60+216)}{2} \times 3,141 + \sqrt{\left(1397 - \frac{(60+216)}{2} \times 3,141\right)^2 - 2 \times (216-60)^2} \right] = 445 \text{ мм}$$

«Необходимо предусмотреть пространство x , для натяжения ремня в процессе эксплуатации и для надевания ремня на шкивы y .

$$x = \frac{0,008 \times L}{\sin \frac{\beta}{2}}, \quad (4)$$

где β – угол обхвата меньшего шкива, °.

$$\beta = 2 \times \arccos \times \left[\frac{(d_{b2} - d_{b1})}{2 \times a} \right], \quad (5)$$

$$\beta = 2 \times \arccos \times \left[\frac{(216-60)}{2 \times 445} \right] = 160^\circ,$$

$$x = \frac{0,008 \times 1397}{\sin \frac{160}{2}} = 11,348 \text{ мм},$$

$$y = \frac{0,005 \times L \times h_f \times \frac{\beta}{360}}{\sin \frac{\beta}{2}}, \quad (6)$$

где h_f – коэффициент высоты сечения» [4].

По таблице 4 для сечения ремня РК принимаем $h_f = 3$.

Таблица 4 – Коэффициент высоты

Сечение ремня	PH	PJ	PK	PL	PM
Коэффициент высоты, h_f , мм	1,5	2,5	3	6	11

$$y = \frac{0,005 \times 1397 \times 3 \times \frac{160}{360}}{\sin \frac{160}{2}} = 9,457 \text{ мм}.$$

Определяем окружную скорость:

$$V = \frac{\pi \times (d_{b1} + 2 \times h_b) \times n_1}{60 \times 1000} \leq [V], \quad (7)$$

$$V = \frac{3,141 \times (60 + 2 \times 1,5) \times 1500}{60 \times 1000} = 4,948 \text{ м/с},$$

$$V = 4,948 \text{ м/с} < [V] = 50 \text{ м/с}.$$

Условие гарантирует срок службы ремня 1000÷5000 ч.

«Определяем допускаемую мощность, передаваемую поликлиновым ремнем с десятью клиньями.

$$P_n = P_0 \cdot C_p \cdot C_\alpha \cdot C_l, \quad (8)$$

где P_0 – допустимая приведенная мощность, передаваемая одним поликлиновым ремнем с десятью клиньями, кВт, принимается равным 1,8 кВт;

C_p – коэффициент динамичности нагрузки и длительности работы, для спокойной нагрузки, при двухсменном режиме работы принимается равным 0,9;

C_α – коэффициент угла обхвата на меньшем шкиве, принимается равным 0,92 при β равном 160° ;

C_l – коэффициент влияния отношения расчетной длины ремня l_p к базовой l_o , принимается равным 1» [13].

$$P_n = 1,8 \cdot 0,9 \cdot 0,92 \cdot 1 = 1,49 \text{ кВт}.$$

«Определяем число клиньев поликлинового ремня, шт.:

$$z = 10 \times \frac{P_{ном}}{P_n}, \quad (9)$$

где $P_{ном}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт» [17].

$$z = 10 \times \frac{1,5}{1,49} = 10,06 \text{ шт.}$$

Принимаем число клиньев поликлинового ремня равное 10.

Определяем силу предварительного натяжения F_0 , Н:

$$F_0 = \frac{850 \times P_{ном} \times C_l}{V \times C_a \times C_p}, \quad (10)$$

$$F_0 = \frac{850 \times 1,5 \times 1}{4,948 \times 0,92 \times 0,9} = 311,2 \text{ Н.}$$

Определяем окружную силу, передаваемую поликлиновым ремнем, Н

$$F_t = P_{ном} \times 10^3 / V; \quad (11)$$

$$F_t = 1,5 \times \frac{10^3}{4,948} = 303,152 \text{ Н}$$

«Определяем ширину ремня, мм:

$$b = \frac{F_t}{\delta \times [k]}, \quad (12)$$

где $[k]$ – допускаемая удельная окружная сила, МПа. Для резинотканевых ремней принимаем 2,25 МПа;

δ – толщина ремня, мм, для резинотканевых ремней принимаем равную 2,5 мм» [4].

$$b = \frac{303,152}{2,5 \times 2,25} = 53,89 \text{ мм.}$$

Для обеспечения эластичности ремня, ширину округляем до стандартного значения 63 мм.

Определяем площадь поперечного сечения ремня A , мм²:

$$A = b \times \delta; \quad (13)$$
$$A = 63 \times 2,5 = 157,5 \text{ мм}^2.$$

«Проверяют прочность ремня по максимальным напряжениям в сечении ведущей ветви:

$$\sigma_{max} = \sigma_l + \sigma_u + \sigma_v \leq [\sigma]_p, \quad (14)$$

где σ_l – напряжения растяжения от силы F_l ;

σ_u – напряжение изгиба, МПа;

σ_v – напряжение от центробежных сил, МПа,

$[\sigma]_p$ – допускаемое напряжение растяжения. Принимаем

$[\sigma]_p = 9$ МПа для поликлинового ремня.

$$\sigma_l = \frac{F_0}{A} + \frac{F_t}{2 \times A}; \quad (15)$$

$$\sigma_u = E_u \times \frac{H}{d_{bl}}, \quad (16)$$

где E_u – модуль продольной упругости при изгибе, МПа, для прорезиненных ремней принимаем равным 80 МПа;

H – высота сечения ремня, принимается равной 4 мм.

$$\sigma_v = \rho \times V^2 \times 10^{-6}, \text{ МПа}, \quad (17)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³, для поликлинового ремня принимаем равную 1300 кг/м³» [15].

$$\sigma_u = 80 \times \frac{4}{60} = 5,33 \text{ МПа},$$

$$\sigma_v = 1300 \times 4,948^2 \times 10^{-6} = 0,0318 \text{ МПа},$$

$$\sigma_l = \frac{311,2}{157,5} + \frac{303,152}{2 \times 157,5} = 2,93 \text{ МПа.}$$

$$\sigma_{max} = 2,93 + 5,33 + 0,0318 = 8,291 \text{ МПа} < [\sigma]_p = 9 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется.

