

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 системы питания для работы на сжиженном  
нефтяном газе автомобиля УАЗ-3909

Обучающийся

В.А. Катин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Консультанты

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

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

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

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

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

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Тольятти 2025

## Аннотация

Выпускная квалификационная работа «Проектирование системы питания для работы на сжиженном нефтяном газе автомобиля УАЗ-3909» посвящена разработке и обоснованию технических решений по переводу легкого коммерческого автомобиля УАЗ-3909 на альтернативное топливо – сжиженный углеводородный газ (СУГ).

Актуальность темы обусловлена ростом цен на бензин, ужесточением экологических норм и необходимостью снижения эксплуатационных расходов автопарков. Цель исследования – спроектировать комплексную систему газоснабжения двигателя автомобиля УАЗ-3909, обеспечивающую безопасную, экономичную и экологически приемлемую работу силового агрегата на СУГ.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

- провести сравнительный анализ конструкции штатной системы питания бензинового двигателя УАЗ-3909 и требования к переводу ДВС на газовое топливо;
- произвести подбор и обосновать выбор комплектующих газового оборудования (редуктора, форсунок, баллона, трубопроводов и клапанов).
- выполнить тяговый расчет автомобиля УАЗ-3909 в соответствии с методикой проведения расчетов транспортных средств;
- выполнить расчеты параметров газоподачи и определить режимы работы силового агрегата;
- разработать схемы монтажа газобаллонного оборудования и дать рекомендации по его настройке;
- разработать технологическую карту проведения работ по установке газобаллонного оборудования;
- оценить экономическую и экологическую эффективность предложенного решения.

Методы исследования включают системный и сравнительный анализ, инженерные расчеты, 3D-моделирование деталей, а также оценку технико-экономических показателей.

Работа состоит из введения, пяти тематических глав, заключения, списка использованных источников и приложений. В первой главе обоснована актуальность и сформулированы цели и задачи. В следующих главах рассмотрены теория газификации двигателей, выбор оборудования, проведение инженерных расчетов, разработка монтажных и исполнительных чертежей, а также анализ эффективности.

Практическая ценность работы заключается в готовом проекте системы питания СУГ-двигателя УАЗ-3909, включающем комплект конструкторской и эксплуатационной документации, что позволяет внедрить решение на реальный автомобиль с минимальными доработками.

## Abstract

The final qualifying work "Design of a fuel system for operation on liquefied petroleum gas for the UAZ-3909 vehicle" is devoted to the development and justification of technical solutions for the conversion of the UAZ-3909 light commercial vehicle to an alternative fuel - liquefied petroleum gas (LPG).

The relevance of the topic is due to the rise in gasoline prices, tightening environmental standards and the need to reduce operating costs of vehicle fleets. The purpose of the study is to design a comprehensive gas supply system for the UAZ-3909 vehicle engine, ensuring safe, economical and environmentally acceptable operation of the power unit on LPG.

To achieve the goal, the following tasks were set:

- conduct a comparative analysis of the design of the standard fuel system of the UAZ-3909 gasoline engine and the requirements for converting the internal combustion engine to gas fuel;
- select and justify the choice of gas equipment components (gearbox, injectors, cylinder, pipelines and valves).
- perform traction calculation of the UAZ-3909 vehicle in accordance with the methodology for calculating vehicles;
- perform calculations of gas supply parameters and determine the operating modes of the power unit;
- develop gas cylinder equipment installation diagrams and provide recommendations for its configuration;
- develop a process map for performing work on installing gas cylinder equipment;
- evaluate the economic and environmental efficiency of the proposed solution.

«Research methods include system and comparative analysis, engineering calculations, 3D modeling of parts, as well as an assessment of technical and economic indicators.» [21]

The work consists of an introduction, six thematic chapters, a conclusion, a list of references and appendices. The first chapter substantiates the relevance and formulates the goals and objectives. The following chapters discuss the theory of engine gasification, equipment selection, engineering calculations, development of installation and executive drawings, as well as an analysis of efficiency.

The practical value of the work lies in the finished project of the LPG fuel system of the UAZ-3909 engine, including a set of design and operational documentation, which allows the solution to be implemented on a real car with minimal modifications.

## Содержание

Введение .....	8
1 Теоретические исследования разработки конструкции .....	10
1.1 Факторы эффективности газового топлива в системах питания автомобильного транспорта .....	10
1.2 Методы повышения эффективности эксплуатации автомобиля путем перевода на газовую систему питания .....	12
1.3 Анализ конструкторских решений систем питания газового топлива	14
2 Тяговый расчет автомобиля УАЗ-3909 .....	19
2.1 Техническая характеристика автомобиля УАЗ-3909 .....	19
2.2 Расчет массо-габаритных параметров транспортного средства .....	20
2.3 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя .....	22
2.4 Определение передаточного числа главной передачи и коробки передач .....	24
2.5 Тяговый баланс автомобиля .....	26
2.6 Время и путь разгона автомобиля .....	30
2.7 Мощностной баланс автомобиля .....	32
2.8 Топливо-экономическая характеристика транспортного средства	33
3 Конструкторская часть .....	35
3.1 Эскизная компоновка проектируемого автомобиля .....	35
3.2 Обзор и анализ выполненных конструкторских решений .....	37
3.3 Описание конструкторской разработки .....	39
4 Технологический раздел дипломного проекта .....	50
4.1 Описание детали .....	50
4.2 Анализ технологичности детали .....	51
4.3 Выбор способа получения заготовки .....	52
4.4 Разработка технологического процесса изготовления детали .....	54
5 Безопасность объекта дипломного проектирования. Безопасность участка сборки .....	57

5.1 Краткая техническая характеристика объекта дипломного проектирования .....	57
5.2 Профессиональные риски объекта дипломного проектирования .....	60
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	62
5.4 Обеспечение пожарной безопасности участка сборки .....	64
5.5 Обеспечение экологической безопасности .....	67
6 Расчет себестоимости нормо-часа работ участка сборки .....	69
6.1 Описание участка и производимых работ .....	69
6.2 Расчет затрат на расходные материалы, используемые на сборочном участке .....	70
6.3 Расчет затрат на амортизационные отчисления на сборочном участке .....	72
6.4 Расчет затрат на электрическую энергию на участке сборки .....	74
6.5 Расчет затрат на заработную плату персонала .....	76
Заключение .....	80
Список используемой литературы и используемых источников .....	86

## Введение

В современных условиях существенного роста цен на традиционные моторные топлива и ужесточения экологических требований к выхлопам автотранспорта повышается интерес к альтернативным видам топлива, в частности к сжиженному нефтяному газу (СНГ). Преимущества СНГ — более низкая стоимость за литр, уменьшенный удельный выброс вредных веществ (окиси азота, углеводородов, сернистых соединений) и высокая калорийность — делают его одним из наиболее перспективных энергоносителей для передвижных транспортных средств. Особую актуальность переоборудование на газ приобретает для коммерческих и коммунальных автомобилей повышенной проходимости, таких как УАЗ-3909, эксплуатируемых в условиях сурового климата и недостаточно развитой дорожной сети.

Объектом выпускаемой выпускной квалификационной работы является автомобиль УАЗ-3909, предназначенный для перевозки пассажиров и мелкогабаритных грузов. Предметом исследования выступает система питания двигателя СНГ, включающая газобаллонное оборудование, газовую магистраль, дозирующие устройства и систему управления.

Цель и задачи работы. Цель исследования — разработка и обоснование конструкции системы питания двигателя автомобиля УАЗ-3909, работающего на сжиженном нефтяном газе. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- Провести технико-экономическое обоснование и оценить экономическую целесообразность перевода автомобиля на СНГ (глава 1).
- Выполнить тяговый расчет автомобиля для выбора оптимального состава и настроек системы газоснабжения (глава 2).
- Разработать компоновочную схему установки газобаллонного оборудования (ГБО) с учётом габаритов, центра масс и требований безопасности (глава 3).
- Спроектировать конструкцию системы питания: выбрать тип газового



редуктора, форсунок, состав топливопровода и элементы управления (глава 4).

- Провести анализ и разработать мероприятия по обеспечению безопасности жизнедеятельности при эксплуатации ГБО на СНГ (глава 5).

- Оценить экономические эффекты от применения разработанной системы: рассчитать стоимость переоборудования, эксплуатационные расходы и срок окупаемости (глава 6).

Методы исследования. В работе использован комплекс методов: технический анализ и обобщение опыта использования газобаллонного оборудования; математическое моделирование процессов поступления и сгорания газо-воздушной смеси; силовые и теплотехнические расчёты; методы экономической оценки и технико-экономического сравнения; нормативно-правовой анализ требований по безопасности.

Научная новизна и практическая значимость. Научная новизна работы заключается в комплексном подходе к проектированию системы питания УАЗ-3909 на СНГ с учётом особенностей отечественного газового оборудования и специфики условий эксплуатации в регионе. Практическая значимость состоит в том, что результаты исследования (чертежи компоновки, технические расчёты, рекомендации по безопасности и экономической эффективности) могут быть использованы при переоборудовании серийных и коммерческих автомобилей УАЗ-3909 для работы на сжиженном газе.

Структура работы. ВКР состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Первая глава посвящена технико-экономическому обоснованию перевода автомобиля на СНГ. Во второй главе выполнен тяговый расчёт автомобиля для выбора параметров питания. Третья глава содержит компоновочное решение размещения газобаллонного оборудования. В четвёртой главе представлена конструкция системы питания двигателя на СНГ.

В заключении подводятся основные итоги исследования и формулируются рекомендации по внедрению разработанной системы питания на базе автомобиля УАЗ-3909.

## **1 Теоретические исследования разработки конструкции**

### **1.1 Факторы эффективности газового топлива в системах питания автомобильного транспорта**

Эффективность газового топлива, сжиженного нефтяного газа (СПГ) или сжатого природного газа (КПГ) в автомобильном транспорте определяется комплексом факторов, которые можно разделить на несколько групп. Первая группа, это факторы, связанные со свойствами топлива:

- СПГ и КПГ обладают более низкой теплотой сгорания по сравнению с бензином, что означает, что для получения той же мощности требуется большее количество газа. Однако, это компенсируется другими факторами, например, более полным сгоранием.

- Октановое число. КПГ обладает очень высоким октановым числом, что позволяет использовать более высокую степень сжатия в двигателе и, следовательно, повысить его эффективность. СПГ имеет октановое число, близкое к бензину.

- Состав газа может варьироваться, влияя на его горючесть и эффективность сгорания. Присутствие примесей может снизить КПД.

- Чистота газа влияет на состояние компонентов газобаллонного оборудования (ГБО) и двигателя. Загрязнения могут привести к преждевременному износу.

Вторая группа факторов, это факторы, связанные с системой питания:

- Эффективность работы ГБО существенно влияет на общий КПД. Современные системы ГБО обеспечивают более точную дозировку топлива и лучшее смесеобразование, что приводит к повышению эффективности.

- Неправильная установка и настройка ГБО могут привести к неполному сгоранию топлива, снижению мощности и увеличению расхода.

- Износ или поломки компонентов ГБО (редукторы, форсунки, датчики) снижают эффективность работы системы. Регулярное техническое

обслуживание является критичным.

- Выбор типа инжектора (последовательный, одновременный) влияет на эффективность смесеобразования.

Третий фактор, это факторы, связанные с двигателем (конструкция, состояние, особенности работ):

- Двигатели, специально разработанные для работы на газе, обладают более высокой эффективностью, чем бензиновые двигатели, переоборудованные для работы на газе.

- Правильная настройка двигателя под газовое топливо (калибровка) критически важна для достижения максимальной эффективности.

- Износ двигателя, например, поршневой группы, цилиндров, клапанов, снижает эффективность как бензинового, так и газового варианта.

Четвертая группа факторов, к которым относятся факторы, связанные с эксплуатацией:

- Стиль вождения: Агрессивный стиль вождения приводит к повышенному расходу топлива независимо от типа топлива.

- Условия эксплуатации: Холодный пуск двигателя на газе может быть менее эффективным, чем на бензине, особенно в условиях низких температур. Поэтому многие системы ГБО предусматривают запуск на бензине.

- Качество обслуживания: Регулярное техническое обслуживание автомобиля и ГБО является ключевым фактором эффективности.

Экономические факторы являются во многом определяющими при принятии решения о переводе транспортного средства на СПГ или КПГ. К ним относятся:

- Цена газа по сравнению с бензином является важным фактором экономической эффективности. Однако, цена газа может колебаться, что влияет на общую экономию.

- Установка ГБО требует дополнительных затрат, которые должны быть учтены при оценке общей экономической выгоды.

В целом, эффективность газового топлива в автомобильном транспорте зависит от множества взаимосвязанных факторов. Для достижения максимальной эффективности необходимо использовать современное и правильно настроенное ГБО, качественное газовое топливо, и двигатель, оптимизированный для работы на газе. Правильное обслуживание и бережный стиль вождения также играют важную роль. Только комплексный подход позволяет раскрыть весь потенциал газового топлива и получить реальную экономическую выгоду.

## **1.2 Методы повышения эффективности эксплуатации автомобиля путем перевода на газовую систему питания**

Перевод автомобиля на газовую систему питания (ГБО) — один из способов повышения эффективности его эксплуатации, но это не панацея, и эффективность зависит от множества факторов. Рассмотрим методы повышения эффективности при переводе автомобиля на газовое топливо.

«Основным фактором повышения эффективности эксплуатации является экономия на топливе. Прямая экономия является основным фактором повышения эффективности эксплуатации. Цена газа (КПГ или СПГ) обычно значительно ниже цены бензина или дизельного топлива. Экономия зависит от текущих цен на топливо и конкретной модели автомобиля. Увеличение ресурса двигателя также является определяющим моментом. Газ – более чистое топливо, чем бензин или дизель. Это приводит к меньшему образованию нагара на свечах зажигания, клапанах и в цилиндрах, снижая износ двигателя и увеличивая его ресурс. В результате сокращаются расходы на ремонт и обслуживание. Однако, этот эффект не всегда ярко выражен и зависит от качества газа и правильности настройки ГБО.» [11]

Повышение экологичности также является фактором повышения эффективности эксплуатации автомобиля. В первую очередь, это снижение вредных выбросов. Газ горит более чисто, чем бензин или дизель, выделяя

меньше вредных веществ в атмосферу (углекислый газ, оксиды азота, сажа). Это актуально в условиях ужесточения экологических норм и потенциального введения дополнительных налогов на автомобили с высоким уровнем выбросов. Повышение октанового числа также благоприятно сказывается на эффективности. Высокое октановое число КПП позволяет использовать более высокие степени сжатия, что в свою очередь, может потенциально приводить к более полному сгоранию топлива и, следовательно, к снижению выбросов.

В некоторых случаях, работа двигателя на газе может быть более плавной и тихой, особенно при низких оборотах. Однако, это сильно зависит от типа двигателя и качества ГБО. Чистое горение газа способствует меньшему образованию нагара на свечах, что увеличивает их ресурс.

Методы повышения эффективности при переходе на ГБО включают следующий комплекс выбора. Выбор подходящей системы ГБО (поколение, тип инжектора) в зависимости от типа двигателя и требований к производительности. Современные поколения ГБО (например, 4-е или 5-е) обеспечивают более точное дозирование топлива и оптимальное смесеобразование, повышая эффективность.

Профессиональная установка и тщательная настройка ГБО квалифицированными специалистами крайне важны для достижения максимальной эффективности. Неправильная настройка может привести к снижению мощности, повышенному расходу газа и повреждению двигателя.

Регулярное техническое обслуживание, включающее проверку и регулировку компонентов ГБО, замену фильтров и т.д., обеспечивает стабильную и эффективную работу системы.

Использование качественного газового топлива (с минимальным содержанием примесей) способствует более эффективному сгоранию и продлевает срок службы компонентов ГБО и двигателя.

Экономичный стиль вождения (плавное ускорение, избегание резких торможений) способствует снижению расхода топлива вне зависимости от типа топлива.

Однако, наряду с преимуществами, которое дает установка системы питания на газу, есть ряд ограничений, которые этот монтаж накладывает:

- установка газовых баллонов занимает место в багажнике;
- потеря мощности: в некоторых случаях, мощность двигателя на газе может быть несколько ниже, чем на бензине, хотя современные системы ГБО минимизируют этот недостаток;
- установка ГБО требует первоначальных инвестиций.
- для эксплуатации автомобиля на газе необходимо наличие доступных газозаправочных станций.

