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 «Модернизация рулевого управления автомобиля LADA NIVA»

Обучающийся Е.Ю. Родионов
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель канд. техн. наук А.С. Тизилов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

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

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

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

канд. фил. наук М.М. Бажутина
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2025

Аннотация

В данной выпускной квалификационной работе рассматривается процесс модернизации рулевого управления автомобиля Lada Niva. Основной целью исследования является повышение эффективности, надежности и безопасности системы рулевого управления, что особенно актуально для эксплуатации автомобиля в сложных дорожных и климатических условиях.

В рамках работы проведен анализ существующих конструкций рулевых механизмов, выявлены их недостатки и предложены пути их устранения.

Целью работы является анализ существующей системы рулевого управления, выявление ее недостатков и разработка рекомендаций по улучшению характеристик управляемости и комфорта вождения.

В первом разделе рассмотрено состояние вопроса – модернизация рулевого управления автомобиля LADA NIVA.

Во втором разделе произведен тягово-динамический расчет автомобиля LADA NIVA.

В третьем разделе проведены расчеты по конструкторской части.

В четвёртом разделе рассмотрен технологический процесс.

В пятом разделе рассмотрена производственная и экологическая безопасность проекта.

В шестом разделе рассмотрена экономическая эффективность проекта, с проведёнными необходимыми расчётами и оцениванием эффективности проекта.

Abstract

The title of the final qualification project is Modernization of the Steering System for the Lada Niva Vehicle. The work consists of an explanatory note on (87) pages, including (11) figures, (20) tables, a list of (25) references (including (5) foreign sources), (3) appendices, and a graphic part on (10) A1 sheets.

The aim of this work is to analyze the existing steering system of the Lada Niva, identify its shortcomings, and develop recommendations for improving handling characteristics, especially under demanding road and climatic conditions.

The first part examines the current state of steering system modernization for the Lada Niva, including an analysis of existing designs and their limitations.

The second part presents the tractive-dynamic calculations for the vehicle, providing a foundation for further design improvements.

The third part details the engineering design calculations, including structural analysis and component strength verification, ensuring the proposed solutions meet technical and safety standards.

The fourth part describes the manufacturing process, outlining key steps and considerations for implementation.

The fifth part addresses occupational and environmental safety, highlighting measures to mitigate risks during production and operation.

The sixth part provides a comprehensive economic feasibility assessment, including cost analysis and projected efficiency gains.

In conclusion, the proposed modernization of the steering system demonstrates significant potential for enhancing vehicle performance and safety. The results of this work can be applied to the Lada Niva and similar vehicles, offering practical benefits for both manufacturers and end-users.

Содержание

Введение 6
1.Состояние вопроса 7
1.1 Назначение и описание рулевого управления 7
1.1 Требования предъявляемые к рулевому управлению. 9
1.3 Конструкция рулевого управления 11
1.4 Выбор и объяснение выбранного варианта 18
2. Тягово-динамический расчет 19
2.1 Исходные данные 19
2.2 Подготовка исходных данных для тягового расчета 19
2.3 Определение передаточного числа главной передачи 22
2.4 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя 22
2.5 Определение передаточных чисел коробки передач 26
2.6 Тяговый баланс автомобиля 29
2.7 Динамическая характеристика автомобиля 33
2.8 Разгон автомобиля 34
2.8.1Ускорение при разгоне 34
2.8.2 Время и путь разгона 36
2.9 Мощностной баланс автомобиля 39
2.10 Расчет топливно-экономической характеристики автомобиля 41
3. Конструкторская часть 44
3.1 Исходные данные 44
3.2 Расчет передаточного числа рулевого механизма 45
3.3 Кинематический расчет рулевого управления 46
3.4 Определение усилия на рулевом колесе 48
3.5 Расчет на прочность рулевого механизма 50
3.6 Расчет гидроусилителя рулевого механизма 57
4. Технологический процесс 59

4.1 Анализ технологичности конструкции изделия 59
4.2 Технологическая схема сборки, ее разработка 60
4.3 Составление перечня сборочных работ 61
4.4 Определение трудоемкости сборки 63
5. Производственная и экологическая безопасность проекта 66
5.1 Рабочее место и оборудование 66
5.2 Опасные и вредные производственные факторы 68
5.3 Безопасные условия труда 71
6. Экономическая эффективность проекта 78
6.1 Экономическое обоснование детали 78
6.2 Расчет экономической эффективности проекта 79
Заключение 85
Список используемой литературы 86
Приложение А 89

Введение

Рулевое управление является одной из ключевых систем автомобиля, обеспечивающей его управляемость, безопасность и комфорт при эксплуатации. Автомобиль Lada Niva, известный своей проходимостью и надежностью, активно используется в различных условиях, включая сложные дорожные и климатические ситуации. Однако конструкция рулевого управления, разработанная очень давно, имеет ряд ограничений, которые не удовлетворяют современным требованиям к автомобилям. Это включает повышенные усилия на руле, большой свободный ход и маленький ресурс деталей и узлов.