«Определяем расчетную долговечность ремня:

$$H_0 = \frac{\sigma_{-l}^6 \times 10^7 \times C_u \times C_H}{\sigma_{max}^6 \times 2 \times 3600 \times U}, \quad (18)$$

где σ_{-l} – предел выносливости материала ремня, МПа, для прорезиненных поликлиновых ремней принимаем равным 9 МПа;
 C_u – коэффициент, учитывающий влияние передаточного числа ременной передачи.

$$C_u = 1,5 \times \sqrt[3]{u - 0,5}; \quad (19)$$

C_H – коэффициент нагрузки, принимаем равным 1 при постоянной нагрузке.

U – число пробегов ремня в секунду, с^{-1} » [15].

$$C_u = 1,5 \times \sqrt[3]{3,6 - 0,5} = 1,798.$$

$$U = \frac{V}{L}, \quad (20)$$

$$U = \frac{4,948}{1,397} = 3,541 \text{ с}^{-1}$$

$$H_0 = \frac{9^6 \times 10^7 \times 1,798 \times 1}{8,291^6 \times 2 \times 3600 \times 3,541} = 1153,83 \text{ ч}$$

«Расчет троса на прочность:

$$\frac{N}{A} \leq R_{dh} \times \frac{\gamma_c \times \gamma_\epsilon}{\gamma_n}, \quad (21)$$

где N – нагрузка, испытываемая тросом, принимается равной 1500 Н;

A – площадь сечения троса, мм²;

R_{dh} – расчетное сопротивление каната,

γ_c – коэффициент общих условий работы канатного элемента, принимается равным 1;

γ_ϵ – коэффициент условий работы, учитывающий влияние на прочность каната концевых анкерных креплений и промежуточных концентраторов напряжений, принимается равным 1;

γ_n – коэффициент надежности по назначению, учитывающий степень ответственности и капитальности сооружения, принимаемый в соответствии с действующими нормативными документами, заданиями и специальными техническими условиями для конкретных сооружений, принимается равным 1;

$$A = \pi \times R^2, \quad (22)$$

$$A = 3,141 \times 1,5^2 = 22,206 \text{ мм}^2.$$

$$R_{dh} = 0,63 \times R_{un}, \quad (23)$$

где R_{un} – наименьшее временное сопротивление проволоки разрыву по государственным стандартам или техническим условиям, принимаем равным 390 МПа для проволоки из стали 08кп группы 1» [19].

$$R_{dh} = 0,63 \times 390 = 245,7 \text{ МПа}$$

$$\frac{1500}{7,068} \leq 245,7 \times \frac{1 \times 1}{1},$$

$$212,224 \text{ МПа} \leq 245,7 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Проверка подшипников на долговечность.

В качестве подшипникового узла принимаем подшипник передней ступицы 256907, с грузоподъемностью динамической 31,5 кН.

«Определяем долговечность подшипника:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p, \quad (24)$$

где C – динамическая грузоподъемность, кН;

P – эквивалентная динамическая нагрузка, кН;

p – индекс, в зависимости от конструкции подшипника, для шариковых подшипников принимаем равный 3» [15].

В стенде действует динамическая нагрузка от 0,5 до 1,5 кН, принимаем среднюю нагрузку около 1 кН;

$$L_{10} = \left(\frac{31,5}{1}\right)^3 = 31255,87 \text{ ч.}$$

Таким образом, долговечность подшипника равна 31255,87 ч.

Выводы по разделу.

Проведен анализ существующих стендов (отечественных и зарубежных). Выбрана оптимальная конструктивная схема с электромеханическим приводом. Предложены два варианта компоновки: горизонтальный (для компактности); вертикальный (для удобства обслуживания).

Конструкция стенда соответствует ТЗ и обеспечивает:

- испытания в широком диапазоне нагрузок;
- автоматизированный сбор данных (сила, деформация, число циклов);
- безопасность оператора.

3 Технологический раздел

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

В ходе данного процесса осуществляется:

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

Все операции выполняются в соответствии с:

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

Ключевыми характеристиками процесса являются:

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

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

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

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

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

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

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

3.1 Выбор рациональной организации технологии сборки

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

Основные принципы рациональной организации сборки:

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

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

Методы оптимизации сборки:

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

Учитывая ограниченный спрос на стенд для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля, 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:

$$T_{\text{д}} = \frac{F_{\text{д}} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (25)$$

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

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 10 шт» [12].

$$T_{\text{д}} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{40} = 3105 \text{ ч.}$$

Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства.

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,

- детальное описание всех сборочных этапов.