В заключение, переход на ГБО может быть экономически выгодным и экологически оправданным, но только при правильном подходе, включающем выбор подходящей системы ГБО, профессиональную установку, регулярное обслуживание и экономичный стиль вождения. Необходимо учитывать все факторы и взвесить потенциальные преимущества и недостатки перед принятием решения.

### **1.3 Анализ конструкторских решений систем питания газового топлива**

Анализ конструкторских решений систем питания газового топлива (ГБО) для автомобилей включает рассмотрение различных поколений систем и их особенностей. В процессе анализа были рассмотрены системы ГБО нескольких поколений.

Первое поколение газового оборудования, это простейшая система, использующая смеситель для смешивания газа и воздуха перед дроссельной заслонкой. Отличается низкой эффективностью, значительными потерями мощности и плохой экологичностью из-за неточного смесеобразования. Практически не используется в современных автомобилях. Второе поколение использует эмульсионный смеситель и электронный блок управления (ЭБУ), который регулирует подачу газа, основываясь на параметрах работы двигателя.

Более эффективное, чем первое поколение, но всё еще имеет недостатки в точности дозирования и смесеобразования. Тоже является устаревшим. Третье поколение включает последовательную инжекцию газа. Газ подается непосредственно во впускной коллектор через форсунки, управляемые ЭБУ. Значительно улучшает эффективность сгорания и снижает расход топлива по сравнению с предыдущими поколениями. Обеспечивает более точное смесеобразование, повышая мощность и снижая токсичность выхлопа. Четвертое поколение использует фазированную инжекцию газа с более точным контролем времени впрыска в каждом цилиндре, что обеспечивает еще более эффективное сгорание и оптимальное смесеобразование. Система содержит датчики давления и температуры газа, а также другие датчики для более точного управления. Позволяет добиться максимальной эффективности двигателя и минимизировать расход топлива. Пятое поколение является наиболее совершенной системой ГБО. Они используют адаптивные алгоритмы управления, которые постоянно анализируют работу двигателя и подстраивают параметры впрыска газа в режиме реального времени. Обычно интегрированы с бортовой системой управления автомобилем, позволяя использовать данные о работе двигателя для еще более точного управления подачей газа. Обеспечивает максимальную эффективность и минимальный расход топлива, а также высокую экологичность.

Основными компонентами и типовыми конструкторскими решениями системы ГБО является компонентная база, включающая набор типовых узлов.

- Конструкция баллона (цилиндрический, тороидальный) и материал (сталь, композитные материалы) влияют на его объем, вес, безопасность и долговечность.

- Редуктор преобразует сжатый или сжиженный газ в газообразное состояние с необходимым давлением. Конструктивные особенности редуктора влияют на его эффективность, надежность и скорость отклика.

- Форсунки подают газ в цилиндры двигателя. Конструктивные решения влияют на точность дозировки и распыления газа, что напрямую влияет на

эффективность сгорания.

- Электронный блок управления (ЭБУ) управляет работой всей системы, используя данные с различных датчиков. Сложность и алгоритмы работы ЭБУ определяют точность управления и эффективность системы.

- Датчики измеряют различные параметры (давление и температуру газа, давление воздуха, положение дроссельной заслонки и т.д.). Точность и надежность датчиков критически важны для эффективной работы системы.

На эффективность работы системы ГБО оказывает влияние следующая совокупность факторов:

- более точная дозировка газа ведет к полному сгоранию и меньшему расходу топлива;

- хорошее смесеобразование обеспечивает оптимальное соотношение газ/воздух для полного сгорания;

- быстрый отклик системы на изменение условий работы двигателя позволяет поддерживать оптимальный режим работы;

- надежные и долговечные компоненты обеспечивают бесперебойную работу системы в течение длительного времени;

- интеграция с бортовой системой автомобиля позволяет использовать дополнительные данные для оптимизации работы ГБО.

Дальнейшее развитие ЭБУ систем ГБО развивается в сторону более сложных алгоритмов управления и использование машинного обучения для адаптации к различным условиям работы. Использование более легких и прочных материалов для баллонов и других компонентов позволяет значительно снизить вес компонентов системы ГБО и в целом сделать ее более компактной. Разработка систем ГБО для гибридных и электромобилей, использующих газ в качестве дополнительного источника энергии, позволит создавать транспортные средства на альтернативных источниках энергии.

В заключение, эффективность систем ГБО постоянно улучшается благодаря развитию конструкторских решений и технологий. Современные системы ГБО обеспечивают высокую эффективность, надежность и



экологичность, делая использование газового топлива в автомобильном транспорте всё более привлекательным.

В результате анализа конструктивных решений систем питания автомобилей на газовом топливе и оценки эффективности их внедрения, можно сделать следующие выводы:

Прослеживается четкая тенденция к повышению эффективности систем ГБО с каждым поколением. Переход от простых смесительных систем к системам с фазированной и адаптивной инжекцией газа значительно улучшил точность дозирования топлива, качество смесеобразования и, как следствие, экономичность и экологичность автомобилей. Качество компонентов ГБО (редуктор, форсунки, ЭБУ, датчики) и точность их работы критически важны для достижения максимальной эффективности. Современные системы с высокоточными датчиками и сложными алгоритмами управления обеспечивают оптимальное соотношение "газ-воздух" в широком диапазоне рабочих режимов двигателя.

Экономическая эффективность перевода автомобилей на газовое топливо напрямую зависит от разницы в цене газа и бензина/дизеля, стоимости установки и обслуживания ГБО, а также от пробега автомобиля. При низкой цене газа и значительном годовом пробеге, экономия может быть существенной. Однако, необходимо учитывать первоначальные инвестиции в установку ГБО.

Использование газового топлива заметно снижает выбросы вредных веществ в атмосферу по сравнению с бензином и дизельным топливом. Это делает газовые автомобили более экологически чистым вариантом транспорта, что особенно актуально в условиях ужесточения экологических норм.

Дальнейшее развитие систем ГБО будет направлено на повышение эффективности, надежности и интеграции с другими системами автомобиля (например, гибридные силовые установки). Ожидается совершенствование алгоритмов управления, использование новых материалов и технологий, а также расширение функциональности систем, например, дистанционный мониторинг состояния ГБО.

Правильная установка, настройка и регулярное техническое обслуживание ГБО квалифицированными специалистами являются залогом его эффективной и безопасной работы. Несоблюдение этих условий может привести к снижению эффективности, повреждению двигателя и созданию опасных ситуаций.

В целом, внедрение систем питания на газовом топливе является перспективным направлением, способствующим повышению экономической эффективности и экологичности автомобильного транспорта. Однако, для достижения максимальной отдачи необходимо использовать современные системы ГБО и обеспечивать их квалифицированное обслуживание.

В рамках выполнения дипломного проекта нами будет производится разработка конструкции системы газобаллонного оборудования и технологии ее установки на автомобиль УАЗ. Это позволит значительно расширить линейку двигателей транспортных средств и их функционал.

## 2 Тяговый расчет автомобиля УАЗ-3909

### 2.1 Техническая характеристика автомобиля УАЗ-3909

«Тяговый расчет автомобиля позволяет рассчитать его скоростные и динамические характеристики, определить мощность двигателя. Характеристики автомобиля приведены в таблице 1.» [1]

Таблица 1 - Технические характеристики УАЗ-3909

Наименование	Значение
Вместимость:	
число мест для сиденья	6
число служебных мест	1
грузоподъемность, кг	925
Снаряженная масса, кг	1850
В том числе:	
на переднюю ось, кг	1020
на заднюю ось, кг	830
Полная масса, кг	2720
В том числе:	
на переднюю ось, кг	1300
на заднюю ось, кг	1420
Макс. скорость, км/ч	127
Время разгона до 60 км/ч, с	20
Максимальный преодолеваемый подъем, %	30
Выбег с 50 км/ч, м	400
Тормозной путь с 60 км/ч, м	32,1
Контрольный расход топлива при 60 км/ч, л/100 км	13,5
смешанный цикл, л/100 км	17
Радиус поворота:	
по внешнему колесу, м	6,3
габаритный, м	6,8

Общий вид автомобиля представлен на рисунке 1.

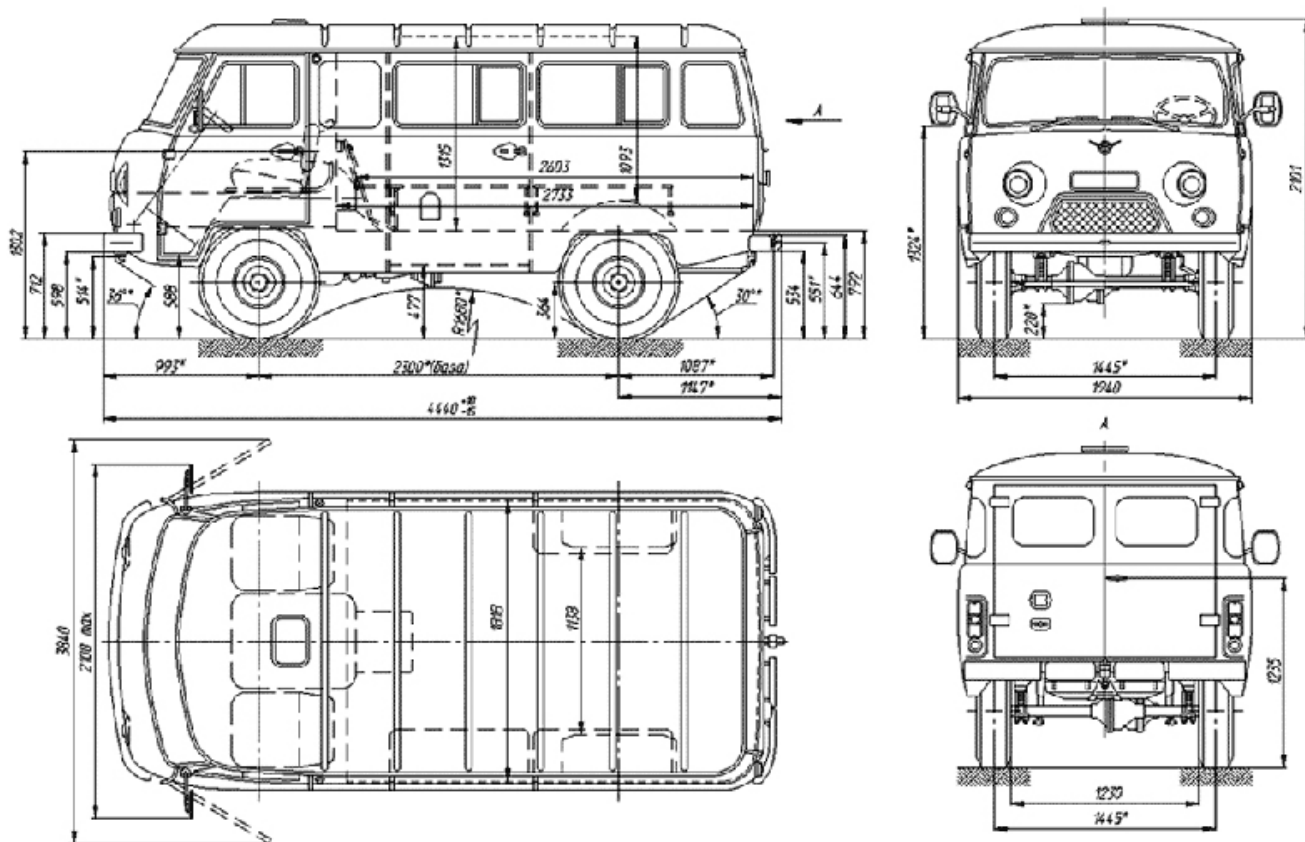


Рисунок 1 – Общий вид автомобиля УАЗ-3909

## 2.2 Расчет массо-габаритных параметров транспортного средства

Полная масса автомобиля находится по формуле:

$$m_a = m_0 + (m_n + m_б) \cdot n_n, \quad (1)$$

«где  $m_0$  - снаряженная масса автомобиля;

$m_n$  - масса одного пассажира,  $m_n = 75$  кг;

$m_б$  - масса багажа, приходящегося на одного пассажира,  $m_б = 10$  кг;

$n_n$  - число мест пассажиров, включая водителя,  $n_n = 5$  чел.» [6], [10]

$$m_a = 1950 + (75 + 10) \cdot 5 = 2375 \text{ кг.}$$

«Классическая компоновка предполагает распределение массы по осям автомобиля в пропорции 50 на 50 процентов. Следовательно, вес автомобиля, приходящийся на каждую ось, определяется по формуле:

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} \cdot m_a \cdot g, \quad (2)$$

где  $F_1$  - вес, приходящийся на переднюю ось автомобиля, Н;

$F_2$  - вес, приходящийся на заднюю ось автомобиля, Н;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ М/с}^2$ ;» [3], [10]

$$F_1 = F_2 = \frac{1}{2} \cdot 2375 \cdot 9,81 = 8215,875 \text{ Н.}$$

«Шины выбираем бескамерные радиальные, размерностью 195/80 R16. Зная размер шин, определяем статический радиус колеса:

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H, \quad (3)$$

где  $d$  - посадочный диаметр шины:

$\lambda_z$  - коэффициент вертикальной деформации шины,  $\lambda_z = 0,85$ ;

$H$  - высота профиля шины,  $H = 0,8 \cdot 195 = 152 \text{ мм}$ ;

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot 330,2 + 0,85 \cdot 152 = 277,3 \text{ мм.}$$

На дорогах с твёрдым покрытием:

$$r_{\text{ст}} = r_{\text{д}} = r_{\text{к}}, \quad (4)$$

где  $r_{\text{д}}$  - динамический радиус колеса, м;

$r_{\text{к}}$  - радиус качения колеса, м;» [2]

Зная массу автомобиля, произведем расчёт внешней скоростной характеристики двигателя.

### 2.3 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя

Мощность двигателя определяется при максимальной скорости автомобиля с учетом КПД трансмиссии по формуле:

$$N_V = \frac{N_K + N_g}{1000 \cdot \eta_T} = \frac{m_a \cdot g \cdot \psi_V \cdot V_{\max} + K_B \cdot A_a \cdot V_{\max}^3}{1000 \cdot \eta_T}, \quad (5)$$

«где  $m_a$  - полная масса автомобиля;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ М/с}^2$ ;

$\psi_V$  - коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля:» [6]

$$\psi_V = f_V = f_K \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot V_{\max}^2) \quad (6)$$

$$\psi_V = 0.01 \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot 38.9^2) = 0.017;$$

« $K_B$  - коэффициент сопротивления воздуха,  $K_B = 0,35$ ;

$\eta_T$  - КПД трансмиссии:  $\eta_T = 0,98^0 \cdot 0,97^1 \cdot 0,98^3 = 1 \cdot 0,97 \cdot 0,94 = 0,91$ ;

$$N_V = \frac{1675 \cdot 9,81 \cdot 0,017 \cdot 38,9 + 0,35 \cdot 2,24 \cdot 38,9^3}{1000 \cdot 0,91} = \frac{57015,6}{910} = 62,6 \text{ кВт.}$$

Максимальная мощность двигателя определяется по формуле:

$$N_e = \max \frac{N_v}{\frac{\omega_v}{\omega_N} + \left(\frac{\omega_v}{\omega_N}\right)^2 - \left(\frac{\omega_v}{\omega_N}\right)^3} \quad (7)$$

где  $\omega_N$  - угловая скорость коленчатого вала при максимальном значении мощности:» [2], [10]

$$\omega_N = \frac{\pi \cdot n_N}{30}, \quad (8)$$

«где  $n_N$ - частота вращения коленчатого вала при максимальном значении мощности, об/мин.,  $n_N = 5200 \text{ мин}^{-1}$ ;

$$\omega_N = \frac{3,14 \cdot 5200}{30} = 544,26 \text{ с}^{-1};$$

$\omega_v$  - коленчатого вала двигателя, при которой достигается максимальная скорость автомобиля:» [1]

$$\omega_v = 1,1 \cdot \omega_N, \quad (9)$$

$$\omega_v = 1,1 \cdot 544,26 = 598,6 \text{ с}^{-1};$$

$$N_e^{max} = \frac{62,6}{\frac{598,6}{544,26} + \left(\frac{598,6}{544,26}\right)^2 - \left(\frac{598,6}{544,26}\right)^3}$$

«По полученным значениям  $N_e^{max}$ ,  $N_v$  и формуле рассчитывают внешнюю скоростную характеристику двигателя выбрав 6 значений в диапазоне  $\omega_{max_{min}}$ » [6]

Таблица 2 – Внешняя скоростная характеристика автомобиля

$n_e$ (об/мин)	800	1900	3000	4100	5200	5719
$\omega_e$ ( $\text{с}^{-1}$ )	83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
$N_e$ (кВт)	11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,4
$M_e$ ( $\text{Н} \cdot \text{м}$ )	133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57

$$N_e = N_e^{max} \left[ \frac{\omega_e}{\omega_N} + \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^2 - \left(\frac{\omega_e}{\omega_N}\right)^3 \right] \quad (10)$$

«где  $\omega_e$ - текущие значения угловой скорости коленчатого вала рад/с;

$N_e$  - текущее значение эффективной мощности двигателя, кВт;» [2]

Для построения кривой эффективного момента  $M_e$  применяем формулу:

$$M_e = 1000 \cdot \frac{N_e}{\omega_e}, \quad (11)$$

Результаты расчета по формулам 10 и 11 представлены в таблице 2.