В современом мире модернизация рулевого управления становится актуальной задачей. Большинство решений, такие как внедрение какого либо усилителя руля, использование прочных материалов и удобное расположение конструкции, способны значительно улучшить рулевые характеристики автомобиля и повлиять на его проходимость.

Целью данной работы является разработка и обоснование изменений рулевого управления автомобиля Lada Niva, направленных на повышение его надежности, удобства эксплуатации и соответствия современным стандартам. В данной раоте будем рассматривать уже существующие конструкции, выявлять их недостатки и предлагать идеи для их устранения. Также будет проведен расчет всех параметров измененного узла и оценка его экономической эффективности.

Результаты которые мы получим могут быть полезны как для дальнейшего развития рулевого управления автомобилей Lada Niva, так и для улучшения новых моделей, которые будут соответсвовать всем требованиям и спросам.

1. Состояние вопроса

1.1 Назначение и описание рулевого управления

Нива – легковой автомобиль повышенной проходимости, служащий для перевозки пассажиров и грузов. Он предназначен главным образом для сельской местности. Его можно эксплуатировать как на грунтовых, так и на дорогах с твердым покрытием. При этом он способен преодолевать заболоченные, глинистые, песчаные и заснеженные участки, а также водные преграды глубиной до 0,5 м и подъемы крутизной до 30°.

Рулевое управление — это основная система автомобиля, которая обеспечивает изменение направления движения путём поворота управляемых колёс и осей.

«Современные системы рулевого управления значительно усовершенствовались с появлением электроусилителя руля (ЭУР, EPS), который пришел на смену традиционным гидравлическим системам. EPS обеспечивает повышенную топливную экономичность и позволяет реализовать функции помощи водителю» [25].

«Рулевое управление предназначено для изменения и поддержания направления движения автомобиля. Рулевым механизмом называют механизм, который позволяет осуществить поворот колес с необходимым передаточным числом, а рулевым приводом – систему тяг и рычагов, которые в совокупности с рулевым механизмом осуществляют поворот автомобиля» [2].

В рулевом управлении есть три основных узла:

Рулевой механизм – передает крутящий момент с рулевого колеса на колеса.
Рулевой привод – передаёт усилие к колёсам.
Система усиления – снижает усилие на руле.