Данный подход обеспечивает:

- четкую стандартизацию производственных этапов,
- контроль трудоемкости операций,
- минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
Проверка комплектности	Визуальный контроль	10
Сверить наличие всех компонентов по спецификации	–	10
Подготовка рабочей зоны	Проверка ровности основания	20
Обеспечить ровную площадку с допуском ± 2 мм/м	–	20
Разметка основания	Проверка точности разметки	15
Нанести оси установки стоек, двигателя, площадки испытаний	–	15
Изготовление рамы	–	165
Взять металлические профили: 25×25×2, 60×25×2,5, швеллер №14, двутавр №14	–	5
Осмотреть металлические профили: 25×25×2, 60×25×2,5, швеллер №14, двутавр №14 на наличие повреждений	–	10
Выполнить раскрой металлических профилей	Проверка размеров	10
Нарезать профили 25×25×2, 60×25×2,5, швеллер №14, двутавр №14	–	50
Зачистить кромки профилей, зафиксировать струбцинами	–	30
Приварить швеллеры и двутавр к стальному листу	Проверка вертикальности (отклонение менее 1°)	10
Приварить профили к основанию с выверкой по уровню	Визуальный контроль швов	15
Приварить поперечные балки, усилить косынками	Проверка геометрии каркаса	15

Продолжение таблицы 5

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин.
Удалить шлак, зачистить швы	Визуальный контроль качества швов	20
Монтаж привода	—	61
Взять электродвигатель	—	1
Осмотреть электродвигатель на наличие повреждений	—	3
Установить электродвигатель на пластине через демпфирующие прокладки с помощью болтов	Проверка соосности валов	10
Взять поликлиновой и зубчатый ремни, натяжные ролики	—	1
Осмотреть поликлиновой и зубчатый ремни, натяжные ролики на наличие повреждений и дефектов	—	3
Установить поликлиновой и зубчатый ремни, натяжные ролики	Проверка натяжения ремней	15
Соединить шатун с поворотным кулаком через ШРУС болтовым соединением	—	10
Смазать подшипники	—	5
Взять шкив	—	1
Осмотреть шкив на наличие повреждений и дефектов	—	2
Установить шкив	Проверка хода без заеданий	10
Сборка площадки для испытаний	—	108
Приварить профили к стальному листу	Проверка геометрии	30
Удалить шлак, зачистить швы	Визуальный контроль качества швов	10
Взять тензодатчик	—	1
Осмотреть тензодатчик	—	2
Установить тензодатчик	Закрепить на площадке, подключить к ПЛК	15
Выполнить монтаж устройства нагружения в сборе на площадке для испытаний	—	50
Испытания стенда	—	110
Провести 10 циклов без нагрузки (частота 3 Гц)	Контроль вибрации, уровня шума	60
Проверить работу стенда при 0,5 кН и 1,5 кН	Сравнение с эталонными значениями	20
Заполнить паспорт стенда, протокол испытаний	Подпись ОТК	30
Итого:		509

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}. \quad (26)$$

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:

$$t_{шт}^{общ} = t_{on}^{общ} + t_{on}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (27)$$

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].

$$t_{шт}^{общ} = 604,7 + 604,7 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 653,07 \text{ мин.}$$

Суммарная трудоемкость сборки составляет 653,07 мин.

3.2 Проектирование технологического процесса сборки станда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 6.

Таблица 6 – Технологический процесс сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время, мин.
005	Сборочная	1	Проверка комплектности	Набор рожковых ключей (6-24 мм), набор торцевых головок (1/2", 8-19 мм), набор шестигранных ключей (1,5-10 мм), динамометрический ключ (5-150 Н·м), комбинированные плоскогубцы, круглогубцы с длинными губками, бокорезы, набор отверток (шлицевые, крестовые), резиновая киянка, молоток слесарный (800 г), съемник стопорных колец (наружных и внутренних), съемник подшипников (универсальный набор), съемник шаровых опор, натяжитель цепи, инструмент для запрессовки сайлентблоков, сварочный аппарат, электроды, съемник суппортов, электроинструмент, ударный гайковерт (1/2"), шуруповерт	10
		2	Сверить наличие всех компонентов по спецификации		
010	Сборочная	3	Подготовка рабочей зоны		
		4	Обеспечить ровную площадку с допуском ± 2 мм/м		20
015	Сборочная	5	Разметка основания		15
		6	Нанести оси установки стоек, двигателя, площадки испытаний		15
020	Сборочная	7	Изготовление рамы		165
		8	Взять металлические профили: 25×25×2, 60×25×2,5, швеллер №14, двутавр №14		5
		9	Осмотреть металлические профили: 25×25×2, 60×25×2,5, швеллер №14, двутавр №14 на наличие повреждений		10
		10	Выполнить раскрой металлических профилей		10
		11	Нарезать профили 25×25×2, 60×25×2,5, швеллер №14, двутавр №14		50
		12	Зачистить кромки профилей, зафиксировать трубами		30
		13	Приварить швеллеры и двутавр к стальному листу		10
		14	Приварить профили к основанию с выверкой по уровню		15

Продолжение таблицы 6

Номер операции	Наименование операции	Номер позиции	Содержание операции, перехода	Оборудование, инструмент, приспособление	Время , мин.
		15	Приварить поперечные балки, усилить косынками	аккумуляторный, дрель с набором сверл по металлу, болгарка с отрезными кругами, термофен для усадки изоляции	15
		16	Удалить шлак, зачистить швы		20
025	Сборочная	17	Монтаж привода		61
		18	Взять электродвигатель		1
		19	Осмотреть электродвигатель на наличие повреждений		3
		20	Установить электродвигатель на пластине через демпфирующие прокладки с помощью болтов		10
		21	Взять поликлиновой и зубчатый ремни, натяжные ролики		1
		22	Осмотреть поликлиновой и зубчатый ремни, натяжные ролики на наличие повреждений и дефектов		3
		23	Установить поликлиновой и зубчатый ремни, натяжные ролики		15
		24	Соединить шатун с поворотным кулаком через ШРУС болтовым соединением		10
		25	Смазать подшипники		5
		26	Взять шкив		1
		27	Осмотреть шкив на наличие повреждений и дефектов		2
030	Сборочная	28	Установить шкив		10
		29	Сборка площадки для испытаний		108
		30	Приварить профили к стальному листу		30
		31	Удалить шлак, зачистить швы		10