## 2.4 Определение передаточного числа главной передачи и коробки передач

«Передаточное число главной передачи  $U_0$  определяется, исходя из максимальной скорости автомобиля:

$$U_0 = \frac{\omega_{Kmax}}{U_K^e \cdot V_{max}}, \quad (12)$$

где  $\omega_{max}$  - максимальная угловая скорость коленчатого вала двигателя;»  
[24]

$$U_K^e = U_{K4} = 1,0;$$

$$U_0 = \frac{598,6 \cdot 0,277}{1 \cdot 38,9} = 4,26.$$

«Для обеспечения возможности движения автомобиля в этих условиях тяговая сила на ведущих колесах  $F_T$  должна быть больше силы сопротивления дороги  $F_D$ , т.е.:» [6]

$$\frac{MT_{01max}}{r_{Ka} \cdot 1 \cdot \frac{G_a \cdot \psi_{Kmax}}{MT_{0max} \cdot m}} \quad (13)$$

где  $U_0$  - передаточное число главной передачи;



« $U_1$  - передаточное число коробки передач при включенной первой передаче;

$\psi_{max}$  - коэффициент сопротивления дороги:» [6]

$$\psi_{Kmax_{max}} = \frac{MT_{01max}}{r_{Ka} \frac{G_a \cdot \psi_{Kmax}}{MT_{0max, m}}} \quad (14)$$

$$U_1 \geq \frac{1675 \cdot 0,23 \cdot 0,277}{147,19 \cdot 0,91 \cdot 4,26} = 1,83;$$

«Во избежание буксования ведущих колес тяговая сила на первой передаче должна быть меньше силы сцепления колес с дорогой:

$$\frac{MT_{01max}}{r_{K_{сц}} \frac{G_{сц} \cdot \phi \cdot r_K}{MT_{0max}}} \quad (15)$$

где  $G_{сц}$  - сцепной вес автомобиля;

$\phi$  - коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой;

$$U_1 \leq \frac{1675 \cdot 0,8 \cdot 0,277}{147,19 \cdot 0,91 \cdot 4,256} = 4,30;$$

Для пятиступенчатой коробки передач:

принимаяем  $U_{K1} = 4,0$ ;

$$U_{K2} = \sqrt[3]{U_{K1}^2} = \sqrt[3]{4^2} = 2,51;$$

$$U_{K3} = \sqrt[3]{U_{K1}} = \sqrt[3]{4} = 1,58; \quad (16)$$

принимаяем  $U_{K4} = 1,0$ ;

принимаем  $U_{K5} = 0,8$ .» [17]

Ориентируясь на значения передаточных чисел коробки передач и главной передачи, становится возможным рассчитать баланс тяговых сил на ведущих колесах автомобиля.

## 2.5 Тяговый баланс автомобиля

«Рассчитаем тяговый баланс автомобиля на каждой передаче выбрав 6 значений в диапазоне  $\omega_{max_{min}}$ . Полученные данные по всем передачам сведем в таблицу 3.» [1]

Скорость автомобиля:

$$V = \frac{\omega_e \cdot r_k}{U_K \cdot U_{zn}}, \quad (17)$$

«где  $\omega_e$  - текущее значение угловой скорости коленчатого вала, рад/с;

$r_k$  - радиус качения колеса, м;

$U_{k1}$  - передаточное число коробки передач при включенной передаче;

$U_{zn}$  - передаточное число главной передачи;» [7], [8]

Коэффициент учета вращающихся масс:

$$\delta_j = 1,05 + 0,05 \cdot U_k^2, \quad (18)$$

Сила тяги:

$$F_k = \frac{M_e \cdot U_k \cdot U_{zn} \cdot \eta_T}{r_g}, \quad (19)$$

«где  $M_e$  - текущее значение эффективного крутящего момента,  $H \cdot м$ ;

$U_{k1}$  - передаточное число коробки передач при включенной передаче;

$U_{zn}$  - передаточное число главной передачи;

$\eta_T$  - КПД трансмиссии;

$r_k$  - радиус качения колеса, м;» [8], [9]

Сила сопротивления воздуха:

$$F_g = K_g \cdot A_a \cdot V^2, \quad (20)$$

где  $K_g$  - коэффициент сопротивления воздуха,  $K_g = 0,35$ ;

$A_a$  - лобовая площадь;

$V$  - текущая скорость автомобиля;

Коэффициент сопротивления дороги:

$$\psi_v = f_k \cdot (1 + 5 \cdot 10^{-4} \cdot V^2), \quad (21)$$

где  $f_k$  - коэффициент сопротивления качению;

Сила сцепления колес с дорогой:

$$F_{\psi v} = F_a \cdot \psi_v, \quad (22)$$

где  $F_a$  - сила тяжести, действующая на колеса автомобиля;

$\psi_v$  - коэффициент сопротивления дороги;

Динамический фактор:

$$D_1 = \frac{F_k - F_g}{F_a}, \quad (23)$$

где  $F_k$  - сила тяги;

$F_g$  - сила сопротивления воздуха;

$F_a$  - вес автомобиля;

Ускорение автомобиля:

$$j_a = \frac{D - \psi_v}{\delta_j} \cdot g, \quad (24)$$

«где  $D$  - динамический фактор;

$\psi_v$  - коэффициент сопротивления дороги;

$\delta_j$  - коэффициент учета вращающихся масс;

$g$  - ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ » [8]

Таблица 3 - Тяговый баланс автомобиля на различных (I – V передача)

1-я передача							
$\omega_e$		83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
Ne		11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,6
Me		133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57
1-я передача, $U_{к1}=4,0$ ; $\delta_j=1,85$	V, м/с	1,36	3,23	5,1	6,97	8,84	9,73
	Fк, Н	7481	8157	8239	7727	6623	5853
	Fв, Н	1,45	8,17	20,39	38,08	61,26	74,22
	$F_{\psi_v} + F_g$	165,75	172,47	186,29	205,68	230,46	245,02
	D,	0,45	0,49	0,5	0,46	0,39	0,35
	ja	2,33	2,55	2,59	2,38	2,01	1,8
	1/ja	0,42	0,39	0,38	0,42	0,49	0,55
	$\psi_v$	0,01	0,01	0,0101	0,0102	0,0103	0,0104
2-я передача							
$\omega_e$		83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
Ne		11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,6
Me		133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57
2-я передача, $U_{кII}=2,58$ ; $\delta_{II}=1,36$	V, м/с	2,16	5,15	8,13	11,11	14,09	15,5
	Fк, Н	4694	5119	5170	4848	4156	3673
	Fв, Н	3,65	20,79	51,81	96,77	155,64	188,35
	$F_{\psi_v} + F_g$	167,95	186,69	221,01	270,87	334,74	369,05
	D,	0,28	0,31	0,31	0,28	0,24	0,21
	ja	1,94	2,16	2,16	1,94	1,65	1,43

Продолжение таблицы 3

	1/ja	0,51	0,46	0,46	0,51	0,6	0,69
	$\psi_v$	0,01	0,0101	0,0103	0,0106	0,0109	0,011
3-я передача							
	$\omega_e$	83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
	Ne	11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,6
	Me	133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57
3-я передача, УкIII=1,58; $\delta j = 1,17$	V, м/с	3,44	8,18	12,92	17,66	22,39	24,63
	Fк, Н	2955	3222	3254	3052	2616	2312
	Fв, Н	9,27	52,45	130,87	244,51	393,02	475,6
	$F_{\psi_v} + F_g$	173,57	221,65	308,27	425,21	590,12	689,2
	D,	0,17	0,19	0,19	0,17	0,13	0,11
	ja	1,49	1,5	1,5	1,33	0,98	0,81
	1/ja	0,67	0,66	0,66	0,75	1,02	1,23
	$\psi_v$	0,01	0,0103	0,0108	0,011	0,012	0,013
4-я передача							
	$\omega_e$	83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
	Ne	11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,6
	Me	133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57
4-я передача, УкII=4,0; $\delta j = 1,36$	V, м/с	5,44	12,93	20,41	27,9	35,38	38,92
	Fк, Н	1870	2039	2059	1931	1655	1463
	Fв, Н	23,2	131	326,5	610	981	1187
	$F_{\psi_v} + F_g$	189,1	308,4	523,6	823,6	1243,9	1466,3
	D,	0,11	0,11	0,1	0,08	0,04	0,017
	ja	0,89	0,89	0,78	0,59	0,21	0

Продолжение таблицы 3

	1/ja	1,12	1,12	1,28	1,69	4,76	0
	$\psi_v$	0,0101	0,0108	0,012	0,013	0,016	0,017
5-я передача							
	$\omega_e$	83,73	198,86	314	429,13	544,26	598,6
	Ne	11,19	28,98	46,22	59,24	64,4	62,6
	Me	133,64	145,73	147,19	138,04	118,32	104,57
5-я передача, $U_{kv}=0,8$ ; $\delta_j=1,08$	V, м/с	6,08	16,16	25,52	34,87	-	-
	Fк, Н	1496	1631	1647	1545	-	-
	Fв, Н	29	204	510	953	-	-
	$F_{\psi_v} + F_e$	196,6	384,7	723,6	1215,9	-	-
	D,	0,089	0,086	0,069	0,036	-	-
	ja	0,71	0,68	0,5	0,18	-	-
	1/ja	1,4	1,47	2	5,55	-	-
	$\psi_v$	0,0102	0,011	0,013	0,016	-	-

## 2.6 Время и путь разгона автомобиля

«Время и путь разгона определяют графоаналитическим способом. При расчете используем значения из высшей IV передаче. Полученные данные занесем в таблицу 4.

Время разгона автомобиля:» [10]

$$t_p = \left( \frac{1}{j_{cp}} \right) \cdot \Delta V, \quad (25)$$

где  $j_{cp}$  - среднее значение ускорения автомобиля между двумя участками IV передачи;

$\Delta V$  - разница скорости между двумя участками IV передачи;

«Время разгона от скорости  $V_{min}$  :

$$t_n = \sum_{k=1}^n \Delta t_k, \quad (26)$$

до скорости  $V_1$ :  $t'_{P1} = 1,496$  с;

до скорости  $V_2$ :  $t'_{P2} = t'_{P1} + t_{P2} = 1,496 + 1,272 = 2,768$  с;

до скорости  $V_3$ :  $t'_{P3} = t'_{P2} + t_{P3} = 2,768 + 4,23 = 6,998$  с;

до скорости  $V_4$ :  $t'_{P4} = t'_{P3} + t_{P4} = 6,998 + 8,764 = 15,762$  с;

до скорости  $V_5$ :  $t'_{P5} = t'_{P4} + t_{P5} = 15,762 + 16,324 = 32,086$  с;

до скорости  $V_6$ :  $t'_{P6} = t'_{P5} + t_{P6} = 32,086 + 13,452 = 45,538$  с;» [2]

Путь разгона автомобиля:

$$S_P = V_{cp} \cdot t_p, \quad (27)$$

«где  $V_{cp}$  - средняя скорость между двумя участками IV передачи;

$t_p$  - разница времени разгона автомобиля между двумя участками IV передачи;» [8]

$$S_{P1} = \frac{V_{1min}}{2_{P1} \frac{1,36 + 5,1}{2}}$$

Путь разгона от скорости  $V_{min}$  :

$$S_n = \sum_{k=1}^n \Delta S_k, \quad (28)$$

Рассчитанные значения скорости, времени и пути разгона сводятся в таблицу 4.

Таблица 4 - Время и путь разгона автомобиля

$V_a, \text{ м/с}$	$V_{min}$	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$V_4$	$V_5$	$V_6$
$V_a, \text{ м/с}$	1,36	5,1	8,13	15,5	24,63	32	35,38
$1/j_a, \text{ с}^2/\text{м}$	0,42	0,38	0,46	0,69	1,23	3,2	4,76
$t_p, \text{ с}$	0	1,496	2,768	6,998	15,762	32,086	45,538
$S_p, \text{ м}$	0	4,832	13,246	63,223	239,072	701,286	1184,483

## 2.7 Мощностной баланс автомобиля

«Тяговая мощность автомобиля:

$$N_T = N_e \cdot \eta_{TP}, \quad (29)$$

где  $N_e$  - эффективная мощность двигателя;

$\eta_{TP}$  - КПД трансмиссии;

Используемая мощность двигателя на IV передаче:» [23]

$$N = \frac{(F_{\psi v} + F_g) \cdot V_a}{\eta_{TP}}, \quad (30)$$

«где  $F_{\psi v}$  - сила сцепления колес с дорогой;

$F_g$  - сила сопротивления воздуха;

$V_a$  - текущая скорость автомобиля;

$\eta_{TP}$  - КПД трансмиссии;» [11]

$$N_1 = \frac{(165,9 + 23,2) \cdot 5,44}{0,91} = 1,13 \text{ кВт};$$



Рассчитанные значения мощности, времени и пути разгона автомобиля выносятся в виде графиков на лист графической части дипломного проекта.

## 2.8 Топливо-экономическая характеристика транспортного средства

Путевой расход топлива при пробеге автомобиля 100 км (л):

$$Q_S = \frac{K_\omega \cdot K_n \cdot g_e^{\min(F_{\psi v} + F_\epsilon)}}{36000 \cdot \rho_T \cdot \eta_T} \quad (31)$$

«где  $K_\omega$  и  $K_n$  - коэффициенты, учитывающие соответственно изменения величины  $g_e$  в зависимости от угловой скорости и мощности двигателя;

$g_e^{\min}$  - минимальный удельный эффективный расход топлива  $g_e^{\min}$   $^{cp}/_{кВт \cdot ч}$ ;

$\rho_T$  - плотность топлива,  $\rho_T = 0,72$   $^{кг}/_{л}$ ;» [11]

$$Q_{S1} = \frac{1,13 \cdot 2,5 \cdot 300 \cdot 1,1 \cdot (165,9 + 23,2)}{36000 \cdot 0,72 \cdot 0,91} = 7,47 \text{ л}/_{100км};$$

$$Q_{S2} = \frac{1,02 \cdot 2,15 \cdot 300 \cdot 1,1 \cdot (177,4 + 131)}{36000 \cdot 0,72 \cdot 0,91} = 9,46 \text{ л}/_{100км};$$

$$Q_{S3} = \frac{0,98 \cdot 1,7 \cdot 300 \cdot 1,1 \cdot (197,1 + 326,5)}{36000 \cdot 0,72 \cdot 0,91} = 12,27 \text{ л}/_{100км};$$

$$Q_{S4} = \frac{0,96 \cdot 1,3 \cdot 300 \cdot 1,1 \cdot (213,6 + 610)}{36000 \cdot 0,72 \cdot 0,91} = 14,38 \text{ л}/_{100км};$$

$$Q_{S5} = \frac{1,01 \cdot 0,9 \cdot 300 \cdot 1,1 \cdot (262,9 + 981)}{36000 \cdot 0,72 \cdot 0,91} = 15,81 \text{ л}/_{100км};$$

$$Q_{S6} = \frac{1,07 \cdot 1,01 \cdot 300 \cdot 1,1 \cdot (279,3 + 23,2)1187}{36000 \cdot 0,72 \cdot 0,91} = 22,16 \text{ л}/_{100км};$$

В результате проведенного тягово-динамического расчета автомобиля УАЗ-3909 были получены следующие выводы.