Продолжение таблицы 6

		32	Взять тензодатчик		1
		33	Осмотреть тензодатчик		2
		34	Установить тензодатчик		15
		35	Выполнить монтаж устройства нагружения в сборе на площадке для испытаний		50
035	Регулировочная	36	Испытания стенда		110
		37	Провести 10 циклов без нагрузки (частота 3 Гц)		60
		38	Проверить работу стенда при 0,5 кН и 1,5 кН		20
		39	Заполнить паспорт стенда, протокол испытаний		30

Дополнительные требования при сборке и испытаниях стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

Использовать метизы класса прочности 8.8 для всех силовых соединений.

Применять пружинные шайбы (гроверы) и контргайки для предотвращения самооткручивания.

Затягивать болты динамометрическим ключом с соблюдением моментов:

- М6: 8–10 Н·м,
- М8: 25–30 Н·м,
- М10: 45–50 Н·м,
- М12: 70–80 Н·м.

После первых 50 циклов испытаний провести повторную затяжку всех соединений.

Выполнять сварку в среде CO₂ (для стали СТ3) или электродами АНО-21.

Катет шва: не менее 3 мм для профилей, 4 мм для швеллеров и двутавров.

Провести визуальный контроль и УЗД (ультразвуковую дефектоскопию) критичных швов.

Заземлить раму и двигатель медным проводом сечением 4 мм².

Изоляция кабелей: термостойкая оболочка (до 100°C).

Провести калибровку тензодатчика с эталонными грузами 0,5 кН и 1,5 кН.

Установить частоту нагружения: 3 Гц (синусоидальный закон).

Проверить ход троса на отсутствие перекосов.

Контроль параметров каждые 1000 циклов:

- проверка натяжения ремней (прогиб под 50 Н: 10±2 мм),
- осмотр сварных швов и болтовых соединений,
- замер износа троса (допустимое удлинение: ≤2% от исходной длины).

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

Выводы по разделу.

В данном разделе проведено обоснование выбранного технологического процесса, рассчитана трудоемкость сборки, а также разработан и визуализирован в графической части ВКР технологический процесс сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

4 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 7 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 7 – 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 работе 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.

4.1 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 8).

Таблица 8 – Технологический паспорт технологического процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Сборка стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля	1 Подготовка к сборке. 2. Сборка силовой рамы. 3. Монтаж механической системы. 4. Установка привода и системы нагружения. 5. Система крепления образцов. 6. Электрика и автоматизация. 7. Пусконаладка и испытания	2 слесаря по ремонту автомобилей 5 разряда	Набор рожковых ключей (6-24 мм), набор торцевых головок (1/2", 8-19 мм), набор шестигранных ключей (1,5-10 мм), динамометрический ключ (5-150 Н·м), комбинированные плоскогубцы, круглогубцы с длинными губками, бокорезы набор отверток (шлицевые, крестовые),	Смазка графитовая (для подшипников), герметик анаэробный (для резьбовых соединений), набор сверл по металлу, электроды

Продолжение таблицы 8

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
			резиновая киянка, молоток слесарный (800 г), съёмник стопорных колец (наружных и внутренних), съёмник подшипников (универсальный набор), электроинструмент , сварочный аппарат, дрель, болгарка с отрезными кругами, термофен для усадки паяльная станция 60 Вт, цифровой мультиметр, механический манометр (0-10 бар), щупы для измерения зазоров (0,05-1 мм), штангенциркуль электронный, угломер, люфтомер для подшипников	

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.

4.2 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 9 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

Таблица 9 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Операция	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
«1 Подготовка к сборке. 2. Сборка силовой рамы. 3. Монтаж механической системы. 4. Установка привода и системы нагружения. 5. Система крепления образцов. 6. Электрика и автоматизация. 7. Пусконаладка и испытания	«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля	Элементы конструкции стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, шум базовой машины
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Элементы конструкции базовой машины, навесного оборудования» [2].
	«Ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное	Сварочный аппарат, сварка рамы
	Излучение сварочной дуги	
	Электромагнитные поля	
	Искры и брызги, выбросы расплавленного шлака и металл	
	«Возможность поражения электрическим током	Инструмент в зоне проведения технического обслуживания» [10].
	«Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [6].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции, требующие повышенного внимания и точности» [2]
	«Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию» [3].	

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.

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

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

Технические решения:

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

Организационные мероприятия:

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

Средства индивидуальной защиты:

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

Инженерные разработки:

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

- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

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

Особое внимание уделяется:

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

Реализация данных мер позволяет:

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

«Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

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

Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль» [28].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 10.