В результате проведенного расчета были определены основные динамические характеристики автомобиля, такие как максимальная скорость, время разгона до заданной скорости, усилие тяги на колесах, динамический запас тяги на различных передачах и режимах движения. Расчет выявил влияние различных факторов на тягово-динамические характеристики, включая массу автомобиля, аэродинамическое сопротивление, сопротивление качению, крутящий момент двигателя, передаточные числа трансмиссии, а также дорожные условия. Было установлено, как изменение каждого из этих параметров влияет на динамику разгона и максимальную скорость. Анализ результатов расчета позволил определить оптимальные режимы работы двигателя и трансмиссии для достижения максимальной эффективности движения в различных условиях эксплуатации (например, на ровной дороге, в гору, при буксировке груза). Полученные результаты расчета позволяют оценить соответствие тягово-динамических характеристик автомобиля УАЗ-3909 заданным требованиям технического задания или нормативным документам.

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

## **3 Конструкторская часть**

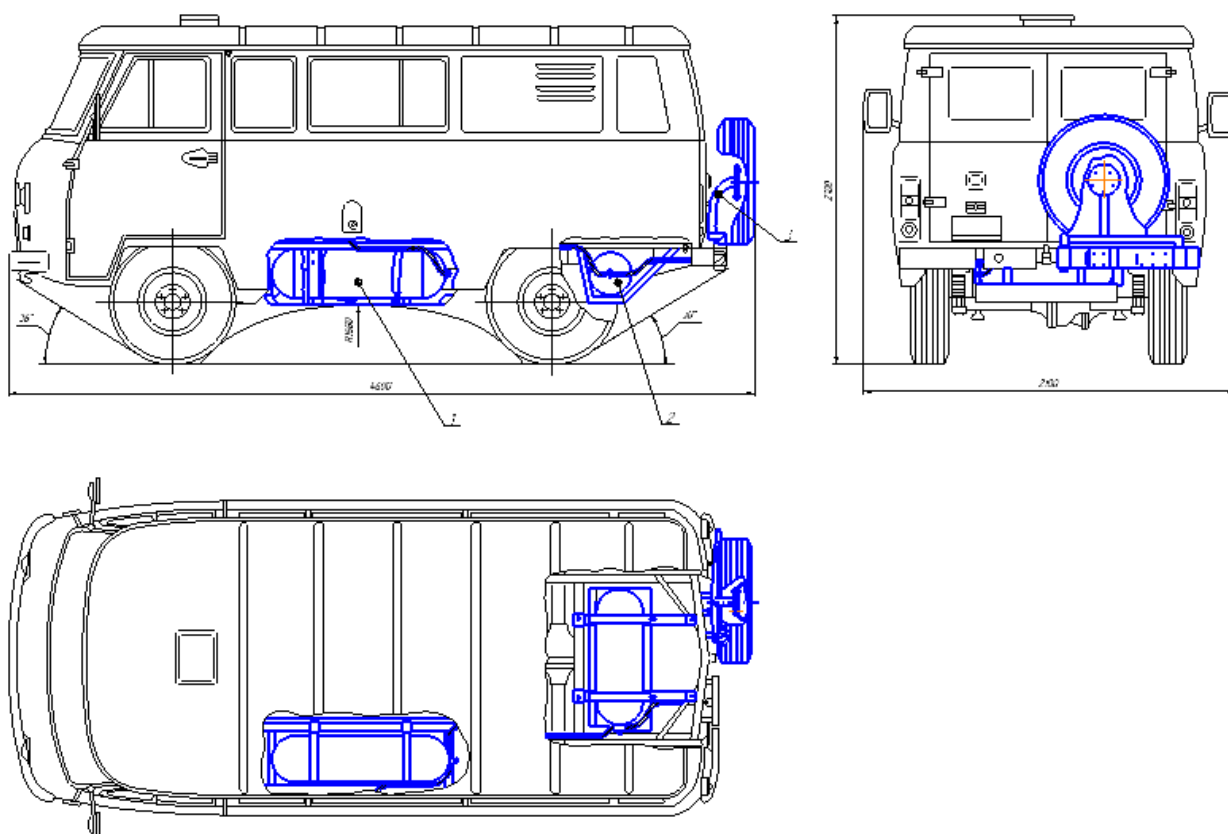
### **3.1 Эскизная компоновка проектируемого автомобиля**

Эскизная компоновка автомобиля УАЗ-3909 с установленным газобаллонным оборудованием (ГБО) на сжиженном нефтяном газе (СПГ) будет отличаться от базовой компоновки наличием баллонов со СПГ и дополнительных элементов ГБО. Ввиду того, что УАЗ-3909 - автомобиль с кузовом типа «универсал», размещение компонентов ГБО имеет несколько вариантов, каждый со своими преимуществами и недостатками. Рассмотрим варианты компоновки.

Первый вариант подразумевает размещение баллонов в багажном отсеке. Один или несколько цилиндрических баллонов со СПГ устанавливаются в багажном отсеке, максимально используя его пространство. Возможность установки зависит от размера баллонов и объема багажника. Рекомендуется использовать тороидальные баллоны, которые более компактно размещаются под полом багажника. Редуктор устанавливается в моторном отсеке, в легкодоступном месте для обслуживания. Форсунки монтируются на впускном коллекторе двигателя, заменяя или устанавливаясь параллельно штатным бензиновым форсункам. Электронный блок управления (ЭБУ) размещается в салоне автомобиля или под капотом, в защищенном от влаги и перегрева месте. Заправочный штуцер размещается в удобном для доступа месте, например, на задней части автомобиля. Система трубопроводов соединяет все компоненты ГБО. Они должны быть надежно закреплены и защищены от повреждений.

Второй вариант компоновки подразумевает установку баллонов в специально изготовленном отсеке. Этот вариант подразумевает изготовление дополнительного отсека в кузове автомобиля, например, в месте запасного колеса или под днищем. Это требует дополнительных модификаций кузова и повышает сложность установки. Остальные компоненты ГБО размещаются аналогично первому варианту.

Особое внимание уделяется безопасности размещения баллонов. Они должны быть надежно закреплены и защищены от повреждений. Необходимо обеспечить вентиляцию газового отсека. Компоненты ГБО должны быть легко доступны для обслуживания и ремонта. Трубопроводы должны быть проложены таким образом, чтобы избежать их повреждений и обеспечить надежное соединение компонентов. Размещение компонентов не должно мешать эксплуатации автомобиля и доступу к другим элементам. Для проектируемого автомобиля предполагается применение компоновки согласно второму варианту, рисунок 2.



- 1- основной (передний) баллон; 2 – дополнительный (задний) баллон;  
3 – крепление запасного колеса

Рисунок 2 - Эскизная компоновка проектируемого автомобиля

Оптимальное расположение компонентов ГБО зависит от конкретных размеров баллонов, предпочтений владельца и возможности внесения конструктивных изменений в автомобиль. При любом варианте компоновки необходимо обеспечить безопасность, надежность и удобство обслуживания системы.

### **3.2 Обзор и анализ выполненных конструкторских решений**

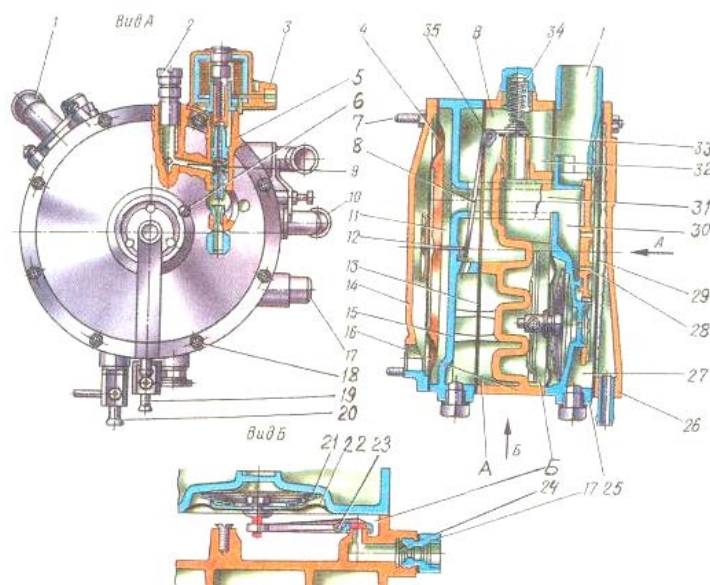
«Основным отличительным элементом газобаллонной аппаратуры производства различных заводов является двухступенчатый газовый редуктор низкого давления. Редуктор низкого давления осуществляет автоматическое снижение газового давления до рабочего, близкого к атмосферному, независимо от объема имеющегося газа, обеспечивает дозировку подачи газа в смеситель и четкий переход двигателя с одного режима работы на другой, автоматически прекращает подачу газа при остановке двигателя.» [14]

«В настоящее время в России широко распространены редукторы, работающие по двухступенчатой схеме, такие как редуктор-испаритель Новопрудского завода газовой аппаратуры, Рязанского завода автомобильной аппаратуры, Пермской Научно-производственной фирмы «Сага», итальянских фирм «Ловатто» и «Бедини». Все они имеют одинаковый принцип действия и отличаются только конструктивно.» [4]

«В полости первой ступени двухступенчатого редуктора происходит снижение давления газа до 0,05...0,1 МПа. В полости второй ступени обеспечивается рабочее давление. Для компенсации тепловых потерь при испарении газа и предотвращения замерзания клапанов в редуктор подается горячая жидкость из системы охлаждения двигателя, которая циркулирует в специальной полости редуктора, выполненной в виде теплообменника. Для дозировки выхода газа редуктор через вакуумную трубку и специальный штуцер соединяется с выпускным коллектором двигателя или с задрессельным пространством карбюратора: разрежение в них управляет степенью открытия

второй ступени редуктора. Специальное устройство обеспечивает устойчивую подачу газа через «протекающий» клапан второй ступени при частоте вращения холостого хода двигателя. Это устройство снабжено винтом, позволяющего изменять частоту вращения холостого хода. Для надежной подачи газа при пуске двигателя на редукторе установлено электромагнитное пусковое устройство, позволяющее кратковременно подать на вход в карбюратор увеличенное количество газа.» [6]

На рисунке 3 представлен редуктор-испаритель Рязанского завода автомобильной аппаратуры



«1– выходной патрубок газа; 2 – регулировочный винт холостого хода; 3 – пусковой электромагнитный клапан; 4 – диафрагма второй ступени; 5 – эжекторная система; 6 – винт крепления крышки; 7 – шпилька; 8 – рычаг клапана второй ступени; 9 – канал холостого хода; 10 – водяной патрубок; 11 – управляющая камера второй ступени; 12 – шток; 13 – уплотнительная прокладка; 14 – задняя крышка; 15 – корпус второй ступени; 16 – средний корпус; 17 – штуцер ввода газа; 18 – гайка; 19, 20 – краники слива конденсата и жидкости из полости теплоносителя; 21 – пружина; 22 – диафрагма первой ступени; 23 – ось рычага клапана первой ступени; 24 – сетчатый фильтр; 25 – корпус; 26 – передняя крышка; 27 – камера; 28 – отверстия; 29 – диафрагма; 30 – эжекторная камера; 31 – канал передачи разрежения; 32 – расходная камера; 33 – клапан; 34 – пружина; 35 – ось рычага клапана второй ступени; А – полость испарителя; Б – полость первой ступени; В – полость второй ступени.» [11]

Рисунок 3 – Редуктор-испаритель Рязанского завода автомобильной аппаратуры

Модернизированный редуктор-испаритель представлен на листе графической части дипломного проекта.

### 3.3 Описание конструкторской разработки

«Обычно на автомобилях данного типа баллон располагают на полу передней части пассажирского (грузопассажирского) отделения, рядом с двигателем. Такое расположение баллона, особенно большой емкости, неизбежно приводит к сокращению пассажироместности (грузовместности) автомобиля, постоянному запаху одоранта газа в салоне, особенно в первые часы после заправки, нарушению требований технической эстетики в глазах пассажиров. Конструкторская разработка заключается в расположении баллонов для сжиженного газа на автомобиле. Оба баллона и запасное колесо закрепляются на раме автомобиля при помощи креплений, прочностной расчет которых приведен ниже.» [6]

На рисунке 4 приведена расчетная схема крепления переднего баллона.

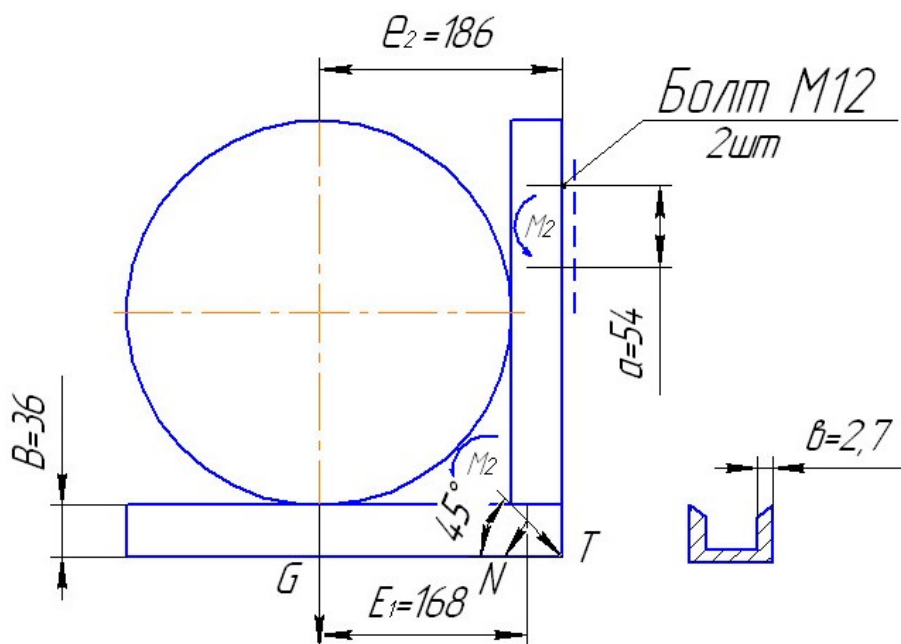


Рисунок 4 - Расчетная схема крепления переднего баллона

«Сила тяжести  $G$  складывается из силы тяжести баллона и силы тяжести защиты.

Масса баллона -  $m_6 = 60\text{кг}$ ;

Масса защиты -  $m_3 = 9\text{кг}$ .» [6]

$$G = G_6 + G_3 = (m_6 + m_3)g = (60 + 9) \cdot 9,81 = 677 \text{ Н} \quad (32)$$

Так как опоры две, то сила тяжести, приходящаяся на одну опору:

$$G_i = G/2 = 677/2 = 338,5 \text{ Н} \quad (33)$$

С учетом инерционных нагрузок:

$$G_2 = k G_i, \quad (34)$$

где  $k=2$  - коэффициент учитывающий инерционные нагрузки [18].

$$G_2 = 338,5 \cdot 2 = 677\text{Н}.$$

Момент действующий в сварном шве:

$$M_1 = G_2 \cdot E_1 \quad (35)$$

где  $E_1$  – плечо действия силы (рисунок 3.2)

$$M_1 = 677 \cdot 168 \cdot 10^{-3} = 133,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Силу тяжести  $G_2$  раскладываем на две составляющие:

- силу, действующую вдоль шва:

$$T = G_2 \cdot \cos 45^\circ = 677 \cdot \cos 45^\circ = 478,7\text{Н};$$



- силу, действующую перпендикулярно шву:

$$N = G_2 \cdot \sin 45^\circ = 677 \cdot \sin 45^\circ = 478,7\text{Н};$$

Условие прочности сварного шва:

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]. \quad (36)$$

Нормальное напряжение определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{M_1}{W_c \cdot Z} + \frac{N}{F \cdot Z}, \quad (37)$$

«где  $W_c$  - момент сопротивления шва,  $\text{м}^3$ ;

$F$  - площадь сварного шва,  $\text{м}^2$ ;

$Z$  - число сварных швов,  $Z=2$ .» [18]

Момент сопротивления сварного шва:

$$W_c = \frac{b \cdot h^2}{G}, \quad (38)$$

«где  $b$  - толщина шва,  $b = 7,2$  мм;

$h$  - длина шва.» [18]

$$h = B/\cos 45^\circ, \quad (39)$$

где  $B$  - толщина кронштейна.

$$h = 36/\cos 45^\circ = 50,9\text{мм}.$$

$$W = \frac{7,2 \cdot 10^{-3} \cdot (50,9 \cdot 10^{-3})^2}{6} = 3,11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3.$$

$$F = b \cdot h = 7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 50,9 \cdot 10^{-3} = 3,66 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

$$\sigma = \frac{113,7}{3,11 \cdot 10^{-6} \cdot 2} + \frac{487,7}{3,66 \cdot 10^{-4}} = 19,59 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Касательные напряжения:

$$\tau = \frac{T}{F \cdot Z} = \frac{478,7}{3,66 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 0,65 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

$$\sigma_s = \sqrt{19,59^2 + 3 \cdot 0,65^2} = 19,62 \text{ МПа}.$$

Определяем допустимое напряжение по формуле:

$$[\sigma] = \frac{R \cdot m}{k}, \quad (40)$$

«где  $R=(0,85...0,9)$   $[\sigma]$  - расчетное сопротивление с учетом неоднородности материала; принимаем 0,9 - для малоуглеродистой стали Ст 3,  $[\sigma] = 220$  МПа;

$k$  - коэффициент перегрузки,  $k=1,5$  [18];

$m$  - коэффициент условий работы,  $m = 0,8$ » [18].

$$[\sigma] = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 0,8}{1,5} = 106 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_s = 19,62 \text{ МПа} < [\sigma] = 106 \text{ МПа}.$$

«Условие прочности выполняется.