Таблица 10 – 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)» [27].
«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)» [30].
«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)» [27].
«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	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	прилегания защитных средств. Техническая модернизация: – плановый контроль уровня шума оборудования – внедрение шумопонижающих технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); – 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	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	Практическая подготовка: – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в аварийных ситуациях, – технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением; – внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала Техническая защита: – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. Профилактический контроль: – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов: – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования, – ведение электронного журнала технического состояния. Административный надзор: – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссионная инспекция, – автоматизированная система учета нарушений Медицинское сопровождение: – углубленные медосмотры для электротехперсонала: проверка нервной системы; контроль	

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	сердечно-сосудистых показателей; тесты на скорость реакции	
Отсутствие или недостаток естественного света	Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках). Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, светопропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)	
«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 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.

4.4 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 11).

Таблица 11 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Участок сборки	Технологическое оборудование, применяемое на участке сборки	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий,

Продолжение таблицы 11

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
			концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [17].

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

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);
- пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды).
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях);
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные);
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);

- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

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

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

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

Цели разработки планов:

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

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

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

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

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

План противопожарных мероприятий содержит:

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

План ликвидации аварийных ситуаций 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 стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля (таблица 12).

Таблица 12 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при сборке стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

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» [29]
«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» [29]

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.

4.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля

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

Ключевые аспекты:

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

Основные направления:

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

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

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля и сведем их в таблицу 13.

Таблица 13 – Идентификация негативных (вредных, опасных) экологических факторов

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Сборка стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля»	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].

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

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 14 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 14 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

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

Продолжение таблицы 14

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 ₂ O	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м ³ (зависит от металла). ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м ³ (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: – металлическая стружка и лом; – промасленная ветошь, спецодежда; – твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание + сжигание в спецпечах. Сортировка + захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

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

Выводы по разделу.

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

- составлен технологический паспорт процесса сборки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля;
- 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.

5 Экономическая эффективность проекта

«Для определения финансовых затрат на разработку конструкции стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля необходимо учесть следующие факторы:

- стоимость материалов: необходимо определить, какие материалы будут использоваться для создания стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля, и рассчитать их стоимость;
- трудозатраты: необходимо определить количество человеко-часов, которые будут потрачены на разработку конструкции стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля, и рассчитать стоимость труда в соответствии с тарифами на работу;
- оборудование: необходимо определить, какое оборудование будет необходимо для создания стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля (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 и так далее.

После того как все факторы были учтены, можно рассчитать общую сумму финансовых затрат на разработку конструкции стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля» [13].

«Для определения финансовых затрат на сборку стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля воспользуемся формулой:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{сб.п}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{о.н}}, \quad (28)$$

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

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

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

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

$C_{о.н}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [13].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д} = Q_k \cdot C_k, \quad (29)$$

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

C_k – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, р./кг» [13].

В таблице 15 представлена стоимость изготовления корпусных деталей.

Таблица 15 – Стоимость изготовления корпусных деталей

Деталь	Марка металла	Масса материала заготовок, кг	Масса деталей, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Рама стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля	Ст.3	100	95	72	7200
Итого:	–	–	–	–	7200

$$C_{к.д} = 100 \cdot 72 = 7200 \text{ р.}$$

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{O.D} = C_{ПРН} + C_M, \quad (30)$$

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

C_M – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р.» [13].

«Заработную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{ПР} = t \cdot C_q \cdot k_t, \quad (31)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление рамы – 10 чел.-ч.;

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

k_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимаем равным 1,03» [13].

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

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

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

$$C_{ПР} = 10 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 2344,28 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{\text{д}} = (5...12) \cdot C_{\text{пп}} / 100, \quad (32)$$

$$C_{\text{д}} = 10 \cdot 2344,28 / 100 = 234,42 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (C_{\text{пп}} + C_{\text{д}}) / 100, \quad (33)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (2344,28 + 234,42) / 100 = 773,61 \text{ р.},$$

$$C_{\text{спп}} = 2344,28 + 234,42 + 773,61 = 3352,31 \text{ р.}$$

В таблице 16 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 16 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	2344,28
Дополнительная заработная плата	234,42
Начисления на заработную плату	773,61
Итого:	3352,31

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

$$C_{\text{м}} = Ц \cdot Q_3, \quad (34)$$

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

Q_3 – масса заготовки, кг» [13].

В таблице 17 представлена стоимость материала для изготовления оригинальных деталей.

Таблица 17 – Стоимость материала заготовок на изготовление оригинальных деталей

Наименование детали	Материал	Количество, шт.	Общая масса материала, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Площадка для испытаний	Ст3сп	1	12	86	1032
Устройство нагружения	09Г2С	1	3	76	228
Итого:	–	–	–	–	1260

$$C_M = 12 \cdot 86 + 3 \cdot 76 = 1260 \text{ р.}$$

$$C_{O,Д} = 2344,28 + 1260 = 3604,28 \text{ р.}$$

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

$$C_{CB,П} = C_{CB} + C_{Д.СБ} + C_{СОЦ.СБ}, \quad (35)$$

где C_{CB} – 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» [13].

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

$$C_{CB} = T_{CB} \cdot C_{Д.СБ} \cdot k_t, \quad (36)$$

где T_{CB} – нормативная трудоемкость на сборку, чел.-ч» [13].

«Значение определяем по формуле:

$$T_{CB} = k_C \cdot \Sigma t_{CB}, \quad (37)$$

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

k_C – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [13].

По справочным данным принимаем трудоемкость сборки составных частей равной 6 чел.-ч.

$$T_{CB} = 1,25 \cdot 6 = 7,5 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{CB} = 7,5 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1758,21 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 1211,89 = 175,82 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (1758,21 + 175,82) = 580,2 \text{ р.}$$

$$C_{сб.л} = 1758,21 + 175,82 + 580,2 = 2514,23 \text{ р.}$$

В таблице 18 представлена полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке.