Считаем, что болты М12 установлены с зазором.

Необходимая сила затяжки болтов:» [18]

$$F_{зам} = \frac{K_{сц} \cdot G_2}{f \cdot i \cdot 2} + \frac{M_2}{2a}, \quad (41)$$

«где  $K_{сц}$  - запас сцепления,  $K_{сц} = 1,5$  [18];

$f$ - коэффициент трения,  $f = 0,3$ ;

$i$  - число стыков,  $i = 1$ ;

$M_2$  — момент действующий в болтовом соединении;

$a$  - расстояние между болтами.» [18]

$$M_2 = G_2 \cdot e_2 = 677 \cdot 186 \cdot 10^{-3} = 125,9 \text{ Нм}; \quad (42)$$

$$F_{зам} = \frac{1,5 \cdot 677}{0,3 \cdot 1 \cdot 2} + \frac{125,9}{2 \cdot 54 \cdot 10^{-3}} = 2858,2 \text{ Н}, \quad (43)$$

Напряжение разрыва [18]:

$$\sigma_p = 1,3 \frac{4F_{зам}}{\pi d_1^2} = 1,3 \frac{4 \cdot 2858,2}{\pi (12 \cdot 10^{-2})^2} = 32,85 \cdot 10^6 \text{ Па}. \quad (44)$$

Допустимое напряжение разрыва:

$$[\sigma]_p = \frac{\sigma_T}{S}, \quad (45)$$

«где  $\sigma_T = 220 \text{ МПа}$  = для болта из стали СТ3 [2];

$S$  - коэффициент запаса прочности,  $S = 4$ » [18].

$$[\sigma]_p = \frac{220}{4} = 55 \text{ МПа}.$$

$$\sigma_p = 32,85 \text{ МПа} < [\sigma]_p = 55 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

На рисунке 5 приведена расчетная схема крепления заднего баллона.

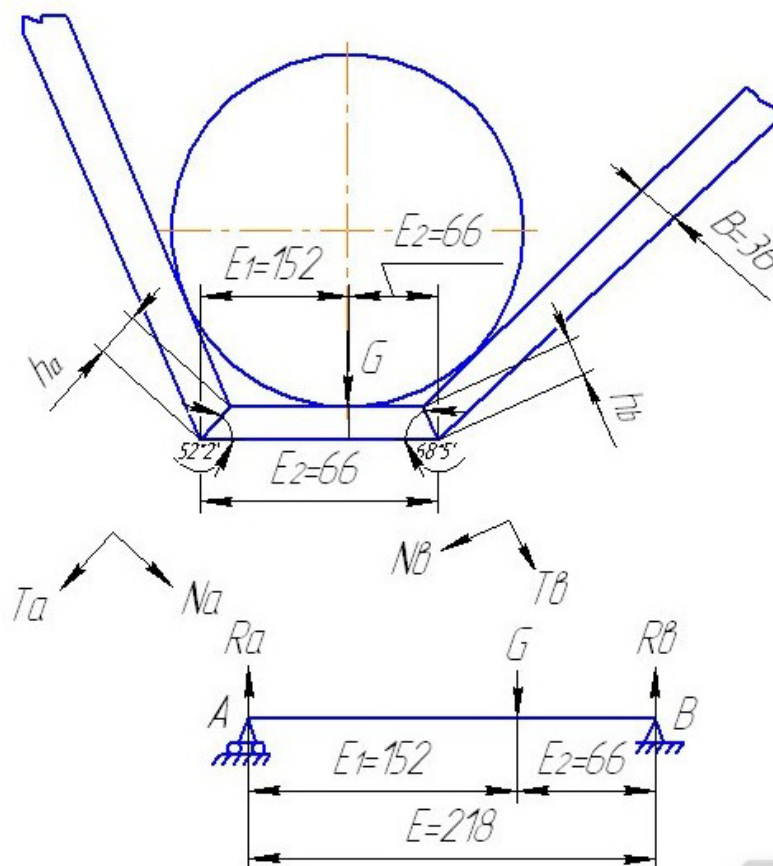


Рисунок 5 – Расчетная схема крепления заднего баллона

$$\alpha_1 = 90 - 52,5 = 37,5^\circ;$$

$$\alpha_2 = 90 - 68,5 = 21,5^\circ.$$

«Условно прикладываем силу тяжести баллона и защиты только к нижним опорам, тогда сила, действующая на одну опору:

$$G = k(m_6 + m_3) \cdot g/2 \quad (46)$$

где  $m_6 = 48 \text{ кг}$  - масса баллона;

$m_3 = 9\text{кг}$  - масса защиты;  $k = 2$ ;» [18]

$$G = 2 \cdot (48 + 9) \cdot 9,81/2 = 559,17 \text{ Н.}$$

«Определяем реакции опор  $R_A$  и  $R_B$ :

$$\sum M_A = R_B \cdot l - G \cdot E_1. \quad (47)$$

$$R_B = \frac{G \cdot E_1}{E} = \frac{559,17 \cdot 152}{218} = 389,88 \text{ Н.}$$

$$\sum M_B = -R_A \cdot E + G \cdot E_2 = 0; \quad (48)$$

$$R_A = \frac{G \cdot E_2}{E} = \frac{559,17 \cdot 66}{218} = 169,29 \text{ Н.}$$

Условие прочности швов:

$$\sigma_{\varnothing} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq [\sigma]. \quad (49)$$

Нормальные напряжения в швах определяем по формуле:

$$\sigma = \frac{N}{F \cdot Z}, \quad (50)$$

где  $F$  - площадь шва,  $\text{м}^2$ ,

$Z$  - количество швов,  $Z = 2$ .» [22]

$$F_A = b \cdot h_A; \quad (51)$$

$$h_A = B / \sin 52,5^\circ = 36 / \sin 52,5^\circ = 54,38 \text{ мм};$$

$$F_A = 7,2 \cdot 10^{-3} \cdot 45,38 \cdot 10^{-3} = 3,27 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2;$$

$$\sigma_A = \frac{N_A}{F_A \cdot Z} = \frac{103,06}{3,27 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 0,16 \cdot 10^6 \text{ Па}; \quad (52)$$

$$\tau_A = \frac{T_A}{F_A \cdot Z} = \frac{134,31}{3,27 \cdot 10^{-4} \cdot 2} = 0,21 \cdot 10^6 \text{ Па}; \quad (53)$$

$$\sigma_{\text{эА}} = \sqrt{0,16^2 + 3 \cdot 0,21^2} = 0,4 \text{ МПа};$$

Допустимое напряжение по 3.7  $[\sigma] = 106 \text{ МПа}$

$$\sigma_{\text{эА}} = 0,4 \text{ МПа} < [\sigma] = 106 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{\text{эА}} = 1,16 \text{ МПа} < [\sigma] = 106 \text{ МПа}.$$

Условие прочности выполняется.

На рисунке 6 приведена расчетная схема крепления запасного колеса.

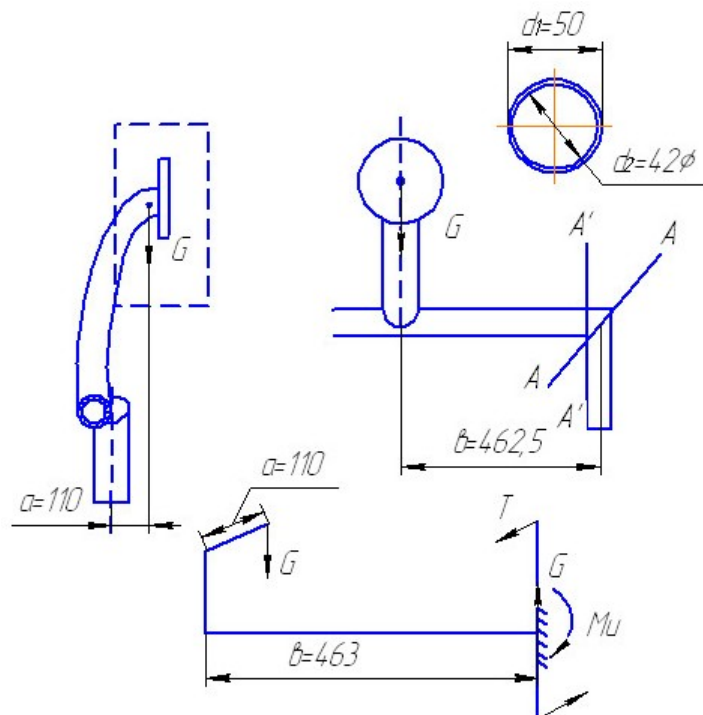


Рисунок 6 - Расчетная схема крепления запасного колеса

«В данной металлоконструкции наиболее нагруженным является сварной шов соединяющий горизонтальную трубу крепления с трубой-осью.

Для упрощения расчетов условно располагаем плоскость сварного шва (А-А) вертикально (А<sub>1</sub>-А<sub>1</sub>), компенсируя погрешность расчета уменьшением длины шва.» [13]

«По формуле 3.1 находим силу G:

$$G = k \cdot G_k, \quad (54)$$

где G сила тяжести, приходящаяся на колесо  $G = 300 \text{ Н}$ ;

$$k = 2$$

$$G = 300 \cdot 2 = 600 \text{ Н}$$

Определяем крутящий и изгибающий моменты в сечении А<sub>1</sub>-А<sub>1</sub>:

$$T = G \cdot a = 600 \cdot 0,110 = 66 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{из} = G \cdot b = 600 \cdot 0,463 = 277,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Аналогично расчету валов, находим нормальные напряжения изгиба  $\sigma$  и касательные напряжения кручения  $\tau$ :

$$\sigma = \frac{M_{из}}{0,1(d_1^3 - d_2^3)}, \quad (55)$$

где  $d_1$  и  $d_2$  - наружный и внутренний диаметры трубы,

$$d_1 = 50 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad d_2 = 42 \cdot 10^{-3} \text{ м}.» [16]$$

$$\tau = \frac{T}{0,1(d_1^3 - d_2^3)}, \quad (56)$$

Подставляя значения в формулу 55 и 56, получим:

$$\sigma = \frac{277,8}{0,1[(50 \cdot 10^{-3}) - (42 \cdot 10^{-3})]} = 54,56 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\tau = \frac{66}{0,2[(50 \cdot 10^{-3}) - (42 \cdot 10^{-3})]} = 6,48 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

По условию прочности:

$$\sigma_s = \sqrt{54,56^2 + 3 \cdot 6,48^2} = 55,7 \text{ МПа}$$

$$[\sigma] = 144 \text{ МПа} > \sigma_s = 55,7 \text{ МПа.}$$

Условие прочности выполняется.

В результате расчета элементов крепления деталей газового оборудования автомобиля УАЗ-3909, проведенного в рамках дипломного проекта, получены следующие выводы.

Проведенные расчеты подтвердили достаточную прочность и надежность выбранных конструктивных решений для крепления элементов газобаллонного оборудования (ГБО). Полученные значения напряжений и деформаций находятся в допустимых пределах, что гарантирует безопасную эксплуатацию автомобиля. Это подтверждается значениями коэффициентов запаса прочности, превышающими установленные нормативы.

Расчеты позволили оптимизировать конструкцию элементов крепления, минимизируя вес и стоимость при сохранении необходимых показателей прочности и надежности. Возможно, были предложены альтернативные варианты креплений, демонстрирующие улучшенные характеристики.

Расчеты обосновали выбор материалов для элементов крепления, учитывая их прочностные характеристики, устойчивость к коррозии и воздействию



вибраций. Возможно, был проведен сравнительный анализ различных материалов, демонстрирующий преимущества выбранного варианта.

Расчеты учли влияние внешних факторов, таких как вибрации, динамические нагрузки и температурные колебания, на прочность элементов крепления. Была продемонстрирована способность конструкции выдерживать эти нагрузки.

В процессе работы над дипломным проектом возможно уточнение и/или корректировка методики расчета элементов крепления, что повысило точность и достоверность полученных результатов. На основании проведенных расчетов сформулированы рекомендации по практической реализации проекта, включая выбор типоразмеров крепежных элементов, технологии их изготовления и монтажа. Необходимо отметить, что расчеты выполнены с использованием определенных упрощающих допущений. Это может повлиять на точность полученных результатов. Для повышения точности необходимо проведение экспериментальных исследований.

В заключение, проведенный расчет элементов крепления деталей газового оборудования автомобиля УАЗ-3909 подтвердил работоспособность и безопасность выбранной конструкции. Результаты дипломного проекта могут быть использованы при проектировании и изготовлении систем ГБО для данного автомобиля, а также при разработке аналогичных конструкций для других транспортных средств. Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование методики расчета и проведение экспериментальной проверки полученных результатов.

## 4 Технологический раздел дипломного проекта

### 4.1 Описание детали

Защитная пластина предназначена для защиты узла газобаллонного оборудования (ГБО) автомобиля УАЗ-3909 от механических повреждений, грязи и влаги.

«Деталь представляет собой полосу из листовой стали толщиной 3,0 мм, длиной 1140 мм и шириной 350 мм. Торцы защиты изогнуты под углом 45° к горизонтальной плоскости, радиусгиба 10мм. Горизонтальная часть имеет длину 1000 мм. На детали имеется 4 сквозных отверстия диаметром 11,0 мм расположенных на расстоянии 300 мм от торца и 30 мм от края детали.» [15]

Эскиз пластины представлен на рисунке 7.

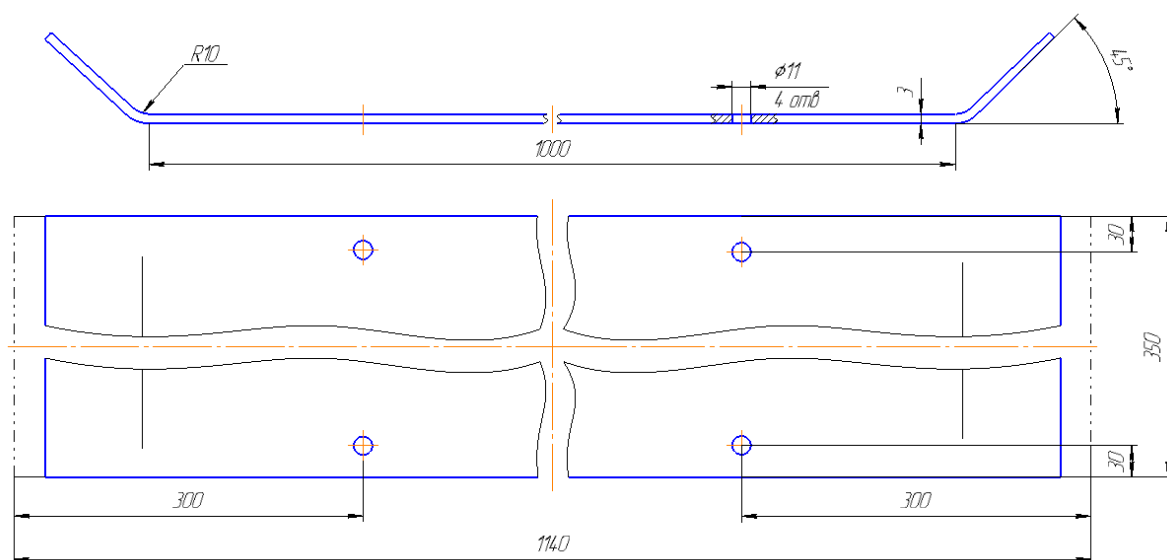


Рисунок 7 - Эскиз защиты переднего баллона

Материал детали - сталь толщиной 3 мм, марка стали определяется в зависимости от требований к прочности, коррозионной стойкости и стоимости. Например, сталь 08кп, Ст3, или низколегированная сталь с улучшенными свойствами.