Таблица 18 – Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке

Значение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	1758,21
Дополнительная заработная плата	175,82
Страховые взносы в фонды	580,2
Итого	2514,23

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{OH} = \frac{(C_{PP}' \cdot R_{OP})}{100}, \quad (38)$$

где C_{PP}' – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

R_{OP} – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [13].

$$C_{PP}' = (C_{PP} + C_{CB}). \quad (39)$$

Подставив числовые значения в формулы получим:

$$C_{PP}' = 2344,28 + 1758,21 = 4102,49 \text{ р.}$$

$$C_{OH} = \frac{(4102,49 \cdot 15)}{100} = 615,37 \text{ р.}$$

Для данной конструкции необходимо приобрести ремень ГРМ, кулак поворотный с подшипником, ролик натяжной, электродвигатель АИР90 L4, шкив, а также метизы.

Перечень покупных деталей представлен в таблице 19.

Таблица 19 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Ремень ГРМ	2	250	500
Кулак поворотный с подшипником	2	1500	3000
Ролик натяжной	2	200	400
Электродвигатель АИР90 L4	1	9900	9900
Шкив	1	250	250
Метизы крепежные	58	13,2	765,6
Итого:			14815,6

Определим затраты на изготовление конструкции и сведем их в таблицу 20.

$$C_{\text{кон}} = 7200 + 3353,31 + 14815,6 + 2514,23 + 615,37 = 28497,51 \text{ р.}$$

Таблица 20 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	7200
Затраты на изготовление оригинальных деталей	3353,31
Затраты на сборку	2514,23
Общепроизводственные накладные расходы	615,37
Стоимость покупных изделий (деталей)	14815,6
Итого:	28497,51

Общие затраты на сборку стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля равны 28497,51 р.

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

Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{\text{пр}} - C_{\text{кон}}, \quad (40)$$

где $C_{\text{пр}}$ – стоимость прототипа, р.» [13];

$$\mathcal{E}_Г = 100000 - 28497,51 = 71502,49 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{кон}}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (41)$$

$$O_{\text{ок}} = \frac{28497,51}{71502,49} = 0,4 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\Phi} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{\text{кон}} \quad (42)$$

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\Phi} = 71502,49 - 0,15 \cdot 28497,51 = 67227,86 \text{ р.}$$

В таблице 21 представлены основные показатели проекта.

Таблица 21 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	100000	28497,51
Экономия от снижения трудоемкости при внедрении конструкции	р.	–	71502,49
Экономический эффект	р.	–	67227,86
Срок окупаемости	год	–	0,4

Выводы по разделу.

В разделе «Экономическая эффективность проекта» определена эффективность разработки стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля с экономической стороны. Стоимость изготовления стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля составляет 28497,51 р., срок окупаемости равен 0,4 года.

Разработанная конструкция стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля представляет значительный интерес для автомобильной промышленности и может быть востребована в следующих направлениях:

Потенциальные области применения:

- для производителей автомобилей и компонентов,
- для научно-исследовательских центров,
- для учебных заведений.

Заключение

В соответствии с утвержденной темой дипломного проекта была разработана конструкция стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля.

В ходе выполнения дипломного проекта было сделано следующее:

- изучены теоретические основы испытаний на долговечность, включая методы, нормативные требования (ГОСТ, ISO);
- определены ключевые цели испытаний: оценка ресурса детали, выявление усталостных разрушений, проверка соответствия эксплуатационным нагрузкам;
- сформировано техническое задание и предложение, учитывающее специфику нагрузок на растяжку подвески;
- проведены расчеты основных элементов стенда;
- разработана 3D-модель и чертежи конструкции, позволяющие реализовать проект в металле;
- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки стенда;
- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
- определена целесообразность разработки конструкции стенда с экономической стороны.

Разработанный стенд позволяет проводить ресурсные испытания растяжек подвески в условиях, приближенных к реальным эксплуатационным нагрузкам.

Конструкция соответствует нормативным требованиям и может быть использована в лабораторных и производственных условиях.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автомобили ВАЗ-2108, ВАЗ-21081, ВАЗ-21083, ВАЗ-2109, ВАЗ-21091, ВАЗ-21093, ВАЗ-21099: руководство по ремонту: эксплуатация и техническое обслуживание [Текст] / А. П. Игнатов [и др.]. Москва: Третий Рим, 1998. 168 с.
2. Анурьев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя. В 3 т. Т. 1 [Текст] / В. И. Анурьев; под ред. И. Н. Жестковой. - 8-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 2001. 920 с.
3. Биргер, И. А. Расчет на прочность деталей машин: справочник [Текст] / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. - 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Машиностроение, 1993. 639 с.
4. Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов «Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Саратов. полигр. комб.). 521 с.
5. Воячек, А. И. Основы проектирования и конструирования машин: учебное пособие [Текст] / А. И. Воячек, В. В. Сенькин; Федеральное агентство по образованию, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Пензенский гос. ун-т». Пенза: Изд-во Пензенского гос. ун-та, 2008. 223 с.
6. Выпускная квалификационная работа бакалавра: учебно-методическое пособие для студентов направления подготовки 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» (Автомобили и автомобильное хозяйство) [Текст] / В.Е. Епишкин, И.В. Турбин. Тольятти: ТГУ, 2018. 113 с.
7. Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.

8. 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.