## 4.2 Анализ технологичности детали

Деталь имеет значительные габаритные размеры (1140x350 мм), что может ограничить выбор технологических процессов и потребовать использования специального оборудования. Большая площадь поверхности увеличивает время обработки и количество материала. Толщина 3 мм является стандартной для листового металла и не представляет особых трудностей в обработке.

Загибы под углом 15 градусов на расстоянии 75 мм от края усложняют технологический процесс, требуя использования оборудования для гибки металла, например, листогибочного пресса. Это увеличивает трудозатраты и стоимость изготовления, по сравнению с плоской пластиной. Необходимо учитывать радиус загиба, который должен быть достаточным, чтобы избежать образования трещин в материале.

Тип стали 08кп, низколегированная сталь выбран исходя из требований к прочности, коррозионной стойкости и технологичности. Важно учитывать свойства материала при гибке, чтобы избежать разрывов или чрезмерных деформаций.

Загибы под углом 15 градусов являются наиболее сложной операцией в процессе изготовления. Необходимо определить оптимальный радиус загиба в зависимости от толщины материала и выбранного метода гибки. Для больших объемов целесообразно использовать листогибочный пресс. Для малых объемов может быть использована гибка на вальцах или ручная гибка.

Для вырезки заготовки можно использовать лазерную резку, плазменную резку, гильотину или газопламенную резку. Лазерная резка обеспечивает наибольшую точность и качество кромки, но является более дорогим методом. Гильотинная резка подходит для больших объемов, но менее точна. Выбор метода зависит от требуемой точности и объема производства.

После изготовления деталь может потребовать дополнительной обработки, такой как грунтовка, покраска или оцинкование, для защиты от коррозии.

Деталь имеет средний уровень технологичности из-за наличия загибов.

Производство трудоемко из-за больших габаритов и необходимости гибки. Стоимость изготовления зависит от выбранного метода обработки, материала и объема производства. Требуется обеспечить высокую точность размеров и углов загиба.

Для массового производства рекомендуется использовать листогибочный пресс и лазерную или гильотинную резку. Необходимо провести расчет усилия гибки для предотвращения повреждений материала. Выбор материала следует обосновать исходя из требований к прочности и коррозионной стойкости.

В целом, деталь имеет средний уровень технологичности. Для выбора оптимального технологического процесса необходимо учитывать объем производства, доступное оборудование, требования к точности и качеству, а также стоимость. Подробный расчет должен включать оценку времени обработки, стоимости материалов и оборудования, а также анализ возможных дефектов.

#### **4.3 Выбор способа получения заготовки**

«Способ получения заготовки должен быть наиболее экономичным при заданном объеме выпущенных деталей. От этого зависит степень расхода материала, количество операций, их трудоемкость, себестоимость и процесс изготовления детали в целом. Производство данного изделия является единичным. Принимаем для разрабатываемого техпроцесса, что лист на полосы разрезается на гильотинных ножницах, гибка в инструментальном штампе.

Учитывая вышеперечисленные факторы примем для изготовления заготовки горячекатаный лист из стали 20 ГОСТ 1577-93 в следующем сортаменте:

- толщина листа – 3,0 мм;
- раскрой - 1250x2500 мм.» [16]

На рисунке 8 приведено изображение расположения полос при раскрое листа.

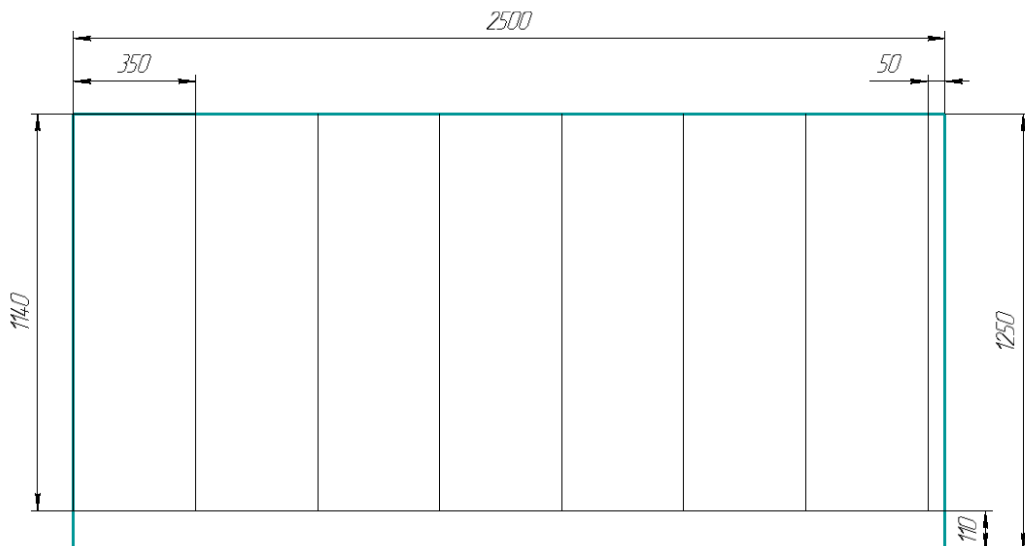


Рисунок 8 – Расположение полос при раскрое листа

Количество заготовок, получаемых из листа при раскрое 7 штук.

«Произведем расчет коэффициента использования материала листа:

$$K_{им} = \frac{F_{д \cdot п}}{F_{л}} \cdot 100\% \quad (57)$$

где  $F_{д}$  - площадь заготовки;

$F_{л}$  - площадь листа;

$n$  - количество заготовок.

Определим площадь заготовки:

$$F_{д} = 1140 \cdot 350 = 399000 \text{ мм}^2$$

Площадь листа:

$$F_{л} = 1250 \cdot 2500 = 3125000 \text{ мм}^2;$$

Тогда по формуле 57 коэффициент использования материала:

$$K_{\text{им}} = 399000 \cdot 7 / 3125000 = 0,89.$$

$$0,89 \geq 0,75.$$

Так как условие выполняется деталь – «Защита» технологична по использованию материала.» [15]

#### 4.4 Разработка технологического процесса изготовления детали

Технологический процесс изготовления детали типа «защита» приводится в таблице 5.

Таблица 5 – Технологический процесс изготовления детали

Операция	Переход	Оборудование и материал	Трудоемкость, чел-час	Требования
1 Нарезка заготовок	1.1 Резка стандартного лист размером 3×2500×1250 мм на полосы	ножницы Н-475	0,15	Размер полос: 3×1140±0,5×Lраскря
	1.2 Резка полос на заготовки	ножницы Н-475	0,25	Размер заготовок: 3×1140±0,5×350±0,5 мм
2 Контроль рабочий	2.1 Контролировать размеры вырезаемых заготовок	линейка ГОСТ 17435-72	0,1	L=1140±0,5; B=350±0,5
3 Гибка детали на прессе	3.1 Закрепить деталь на листогибочном прессе	листогибочный пресс ЭР50, плита	0,15	-
	3.2 Гнуть деталь под углом 45°	листогибочный пресс ЭР50, плита	0,05	Управление прессом pedalное
	3.3 Извлечь деталь с листогибочного пресса	листогибочный пресс ЭР50	0,05	-

Продолжение таблицы 5

Операция	Переход	Оборудование и материал	Трудоемкость, чел-час	Требования
4 Контроль рабочий	4.1 Контролировать размеры угла загиба	угломер - угольник цифровой	0,01	$\perp 45^{\circ} \pm 1^{\circ}$
5 Сверление	5.1 Сверлить на детали отверстия	сверлильный станок модели 2К52-1, сверло $\varnothing 11P6M5$ ГОСТ 12123-88	0,15	4 сквозных отверстия $\varnothing 11H12$
6 Контроль рабочий	6.1 Контролировать размеры получаемых отверстий	калибр - пробка	0,01	$\varnothing 11H9$ ГОСТ 14810-69
7 Контроль ОТК	7.1 Провести выходной контроль ОТК	линейка ГОСТ 427-75, штангенциркуль, калибр - пробка $\varnothing 11H9$ ГОСТ 14810-69, угломер - угольник цифровой	0,1	В соответствии с техническими требованиями к детали

В результате разработки технологии изготовления детали «защита» (стальная пластина 1140x350 мм, толщина 3 мм, с загнутыми краями под углом  $15^{\circ}$  на расстоянии 75 мм) в рамках технологического раздела дипломного проекта, получены следующие выводы.

Разработан оптимальный технологический процесс изготовления детали, включающий в себя следующие операции: раскрой листового материала, гибку краев на листогибочном прессе (обоснован выбор угла и радиуса гибки для предотвращения дефектов), контроль качества на каждом этапе производства.

Обоснован выбор технологического оборудования, учитывающий габаритные размеры детали, требуемую точность обработки и объемы производства. Проведен анализ альтернативных вариантов, и обосновано преимущество выбранного варианта (по критериям производительности, стоимости, точности).

Разработанная технология обеспечивает изготовление детали, соответствующей заданным требованиям по точности размеров, углу загиба и качеству поверхности. Разработанный технологический процесс оптимизирован с точки зрения минимизации затрат времени и ресурсов.

Проведен анализ экономической эффективности разработанной технологии, включающий оценку себестоимости изготовления детали. Технологический процесс разработан с учетом требований безопасности труда. Предложены пути дальнейшего совершенствования технологии, например, автоматизация отдельных операций, использование новых материалов или технологий.

В целом, разработанная технология изготовления детали «защита» является эффективной, экономически целесообразной и обеспечивает высокое качество готовой продукции. Результаты технологического раздела могут быть использованы для организации промышленного производства детали.



## **5 Безопасность объекта дипломного проектирования. Безопасность участка сборки**

### **5.1 Краткая техническая характеристика объекта дипломного проектирования**

В дипломном проекте рассматривается вопрос проектирования узла транспортного средства. Для запуска разрабатываемого изделия в производство требуется проведение сборочных работ установочной партии. В условиях среднесерийного производства подобные работы производятся на участках механической сборки опытно-промышленного производства (ОПП). Результатом является доведение технологичности конструкции и разработка технологии сборки в привязке к реальной оснастке сборочного производства. В данном разделе дипломного проекта нами рассматривается комплекс вопросов обеспечения производственной и экологической безопасности участка сборки, на котором производится сборка установочного изделия, разрабатываемого в рамках дипломного проекта.

Рассмотрим особенности разрабатываемой конструкции. Изделие представляет собой сложный технический объект, доработанный и модернизированный в рамках дипломного проекта. Изделие выполнено преимущественно из стали конструкционной, обрабатываемой и свариваемой на оборудовании, не требующем применения специальных материалов и сред. В конструкции изделия применяются комбинированные материалы и их сочетания, например металл-полимер и композитные материалы, механическая обработка которых требует применения средств индивидуальной защиты (СИЗ).

«В рамках раздела нами исследуется сборочный участок, на котором осуществляется технологический процесс сборки узлов транспортного средства. Сборочный участок является основным местом осуществления технологической операции сборки и относится к мелкосерийному производству. В первую очередь это означает, что данный участок, являясь частью опытно-

промышленного производства, не ориентирован на специализированные работы, а занят в широком спектре выполняемых производственных функций. Оборудование, которое находится на участке – универсальное. Оборудование группируется по своему функционалу – сварочное, металлорежущее, шлифовальное и т.п.

Зоны выполнения работ, связанных с избыточным тепловыделением, выделением продуктов горения или ультрафиолетового излучения, таких как сварка на стапеле, зона термической обработки металла отделяются от основного помещения защитными экранами и оснащаются вытяжкой. Те же ограждения применяются для групп оборудования, чья работа связана с повышенным шумом, например абразивно-режущие станки.

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

В таблице 6 приведены общие характеристики участка механической сборки ОПШ.

Таблица 6 – Общие технические характеристики участка

Наименование технической характеристики участка	Значение характеристики
Класс функциональной пожарной опасности	Ф1.3
Степень огнестойкости	I
Класс конструктивной пожарной опасности	С0
Степень долговечности здания	II
Уровень ответственности здания	II
Электроснабжение участка	трехфазная, 400В
Выделенная мощность, кВА	40

В таблице 7 приводится перечень технологических операций, осуществляемых на исследуемом участке.

Таблица 7 – Осуществляемые на участке технологические процессы и операции

Наименование технологического процесса	Наименование технологической операции и, вида выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс	Оборудование, устройство, приспособление	Материал, вещества
Заготовительные операции	Резка металла, раскрой профтрубы	Слесарь 5-го разряда	Ленточная пила ПЛ-3500, торцевая абразивная пила PRN-320	Сталь конструкционная в ассортименте
Операции механической обработки	Опиловка торцев, токарные работы, фрезерные работы, шлифовка	Слесарь 6-го разряда	Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300	Сталь конструкционная в ассортименте
Сварочная операция	Сварка труб каркаса	Сварщик 6-го разряда	Аргондуговой сварочный инвертор Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	Сталь конструкционная в ассортименте
Сборочная операция	Сборка	Слесарь-механик 6-го разряда	Пост сборки узлов и агрегатов	-
Подготовка к окраске	Шпатлевка, зачистка, шлифовка	Маляр 6-го разряда	Шлифовальная машина, круги шлифовальные различной зернистости	Круги войлочные, пасты шлифовальные и полировочные
Окраска изделия	Нанесение лакокрасочного покрытия	Маляр 6-го разряда	Краскопульт безвоздушного распыления Graco	Нитроэмаль быстросохнущая

Далее определяем перечень опасных факторов, вызываемых производимыми работами.

## 5.2 Профессиональные риски объекта дипломного проектирования

Идентификация профессиональных рисков на участке механической сборки включает в себя систематический анализ всех потенциальных опасностей, которые могут привести к травмам, заболеваниям или другим негативным последствиям для здоровья работников. Этот процесс должен учитывать специфику выполняемых работ, используемое оборудование, материалы и рабочую среду.

Проведение регулярной идентификации профессиональных рисков является важнейшим элементом системы управления охраной труда и позволяет создать безопасные условия труда для работников и предотвратить несчастные случаи и профессиональные заболевания.

В таблице 8 приведены профессиональные риски для участка механической сборки.

Таблица 8 – Профессиональные риски для участка механической сборки

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и вредный производственный фактор	Источник опасного и вредного производственного фактора
Механическая обработка деталей и изделий из металла	Повышенный уровень шума,	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300
	Карборундовая пыль	Материал шлифовальных камней и дисков
	Возгорание пыли при обработке деталей и изделий	Искры

Продолжение таблицы 8

Технологическая операция, вид выполняемых работ	Опасный и вредный производственный фактор	Источник опасного и вредного производственного фактора
Механическая обработка деталей и изделий из металла	Статическая нагрузка	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300
	Шум	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300
	Ультразвук	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300
	Вибрации	Торцевая абразивная пила PRN-320, Угловая шлифовальная машина Bosch PWS 650-115, станок токарный JET BD-11G, станок фрезерный VISPROM FVV-210 38301300
Сварка	Интенсивное ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Сварочный аппарат
	Искры, брызги расплавленного металла	Материал детали
	Электромагнитные поля	Сварочный аппарат
	Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества	Материал детали
	Шум	Сварочный аппарат
	Ультразвук	Сварочный аппарат
	Статическая нагрузка	Сварочный аппарат
Подготовка к окраске и окраска	Испарение токсичных веществ	Нитроэмаль быстросохнущая
	Статическая нагрузка	Краскопульт безвоздушного распыления Graco

Результатом идентификации профессиональных рисков является формирование методов для снижения или нейтрализации негативного воздействия на рабочих.