9. Демура Н. А. Экономика предприятия [Текст]: учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства и направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. Белгород: Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. 124 с.

10. Детали машин: В 2 ч. [Текст] / [Б. А. Байков и др.]; Под общ. ред. Д. Н. Решетова. - 5-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1992. Ч. 1. - М.: Машиностроение, 1992. 351 с.

11. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учеб. пособие для вузов [Текст] / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. 8-е изд., перераб. и доп.; гриф МО. Москва: Академия, 2003. 496 с.

12. Клевлеев, В. М. Метрология, стандартизация и сертификация: Учеб. для студентов учреждений сред. проф. образования [Текст] / В. М. Клевлеев, И. А. Кузнецова, Ю. П. Попов. М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2003. 255 с.

13. Крылова, Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: учеб. для вузов [Текст] / Г. Д. Крылова. - 3-е изд., перераб. и доп.; Гриф МО. Москва: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. 671 с.

14. Куклин, Н. Г. Детали машин: учеб. для техникумов [Текст] / Н. Г. Куклин, Г. С. Куклина, В. К. Житков. - 5-е изд., перераб. и доп.; Гриф МО. Москва: Илекса, 1999. 391 с.

15. Малкин, В. С. Основы проектирования и эксплуатации технологического оборудования: учеб. пособие по курсовому проектированию для студентов специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» [Текст] / В. С. Малкин, Н. И. Живоглядов, Е. Е. Андреева. - Гриф УМО; ТГУ. Тольятти: ТГУ, 2005. 108 с.

16. Машины и стенды для испытания деталей [Текст] / В. Л. Гадолин [и др.]; под ред. Д. Н. Решетова. Москва: Машиностроение, 1979. 343 с.

17. Напольский, Г. М. Технологическое проектирование автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания: учеб. для вузов по специальности «Автомобили и автомоб. хоз-во» [Текст] / Г. М. Напольский. - 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Транспорт, 1993. 271 с.

18. Пат. 107355 Российская Федерация, МПК G 01 M 17/00. Стенд для испытания узлов и агрегатов автотранспортных средств [Текст] / Бижов Сергей Михайлович (RU), Греков Сергей Христофорович (RU), Филипенко Константин Борисович (RU); заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество "Автомобильный завод "УРАЛ" (RU) – № 2011109280/11; заявл. 11.03.2011; опубл. 10.08.2011.

19. Пат. 2049325 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/32. Установка для испытания образцов на усталость [Текст] / Лодус Евгений Васильевич; заявитель и патентообладатель Лодус Евгений Васильевич - № 5002250/28; заявл. 28.11.1991; опубл. 27.11.1995.

20. Пат. 2336516 Российская Федерация, МПК G 01 M 17/04. Стенд для испытания упругих элементов на усталость [Текст] / Лелюх Борис Федорович (RU), Валентов Александр Викторович (RU); заявитель и патентообладатель Томский политехнический университет - государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования (RU) № 2007116667/11, заявл. 02.05.2007; опубл. 20.10.2008.

21. Патентные исследования объекта дипломного проекта : учеб.-метод. пособие [Текст] / [авт.-сост. Н. З. Мазур, Е. М. Чертаков]. ТГУ. Тольятти: ТГУ, 2005. 89 с.

22. Петин, Ю. П. Техническая эксплуатация автомобилей : учеб.-метод. пособие по курсовому проектированию [Текст] / Ю. П. Петин, Е. Е. Андреева; ТГУ; Ин-т машиностроения; каф. "Проектирование и эксплуатация автомобилей". ТГУ. Тольятти: ТГУ, 2013. 116 с.

23. Приводы машин: справочник [Текст] / В. В. Длоугий [и др.]; под общ. ред. В. В. Длоугого. - 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград: Машиностроение, 1982. 383 с.

24. Расчёты и испытания на прочность в машиностроении. Методы механических испытаний металлов. Методы испытаний на усталость = Strength analysis and testing in machine building. Methods of metals mechanical testing. Methods of fatigue testing [Текст]: государственный стандарт Союзв СССР ГОСТ 25.502-79 : взамен ГОСТ 23026-78, ГОСТ 2860-65 в части пп. 6.1 и 6.2: введён с 01.01.81 до 01.07.91 / Государственный комитет СССР по стандартам. Москва: Изд-во стандартов, 1986 г. 34 с.

25. Суворов, Г. А. Гигиеническое нормирование производственных шумов и вибраций [Текст] / Г. А. Суворов, Л. Н. Шкаринов, Э. И. Денисов. М.: Медицина, 1984. 240 с.

26. 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.

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

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

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

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

Приложение А Спецификация

Перв. примен.			Справ. №			Подп. и дата			Инв. № дубл.			Взам. инв. №			Подп. и дата			Инв. № подл.		
Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание														
				Документация																
A1			25.ДП.01.136.61.00.000.СБ	Сборочный чертеж	2															
				Сборочные единицы																
A1		1	25.ДП.01.136.61.01.000	Стенд для испытания растяжек подвески автомобиля циклическими нагрузками	1															
		2	25.ДП.01.136.61.02.000	Рама	1															
A1		3	25.ДП.01.136.61.03.000	Площадка для испытания растяжек	1															

Рисунок А.1 – Общая спецификация на стенд для испытания растяжек подвески автомобиля циклическими нагрузками