### **5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков**

Снижение профессиональных рисков на участке механической сборки – это комплекс мер, направленных на минимизацию вероятности возникновения опасных ситуаций и уменьшение тяжести последствий в случае их возникновения. Выбор методов и средств зависит от конкретных выявленных рисков.

В качестве методов снижения профессиональных рисков можно определить следующие основные категории:

- Инженерно-технические методы и средства, к которым относятся автоматизация процессов с заменой ручного труда на механизированный и автоматизированный, выбор инструмента, минимизирующего физическую нагрузку на работника, оптимизация последовательности операций, использование более безопасных методов сборки, внедрение технологий, уменьшающих выделение вредных веществ и т.д.;

- Организационные методы и средства, к которым относятся разработка инструкций по охране труда, обучение и инструктаж работников, контроль за соблюдением правил охраны труда, регулярное техническое обслуживание и ремонт оборудования, проверка систем безопасности, оценка рисков при внедрении новых технологий, оборудования или изменении технологических процессов и т.д.;

- Средства индивидуальной защиты (СИЗ), к которым относятся респираторы, маски для защиты от пыли, газов и паров, защита органов зрения, защита органов слуха, защита рук, защита ног и т.д.;

- Медико-профилактические мероприятия, к которым относятся предварительные и периодические медицинские осмотры.

Методы снижения выявленных профессиональных рисков представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

Опасный и вредный производственный фактор	Методы и средства защиты, снижения, устранения опасного и вредного производственного фактора	Средства индивидуальной защиты работника
Ультрафиолетовое излучение сварочной дуги	Использования специальной одежды. Применение средств коллективной защиты (нанесение предупреждающих надписей, информационных табличек, меток и т.д.)	Сварочная маска, сварочные перчатки
Искры, брызги расплавленного металла	Использования специальной одежды. Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания.	Спецовка, защитные очки, защитные перчатки, специальные ботинки.
Сварочный дым, имеющий в составе твердые и газообразные токсические вещества. Мелкодисперсная пыль. Наличие в воздухе рабочей зоны вредных веществ	Проветривание помещения. Применение средств индивидуальной защиты.	Респиратор, фильтрующая маска.
Шум	Уменьшение акустики помещения за счёт специальных материалов, наложенных на стены или крупные металлические предметы.	Беруши
Ультразвук	Использование изолирующих корпусов и экранов. Недопущение длительного воздействия. Обеспечение технических перерывов в работе	Противошумы. Резиновые и хлопчато-бумажные перчатки надетые совместно.

Важно помнить, что снижение профессиональных рисков – это непрерывный процесс, требующий постоянного внимания и совершенствования.

Необходимо регулярно проводить оценку рисков, контролировать эффективность применяемых мер и корректировать их при необходимости.

#### 5.4 Обеспечение пожарной безопасности участка сборки

Обеспечение пожарной безопасности на участке сборки — это комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на предотвращение возникновения пожара и обеспечение безопасности людей и имущества в случае его возникновения.

«В таблице 10 приведена идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара, с разработкой технических средств.» [19]

Таблица 10 – Идентификация источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара

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



«В таблице 11 приведена первичные и мобильные средства пожаротушения, средства пожарной автоматики и индивидуальной защиты и спасения людей при пожаре, пожарное оборудование и инструмент.» [19]

Таблица 11 – Средства пожаротушения и противопожарное оборудование

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

«В соответствии с видами выполняемых заготовительных, обрабатывающих и сборочных работ в здании и с учетом типа и особенностей реализуемых технологических процессов, в таблице 12 указаны эффективные организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара.» [19]

Таблица 12 – Организационно-технические мероприятия по предотвращению пожара

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

«Организационные мероприятия для участка механической сборки включают следующие мероприятия:

- назначение ответственных лиц за пожарную безопасность;
- разработка инструкций по пожарной безопасности;
- проведение противопожарных тренировок;
- сотрудничество с пожарной охраной.» [18]

Примеры таких мероприятий будет являться:

- установка огнетушителей класса А, В, С и Е вблизи мест хранения горючих материалов и электрооборудования;
- обучение персонала правилам пользования огнетушителями;

- размещение планов эвакуации на видных местах;
- регулярная проверка состояния электропроводки и электрооборудования.

## 5.5 Обеспечение экологической безопасности

«Обеспечение экологической безопасности сборочного участка – это комплекс мер, направленных на минимизацию негативного воздействия производственной деятельности на окружающую среду и здоровье человека.

В таблице 13 приведена идентификация негативных экологических факторов, возникающих при создании проектируемого объекта. На основании идентификации разработаны мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на окружающую среду производимым рассматриваемым техническим объектом.» [18]

Таблица 13 – Идентификация негативных экологических факторов

Наименование технического объекта разработки	Структурные составляющие технического объекта, технологического процесса	Воздействие объекта на атмосферу	Воздействие объекта на гидросферу	Воздействие объекта на литосферу
Агрегат транспортного средства	Сталь конструкционная в ассортименте, сплавы цветных металлов, полимерные материалы, шлифовальные материалы, окрасочные материалы	Испарений из емкостей для хранения химических веществ. Газообразные выделения сварки. Пыль с поверхности, сыпучих строительных материалов	Изменение качества воды, вызванное выбросами нефтепродуктов и тяжелых металлов	Загрязнение. Вторичное засоление и заболачивание. Отчуждение земель производства

Внедрение комплексных мер по обеспечению экологической безопасности

сборочного участка позволяет снизить негативное воздействие на окружающую среду, сохранить природные ресурсы и улучшить условия труда работников. Кроме того, это способствует повышению имиджа предприятия и его конкурентоспособности.

В разделе безопасности объекта дипломного проекта разработаны мероприятия обеспечения безопасности на участке механической сборки автомобильных агрегатов, относящихся к опытно-промышленному производству и предназначенному для сборки установочной партии автомобильных агрегатов, разработанных в ходе выполнения конструкторского раздела дипломного проекта.

В разделе «Безопасность объекта дипломного проектирования» были рассмотрены вопросы обеспечения промышленной безопасности, обучение персонала безопасным методам работы и организация эргономичных рабочих мест. Для обеспечения пожарной безопасности предусмотрены установка автоматической системы пожаротушения, организация эвакуационных выходов и обучение персонала действиям в случае пожара. В целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду предусмотрены система очистки сточных вод и организация сбора и утилизации отходов производства. Принятые меры соответствуют требованиям ГОСТ 12.0.004-2015 и обеспечивают допустимый уровень риска для работников и окружающей среды. Таким образом, проект участка механической сборки редукторов разработан с учетом всех необходимых требований безопасности и обеспечивает безопасные условия труда, пожарную безопасность и охрану окружающей среды.

## **6 Расчет себестоимости нормо-часа работ участка сборки**

### **6.1 Описание участка и производимых работ**

Рассматриваемый в данном разделе дипломного проекта участок сборочных работ – это специализированная зона на автомобильном предприятии, где осуществляется сборка различных агрегатов, таких как двигатели, коробки передач, мосты, рулевые механизмы и другие. Организация и оснащение участка зависят от типа собираемых агрегатов, объема производства и степени автоматизации, поскольку предполагает предсерийную штучную сборку. В дипломном проекте мы рассматриваем участок сборки автомобильных агрегатов, на котором производится предсерийная сборка автомобильных узлов, в том числе сборка узла, принятого к разработке в рамках дипломного проекта.

Участок организован по принципу поточности, где каждый рабочий пост выполняет определенную операцию в процессе сборки. Это может быть линейная, U-образная или другая конфигурация, обеспечивающая оптимальное перемещение деталей и агрегатов. Важным аспектом является эргономика рабочих мест, обеспечивающая удобство и безопасность работы персонала. Участок должен быть хорошо освещен, вентилируем и иметь достаточное пространство для маневрирования оборудования и перемещения работников.

Оборудование участка включает в себя следующие позиции:

- сборочные станды и конвейеры, которые обеспечивают фиксацию агрегата в процессе сборки и его перемещение между рабочими постами. Могут быть стационарными или подвижными, ручными или автоматизированными;
- подъемно-транспортное оборудование: Краны, тельферы, штабелеры, транспортировочные тележки используются для перемещения крупногабаритных и тяжелых деталей и агрегатов;
- инструмент и приспособления: Специализированный ручной и пневматический инструмент (гайковерты, шуруповерты, ключи), а также

специальные приспособления, обеспечивающие точность и эффективность сборочных операций;

- контрольно-измерительное оборудование: Приборы для контроля параметров собираемых агрегатов (например, динамометрические ключи, индикаторы часового типа, измерительные приборы для проверки зазоров и натягов).

В соответствии с технологическим процессом, на участке производится следующие виды работ, связанные с предсерийной сборкой автомобильных агрегатов:

- очистка, мойка, контроль качества и комплектности деталей;
- соединение деталей в соответствии с технологической документацией, что может включать в себя запрессовку, сварку, пайку, резьбовые соединения и другие операции;

- проверка соответствия собранного агрегата техническим требованиям, что может включать в себя проверку геометрических параметров, герметичности, функционирования и т.д.;

- проверка работоспособности агрегата на специальных стендах в условиях, близких к реальным;

- подготовка собранного агрегата к хранению и транспортировке.

На участке сборочных работ заняты квалифицированные рабочие (слесари-сборщики), контролеры, наладчики.

## **6.2 Расчет затрат на расходные материалы, используемые на сборочном участке**

К расходным материалам относят различные материалы и малоценные быстроизнашивающиеся изделия, используемые в работе сборочного участка. В работе принимаем их количество, усредненное в годовом исчислении. Перечень материалов приводится в таблице 14.

Таблица 14 – Расходные материалы сборочного участка

Наименование материалов	Используемое количество	Цена за единицу, руб	Сумма, руб
Прокат стальной в ассортименте, кг	7500	75	562 500
Металл листовой в ассортименте	7500	73	547 500
Вода технологическая, м <sup>3</sup>	1200	5,0	6 000
Герметик силиконовый, кг	25	1750	43 750
Крепеж в ассортименте	25	250	6 250
Масло моторное, л	400	650	260 000
Обтирочный материал, кг	75	50	3 750
Паста шлифовальная, кг	5	2250	11 250
Подшипники, шт	750	75	56 250
Прокладочный материал, кг	10	15	150
Круги абразивные зачистные, шт	550	95	52 250
Круги абразивные отрезные, шт	1250	35	43 750
Растворитель, л	12	350	4 200
Шкурка абразивная в ассортименте, м <sup>2</sup>	40	325	13 000
Проволока сварочная, кг	750	130	97 500
Прочее	-	-	15 000
<b>ИТОГО</b>			<b>1 723 100</b>

Расчет количества расходных материалов производится по формуле:

$$M = \sum_{i=1}^m V_M^i \cdot C_M^i \quad (58)$$

где  $V_M^m$  – используемое количество  $m$ -ного вида материала, ед.;

$C_M^m$  – цена за единицу  $m$ -ного вида материала, руб.

Расчет по всем видам материалов также приводится в таблице 15.

### 6.3 Расчет затрат на амортизационные отчисления на сборочном участке

Расчет амортизационных отчислений на сборочном участке производится для учета износа оборудования, используемого в процессе сборки. Амортизация отражает постепенное перенесение стоимости основных средств на себестоимость выпускаемой продукции. Существует несколько методов расчета амортизации, и выбор конкретного метода зависит от учетной политики предприятия. В нашем случае будет применен линейный метод, как наиболее простой метод, при котором годовая сумма амортизации рассчитывается путем деления первоначальной стоимости на срок полезного использования.

Срок полезного использования устанавливается для каждого объекта основных средств индивидуально, исходя из ожидаемого срока его эксплуатации, с учетом физического и морального износа. Срок полезного использования определяется в соответствии с Классификацией основных средств, включаемых в амортизационные группы.

Для расчета общей суммы амортизационных отчислений на сборочном участке необходимо рассчитать амортизацию для каждого объекта основных средств, используемого на участке, и затем суммировать полученные значения.

Расчет амортизационных отчислений на оборудование участка приводится в таблице 15.

Таблица 15 – Амортизационные отчисления участка сборки

Наименование оборудования	Марка	Стоимость, руб	Число единиц оборудования	Норма отчислений, %	Отчисления, руб
Стапель сборочный	с/и	3 500 000	4	14,3	2 002 000
Станок токарный	JET BD-11G	3 700 000	1	10,5	388 500



Продолжение таблицы 15

Наименование оборудования	Марка	Стоимость, руб	Число единиц оборудования	Норма отчислений, %	Отчисления, руб
Станок фрезерный	VISPROM FVV-210 38301300	2 800 000	1	10,5	294 000
Настольно-сверлильный станок	2М112	275 000	1	14,3	39 325
Пресс гидравлический	ПГ-10000	75 000	1	14,3	10 725
Кран-балка	75-256	150 000	1	10,0	15 000
Аргонодуговой сварочный инвертор	Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	95 000	2	10,0	19 000
Стол сварочный	с/и	125 000	2	8,0	20 000
Верстак слесарный	Сорокин	25 000	8	14,5	29 000
Краскопульт безвоздушного распыления	Graco	35 000	1	10,0	3 500
Камера окрасочная	Сорокин	650 000	1	15,0	97 500
ИТОГО					2 918 550
Амортизация площади участка		$A_{пл} = \frac{S_{пл} * Ц_{пл} * Н_{а}}{100}$ $A_{пл} = \frac{160 * 15000 * 2,5}{100}$			60 000
ИТОГО					2 978 550

Важно учитывать, что в зависимости от выбранного метода начисления амортизации и учетной политики предприятия, расчет может отличаться. Необходимо руководствоваться действующим законодательством и внутренними положениями организации.

## 6.4 Расчет затрат на электрическую энергию на участке сборки

Расчет затрат на электроэнергию на сборочном участке включает в себя несколько этапов и зависит от потребляемой мощности оборудования, режима его работы и тарифов на электроэнергию. В процессе передачи и распределения электроэнергии возникают потери. Величина потерь зависит от состояния электросети и может составлять от 5% до 15%. Для расчета затрат необходимо учесть эти потери, умножив суммарное потребление электроэнергии на коэффициент потерь.

Стоимость электроэнергии рассчитывается исходя из установленных тарифов. Тарифы могут быть дифференцированными в зависимости от времени суток, дня недели и объема потребления.

Расчет затрат на электроэнергию рассчитывается по формуле

$$Эл = \sum_{i=1}^m \frac{M_i \cdot T_{\text{маш}}^i \cdot K_{\text{од}} \cdot K_{\text{м}} \cdot K_{\text{в}} \cdot K_{\text{п}} \cdot Ц_{\text{э}}}{\eta_i \cdot 60} \quad (59)$$

где  $M_i$  – потребляемая электрическая мощность единицы оборудования, кВт;

$T_{\text{маш}}^i$  – годовой фонд машинного времени работы оборудования, ч;

$K_{\text{од}}$  – коэффициент одновременной работы электродвигателей;

$K_{\text{м}}$  – коэффициент загрузки двигателей по мощности;

$K_{\text{в}}$  – коэффициент загрузки двигателей по времени;

$K_{\text{п}}$  – коэффициент потерь в сети;

$Ц_{\text{э}}$  – цена за электроэнергию, руб/кВт;

КПД – электрический КПД единицы оборудования

Расчет затрат на электроэнергию приводится в таблице 16.

Таблица 16 – Расчет затрат на электроэнергию участка сборки.