Продолжение Приложения А

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
A4							
					<u>Документация</u>		
A4				25.ДПО1136.6100.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
A1				25.ДПО1136.6101.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
Справ. №							
					<u>Сборочные единицы</u>		
			1	25.ДПО1136.6105.000	Кулак поворотный	2	
			2	25.ДПО1136.6106.000	Ось ступицы	1	
			3	25.ДПО1136.6107.000	Ремень поликлиновой	1	
			4	25.ДПО1136.6108.000	Ремень зубчатый	1	
			5	25.ДПО1136.6109.000	Ролик натяжной	2	
			6	25.ДПО1136.6110.000	Шатун в сборе	1	
Подп. и дата			7	25.ДПО1136.6111.000	ШРУС	2	
			8	25.ДПО1136.6112.000	Электродвигатель	1	
Инф. № докл.					<u>Детали</u>		
Взам. инв. №				9	25.ДПО1136.6101009	Ступица	1
				10	25.ДПО1136.6101010	Втулка	1
				11	25.ДПО1136.6101011	Пластина для крепления	1
Подп. и дата					электродвигателя		
				12	25.ДПО1136.6101012	Профиль прямоугольный 25x25x2	1
				13	25.ДПО1136.6101013	Стальной лист s=10 мм	1
Инф. № подл.				25.ДП.01.136.61.01.000			
	Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Привод стенда для испытания на долговечность растяжки подвески автомобиля		
	Разраб.	Фесенко А.Л.					
	Проб.	Саламатин Н.С.					
	Н.контр.	Саламатин Н.С.					
	Утв.	Бобровский АВ					
					Лит.	Лист	Листов
					Д	1	3
					ТГУ, АТс-2001б		

Копировал

Формат А4

Рисунок А.2 – Спецификация на привод стенда для испытания растяжек подвески автомобиля циклическими нагрузками

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		14	25.ДПО1136.6101014	Ступица	1	
		15	25.ДПО1136.6101015	Швеллер №14	1	
		16	25.ДПО1136.6101016	Двутавр №14	1	
		17	25.ДПО1136.6101017	Профиль прямоугольный 60x25x25	1	
		18	25.ДПО1136.6101018	Шкив	1	
		19	25.ДПО1136.6101019	Шкив малый	1	
		20	25.ДПО1136.6101020	Швеллер №14	1	
		21	25.ДПО1136.6101021	Металлический диск	1	
		22	25.ДПО1136.6101022	Шкив большой	1	
		23	25.ДПО1136.6101023	Держатель	1	
		24	25.ДПО1136.61.01024	Ось	1	
		25	25.ДПО1136.6101025	Шкив	1	
				Стандартные изделия		
		27		Болт М12х55 (S18) ГОСТ 15589-70	1	
		28		Гайка М12-6Н ГОСТ 15521-70	7	
		29		Болт М10х32 (S16) ГОСТ 15589-70	3	
		30		Шайба 10 ГОСТ 6402-70	7	
		31		Гайка М10-6Н ГОСТ 15521-70	5	
		32		Hexagon socket head cap screw ISO 4762 – M10 x 80 – 10.9	1	
		33		Шайба ГОСТ 28848-90-10-100 HV	1	
		34		Болт М12х45 (S18) ГОСТ 15589-70	6	
		35		Шайба 12 ГОСТ 6402-70	6	
		36		Шайба А 10.37 ГОСТ 10450-78	2	
		37		Шайба ГОСТ 28848-90-10-100 HV	4	
		38		Болт М10х65 (S16) ГОСТ 15589-70	1	
		39		Болт М14х28 (S21) ГОСТ 15589-70	4	
		40		Болт М10х28 (S16) ГОСТ 15589-70	4	
		41		Болт М10х45 (S16) ГОСТ 15589-70	2	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	25.ДП.01.136.61.01.000	Лист 2
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		
					Копировал	
					Формат А4	

Рисунок А.3 – Спецификация на стенд для испытания растяжек подвески автомобиля циклическими нагрузками

Продолжение Приложения А

[illegible]

Рисунок А.4 – Спецификация на стенд для испытания растяжек подвески автомобиля циклическими нагрузениями

Продолжение Приложения А

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Спроб. №	A1			25.ДПО1136.6103.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
					Сборочные единицы		
			1	25.ДПО1136.6113.000	Тензометрический датчик	1	
			2	25.ДПО1136.6114.000	Устройство для нагружения	1	
Подп. и дата							
					Детали		
			3	25.ДПО1136.6103.003	Профиль прямоугольный 40x20x2	1	
			4	25.ДПО1136.6103.004	Стальной лист s=10 мм	1	
			5	25.ДПО1136.6103.005	Профиль прямоугольный 40x20x2	1	
Инв. № докл.					Стандартные изделия		
			6		Болт 2М12x130 (S18) ГОСТ 15589-70	1	
			7		Втулка	1	
			8		Болт М10x45 (S16) ГОСТ 15589-70	1	
			9		Гайка М10-6Н ГОСТ 15521-70	5	
Взам. инв. №			10		Шайба А 10.37 ГОСТ 10450-78	1	
			11		Шайба ГОСТ 28848-90-10-100 HV	2	
Инв. № подл.					25.ДПО1.136.03.000		
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лит.	Лист
	Разраб.	Фесенко А.Л.				Д	1
	Проб.	Саламатин Н.С.					2
	Н.контр.	Саламатин Н.С.					
Площадка для испытания растяжек						ТГЧ, АТс-2001б	
Утв.						Бобровый АВ	

Копировал

Формат А4

Рисунок А.5 – Спецификация на площадку для испытания растяжек

Продолжение Приложения А

[illegible]

Рисунок А.5 – Спецификация на площадку для испытания растяжек