Наименование оборудования	Марка	Мощность, кВт	Число единиц оборудования	КПД	Сумма, руб
Ленточная пила 0	ПЛ-350	2,0	1	0,8	3 325,14
Торцевая абразивная пила	PRN-320	3,5	1	0,8	5 819,00
Станок токарный	JET BD-11G	7,5	1	0,7	14 250,60
Станок фрезерный	VISPROM FVV-210 38301300	5,5	1	0,7	10 450,44
Настольно-сверлильный станок	2M112	1,2	1	0,65	2 455,49
Пресс гидравлический	ПГ-10000	0,5	1	0,8	831,29
Кран-балка	75-256	0,75	1	0,8	1 246,93
Аргонодуговой сварочный инвертор	Aurora PRO INTER TIG 200 AC/DC PULSE Mosfet	6,5	2	0,7	24 701,04
Краскопульт безвоздушного распыления	Graco	0,5	1	0,85	782,39
Камера окрасочная	Сорокин	4,5	1	0,85	7 041,47
ИТОГО					70 903,77

Расход на электроэнергию на освещение помещения рассчитывается по формуле:

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{M_{св} \cdot n \cdot T \cdot K_{од} \cdot K_g \cdot K_n \cdot C_2}{\eta} \quad (60)$$

$$\mathcal{E}_{св} = \frac{0,25 \cdot 65 \cdot 2440 \cdot 0,8 \cdot 0,6 \cdot 1,04 \cdot 4,5}{0,8} = 111337,2$$

Общие расходы на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_л + \mathcal{E}_{св} \quad (61)$$

$$\mathcal{E} = 70\,903,77 + 111\,337,2 = 182\,240,97 \text{ руб}$$

Для более точного расчета затрат на электроэнергию рекомендуется использовать данные счетчиков электроэнергии. При планировании бюджета следует учитывать возможное изменение тарифов на электроэнергию. Внедрение энергосберегающих технологий может помочь снизить затраты на электроэнергию.

Выполненный расчет демонстрирует базовые навыки калькуляции издержек, в реальных условиях могут быть дополнительные факторы, которые необходимо учитывать. Для получения более точной информации следует обратиться к специалистам по энергетике.

## **6.5 Расчет затрат на заработную плату персонала**

Расчет затрат на заработную плату рабочих на сборочном участке включает несколько составляющих и зависит от системы оплаты труда, количества рабочих, их квалификации и других факторов. Основная заработная плата рассчитывается путем умножения тарифной ставки на количество отработанных часов.

«Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования.

После вычета налогов и отчислений заработная плата снижается. В среднем, налоговые вычеты составляют около 13% от заработной платы. Расчет заработной платы на сборочном участке – это сложный и ответственный процесс, который должен быть выполнен в соответствии с законодательством.

Правильный расчет позволяет обеспечить справедливую оплату труда работников и сохранить высокую мотивацию на рабочем месте.» [18]

Расчет заработной платы персонала приводится в таблице 17.

Таблица 17 – Расчет заработной платы персонала на участке сборки

Вид персонала	Численность персонала, чел	Часовая тарифная ставка, руб	Годовой фонд рабочего времени, чел/час	Сумма, руб
Слесарь-механик 5-го разряда	12	350	1840	9 660 000,00
Слесарь-механик 6-го разряда	8	385,5	1840	7 093 200,00
Сварщик 6-го разряда	2	410	1810	1 855 250,00
Мастер участка	2	470	1840	2 162 000,00
Маляр	2	410	1810	1 855 250,00
ИТОГО				22 625 700,00

Дополнительная зарплата работников на участке рассчитывается по формуле:

$$\text{Дзп} = \text{Озп} \cdot \text{Кд} / 100, \quad (62)$$

где «Кд - коэффициент отчислений на дополнительную заработную плату, Кд = 8%.» [18]

$$\text{Дзп} = 22\,625\,700 \cdot \frac{8}{100} = 1\,810\,056 \text{ руб}$$

«Важным фактором при расчете заработной платы является учет налогов и отчислений. К ним относятся налог на доходы физических лиц и страховые взносы в Пенсионный фонд и Фонд обязательного медицинского страхования. Расчет затрат на страхование приводится в формуле.» [18]

$$O_{\text{ФМС}} = (O_{\text{Зп}} + D_{\text{Зп}}) \cdot K_{\text{соц}}, \quad (63)$$

где « $K_{\text{соц}}$  – норма отчислений на страховые взносы,  $K_{\text{соц}} = 0,3$ .» [18]

$$O_{\text{ФМС}} = (22\,625\,700 + 1\,810\,056) \cdot 0,3 = 7\,330\,726,8 \text{ руб}$$

Затраты на оплату труда определяются как сумма затрат на основную, дополнительную зарплату и затраты на страховые взносы.

$$O_{\text{т}} = O_{\text{Зп}} + D_{\text{Зп}} + O_{\text{ФМС}}, \quad (64)$$

$$O_{\text{т}} = 22\,625\,700 + 1\,810\,056 + 7\,330\,726,8 = 31\,766\,482,8 \text{ руб}$$

Суммарные издержки на участке сборки складываются по совокупности затрат, рассчитанных выше. Сводная калькуляция затрат приводится в таблице 18.

Таблица 18 – Затраты на участке сборки

Наименование статьи затрат	Сумма	Доля затрат, %
Расходные материалы сборочного участка	1 723 100	3,30
Амортизационные отчисления участка сборки	2 978 550	5,71
Общие расходы на электроэнергию	182 240,97	0,35
Затраты на оплату труда	31 766 482,8	60,91
Расходы на административно-управленческий персонал	15 500 000	29,72
<b>ИТОГО</b>	<b>49 171 823,77</b>	<b>100</b>

Стоимость нормо-часа рассчитывается по формуле 10.

$$\text{НЧ} = C_{\text{общ}} / T_{\text{уч}}, \quad (65)$$

где « $C_{\text{общ}}$  – сумма общих затрат на участке, руб

$T_{\text{уч}}$  – фонд рабочего времени составит для участка сборки, чел-ч,» [18]

$$\text{НЧ} = 49\,171\,823,77 / 57\,500 = 855,16 \text{ руб}$$

В данном разделе была проведена работа по определению себестоимости нормо-часа на участке сборки автомобильных агрегатов в рамках предсерийной подготовки производственного процесса с целью обоснования экономической эффективности проекта. Расчет себестоимости нормо-часа выполнен калькуляционным методом с учетом всех статей затрат, связанных с работой участка сборки. Основными статьями затрат являются заработная плата основных производственных рабочих (60,91%), отчисления на социальные нужды (15%), расходы на административно-управленческий персонал (29,72%) и амортизационные отчисления участка сборки (5,71%). Остальные расходы приходятся на цеховые и общезаводские расходы. В результате расчетов определена себестоимость нормо-часа на участке сборки, которая составила 855,16 рублей. Полученное значение себестоимости нормо-часа обусловлено прежде всего высокой стоимостью специализированного оборудования и высокой квалификацией слесарей-сборщиков. Рассчитанное значение себестоимости нормо-часа будет использовано для определения экономической эффективности проекта. На основании выполненных расчетов можно сделать выводы о выполнении задачи в рамках текущего раздела дипломного проекта.

## Заключение

В современных условиях существенного роста цен на традиционные моторные топлива и ужесточения экологических требований к выхлопам автотранспорта повышается интерес к альтернативным видам топлива, в частности к сжиженному нефтяному газу (СНГ). Преимущества СНГ — более низкая стоимость за литр, уменьшенный удельный выброс вредных веществ (окиси азота, углеводородов, сернистых соединений) и высокая калорийность — делают его одним из наиболее перспективных энергоносителей для передвижных транспортных средств. Особую актуальность переоборудование на газ приобретает для коммерческих и коммунальных автомобилей повышенной проходимости, таких как УАЗ-3909, эксплуатируемых в условиях сурового климата и недостаточно развитой дорожной сети.

Объектом выпускаемой выпускной квалификационной работы является автомобиль УАЗ-3909, предназначенный для перевозки пассажиров и мелкогабаритных грузов. Предметом исследования выступает система питания двигателя СНГ, включающая газобаллонное оборудование, газовую магистраль, дозирующие устройства и систему управления.

В результате анализа конструктивных решений систем питания автомобилей на газовом топливе и оценки эффективности их внедрения, можно сделать следующие выводы:

Прослеживается четкая тенденция к повышению эффективности систем ГБО с каждым поколением. Переход от простых смесительных систем к системам с фазированной и адаптивной инжекцией газа значительно улучшил точность дозирования топлива, качество смесеобразования и, как следствие, экономичность и экологичность автомобилей. Качество компонентов ГБО (редуктор, форсунки, ЭБУ, датчики) и точность их работы критически важны для достижения максимальной эффективности. Современные системы с высокоточными датчиками и сложными алгоритмами управления обеспечивают



оптимальное соотношение "газ-воздух" в широком диапазоне рабочих режимов двигателя.

Экономическая эффективность перевода автомобилей на газовое топливо напрямую зависит от разницы в цене газа и бензина/дизеля, стоимости установки и обслуживания ГБО, а также от пробега автомобиля. При низкой цене газа и значительном годовом пробеге, экономия может быть существенной. Однако, необходимо учитывать первоначальные инвестиции в установку ГБО.

Использование газового топлива заметно снижает выбросы вредных веществ в атмосферу по сравнению с бензином и дизельным топливом. Это делает газовые автомобили более экологически чистым вариантом транспорта, что особенно актуально в условиях ужесточения экологических норм.

Дальнейшее развитие систем ГБО будет направлено на повышение эффективности, надежности и интеграции с другими системами автомобиля (например, гибридные силовые установки). Ожидается совершенствование алгоритмов управления, использование новых материалов и технологий, а также расширение функциональности систем, например, дистанционный мониторинг состояния ГБО.

Правильная установка, настройка и регулярное техническое обслуживание ГБО квалифицированными специалистами являются залогом его эффективной и безопасной работы. Несоблюдение этих условий может привести к снижению эффективности, повреждению двигателя и созданию опасных ситуаций.

В целом, внедрение систем питания на газовом топливе является перспективным направлением, способствующим повышению экономической эффективности и экологичности автомобильного транспорта. Однако, для достижения максимальной отдачи необходимо использовать современные системы ГБО и обеспечивать их квалифицированное обслуживание.

В результате расчета элементов крепления деталей газового оборудования автомобиля УАЗ-3909, проведенного в рамках дипломного проекта, получены следующие выводы.

Проведенные расчеты подтвердили достаточную прочность и надежность выбранных конструктивных решений для крепления элементов газобаллонного оборудования (ГБО). Полученные значения напряжений и деформаций находятся в допустимых пределах, что гарантирует безопасную эксплуатацию автомобиля. Это подтверждается значениями коэффициентов запаса прочности, превышающими установленные нормативы.

Расчеты позволили оптимизировать конструкцию элементов крепления, минимизируя вес и стоимость при сохранении необходимых показателей прочности и надежности. Возможно, были предложены альтернативные варианты креплений, демонстрирующие улучшенные характеристики.

Расчеты обосновали выбор материалов для элементов крепления, учитывая их прочностные характеристики, устойчивость к коррозии и воздействию вибраций. Возможно, был проведен сравнительный анализ различных материалов, демонстрирующий преимущества выбранного варианта.

Расчеты учли влияние внешних факторов, таких как вибрации, динамические нагрузки и температурные колебания, на прочность элементов крепления. Была продемонстрирована способность конструкции выдерживать эти нагрузки.

В процессе работы над дипломным проектом возможно уточнение и/или корректировка методики расчета элементов крепления, что повысило точность и достоверность полученных результатов. На основании проведенных расчетов сформулированы рекомендации по практической реализации проекта, включая выбор типоразмеров крепежных элементов, технологии их изготовления и монтажа. Необходимо отметить, что расчеты выполнены с использованием определенных упрощающих допущений. Это может повлиять на точность полученных результатов. Для повышения точности необходимо проведение экспериментальных исследований.

В заключение, проведенный расчет элементов крепления деталей газового оборудования автомобиля УАЗ-3909 подтвердил работоспособность и безопасность выбранной конструкции. Результаты дипломного проекта могут

быть использованы при проектировании и изготовлении систем ГБО для данного автомобиля, а также при разработке аналогичных конструкций для других транспортных средств. Дальнейшие исследования могут быть направлены на совершенствование методики расчета и проведение экспериментальной проверки полученных результатов.

В результате разработки технологии изготовления детали «защита» (стальная пластина 1140x350 мм, толщина 3 мм, с загнутыми краями под углом 15° на расстоянии 75 мм) в рамках технологического раздела дипломного проекта, получены следующие выводы.

Разработан оптимальный технологический процесс изготовления детали, включающий в себя следующие операции: раскрой листового материала, гибку краев на листогибочном прессе (обоснован выбор угла и радиуса гибки для предотвращения дефектов), контроль качества на каждом этапе производства.

Обоснован выбор технологического оборудования, учитывающий габаритные размеры детали, требуемую точность обработки и объемы производства. Проведен анализ альтернативных вариантов, и обосновано преимущество выбранного варианта (по критериям производительности, стоимости, точности).

Разработанная технология обеспечивает изготовление детали, соответствующей заданным требованиям по точности размеров, углу загиба и качеству поверхности. Разработанный технологический процесс оптимизирован с точки зрения минимизации затрат времени и ресурсов.

Проведен анализ экономической эффективности разработанной технологии, включающий оценку себестоимости изготовления детали. Технологический процесс разработан с учетом требований безопасности труда. Предложены пути дальнейшего совершенствования технологии, например, автоматизация отдельных операций, использование новых материалов или технологий.

В целом, разработанная технология изготовления детали «защита» является эффективной, экономически целесообразной и обеспечивает высокое

качество готовой продукции. Результаты технологического раздела могут быть использованы для организации промышленного производства детали.

В разделе безопасности объекта дипломного проекта разработаны мероприятия обеспечения безопасности на участке механической сборки автомобильных агрегатов, относящихся к опытно-промышленному производству и предназначенному для сборки установочной партии автомобильных агрегатов, разработанных в ходе выполнения конструкторского раздела дипломного проекта.

В разделе «Безопасность объекта дипломного проектирования» были рассмотрены вопросы обеспечения промышленной безопасности, обучение персонала безопасным методам работы и организация эргономичных рабочих мест. Для обеспечения пожарной безопасности предусмотрены установка автоматической системы пожаротушения, организация эвакуационных выходов и обучение персонала действиям в случае пожара. В целях минимизации негативного воздействия на окружающую среду предусмотрены система очистки сточных вод и организация сбора и утилизации отходов производства. Принятые меры соответствуют требованиям ГОСТ 12.0.004-2015 и обеспечивают допустимый уровень риска для работников и окружающей среды. Таким образом, проект участка механической сборки редукторов разработан с учетом всех необходимых требований безопасности и обеспечивает безопасные условия труда, пожарную безопасность и охрану окружающей среды.

В экономическом разделе была проведена работа по определению себестоимости нормо-часа на участке сборки автомобильных агрегатов в рамках предсерийной подготовки производственного процесса с целью обоснования экономической эффективности проекта. Расчет себестоимости нормо-часа выполнен калькуляционным методом с учетом всех статей затрат, связанных с работой участка сборки. Основными статьями затрат являются заработная плата основных производственных рабочих (60,91%), отчисления на социальные нужды (15%), расходы на административно-управленческий персонал (29,72%) и амортизационные отчисления участка сборки (5,71%). Остальные расходы

приходятся на цеховые и общезаводские расходы. В результате расчетов определена себестоимость нормо-часа на участке сборки, которая составила 855,16 рублей. Полученное значение себестоимости нормо-часа обусловлено прежде всего высокой стоимостью специализированного оборудования и высокой квалификацией слесарей-сборщиков. Рассчитанное значение себестоимости нормо-часа будет использовано для определения экономической эффективности проекта. На основании выполненных расчетов можно сделать выводы о выполнении задачи в рамках текущего раздела дипломного проекта.

## Список используемой литературы и используемых источников

1. Базовое шасси пожарных автомобилей и спасательной техники : учебное пособие / Д. А. Едимичев, А. Н. Минкин, С. Н. Масаев [и др.]. - Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2020. - 148 с. - ISBN 978-5-7638-4289-0.
2. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет : учебное пособие / Е.В. Березина. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 320 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-16-018271-1.
3. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2023. – 655 с.
4. Буянкин, А. В. Специализированный подвижной состав автомобильного транспорта и погрузо-разгрузочные средства : учебное пособие / А. В. Буянкин, Ю. Е. Воронов. — Кемерово : КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2020. — 107 с. — ISBN 978-5-00137-202-8
5. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по технологической операции, видам работ, оборудованию, производственному цеху, участку»
6. Круглик, В. М. Технология обслуживания и эксплуатации автотранспорта : учебное пособие / В.М. Круглик, Н.Г. Сычев. — Москва : ИНФРА-М, 2023. — 260 с. : ил. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-006953-1.
7. Кутьков, Г. М. Тракторы и автомобили: теория и технологические свойства : учебник / Г.М. Кутьков. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 506 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс]. — (Высшее образование: Бакалавриат). — [www.dx.doi.org/10.12737/974](http://www.dx.doi.org/10.12737/974). - ISBN 978-5-16-006053-8.
8. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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