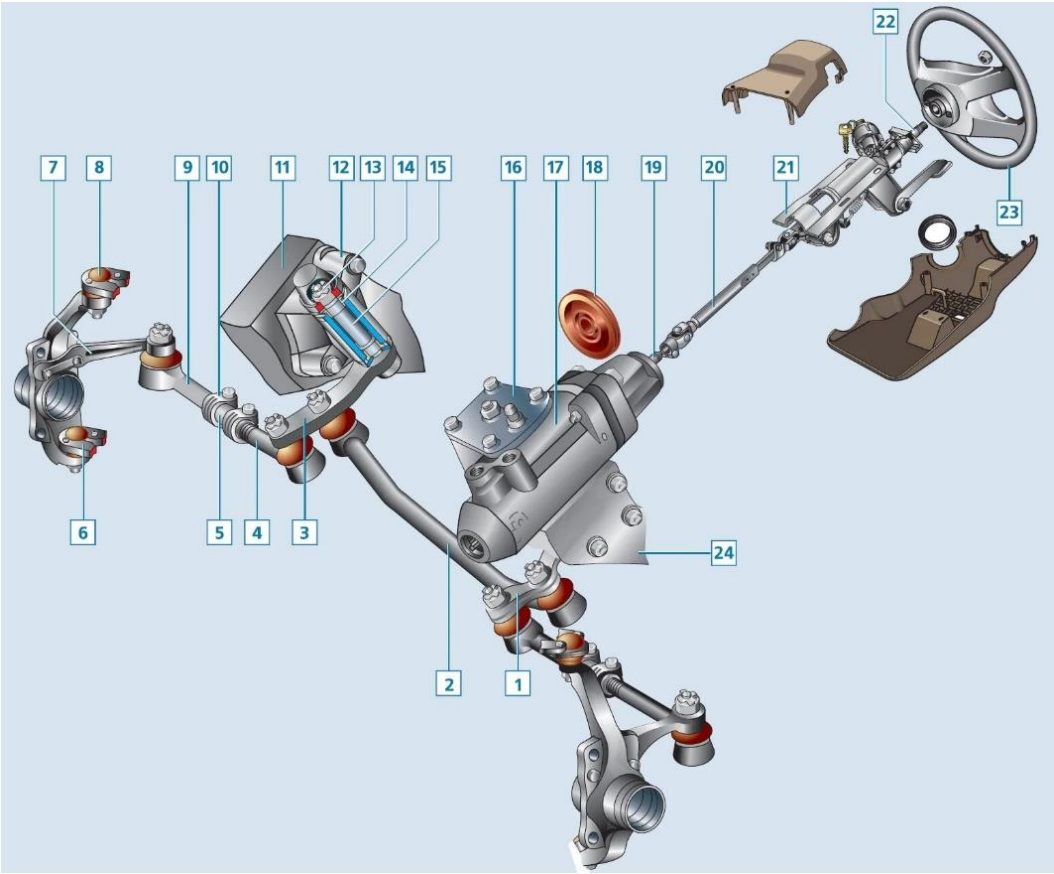


Рисунок 1 – Система рулевого управления.

«В современных двухосных автомобилях управляемыми делают обычно передние колеса, поворот которых можно осуществить двумя способами: поворотом всей оси вместе с сидящими на ней колесами или поворотом одних только колес при неподвижной передней оси» [16].

«К важнейшим свойствам автомобиля, формирующим его управляемость, относятся:

1) поворачиваемость;

2) устойчивость;

3) лёгкость управления;

4) характеристика угла увода автомобиля;

5) стабилизация рулевого управления» [14].

Устройство рулевого управления автомобиля включает в себя следующие части:

Рулевое колесо — это круглый элемент, который находится в салоне автомобиля и служит для управления транспортного средства. Водитель

поворачивает рулевое колесо, чтобы изменить угол поворота управляемых колес, что позволяет автомобилю двигаться в нужном направлении.

Рулевая колонка — это важный компонент системы рулевого управления автомобиля, который соединяет рулевое колесо с рулевым механизмом. Основн ая функция рулевой колонки заключается в передаче вращательного движения от рулевого колеса к рулевому механизму, который преобразует это движение для поворота колёс автомобиля.

Рулевой механизм — это часть системы рулевого управления автомобиля, которая преобразует вращение рулевого колеса в движение поворачивающих колес. Он отвечает за изменение направления движения автомобиля и управляемость транспортного средства.

Рулевой привод — это часть системы рулевого управления автомобиля, к оторая передает усилие от рулевого механизма к колесам, обеспечивая их повор от. Это один из важных агрегатво системы, который преобразует линейное движение в поворот управлемой оси автомобиля.

Усилитель рулевого управления — это устройство, которое облегчает упр авление автомобилем, уменьшая усилие, необходимое для поворота рулевого к олеса. Это особенно полезно при маневрировании на низких скоростях, парковк е или движении по бездорожью. Усилитель руля помогает водителю, добавляя дополнительное усилие к системе рулевого управления.

Дополнительные узлы рулевого управления — это элементы, которые дополняют основную систему рулевого управления автомобиля, обеспечивая её эффективное функционирование и повышая безопасность. Эти узлы могут включать в себя различные механизмы и устройства, которые помогают улучшить управляемость и комфорт при вождении.

1.1 Требования предъявляемые к рулевому управлению.

Требования, предъявляемые к рулевому управлению:

«Поддерживать такое соотношение между углами поворота колес, при котором качение всех колес автомобиле не сопровождается их боковым скольжением.

Обеспечивать согласованность в кинематическом и силовом отношении между поворотом рулевого и управляемых колес.

Создавать условия для обеспечения легкости управления, высокой маневренности автомобиля» [15].

К рулевому управлению предъявлятся множество требований:

«Поворот управляемых колес автомобиля должен происходить при допустимом усилии, прилагаемом к рулевому колесу, что должно обеспечит легкость управления.

Все узлы и механизмы рулевого управления должны обладать повышенной надежностью, так как выход из строя рулевого управления во время движения приводит к серьезным авариям» [6].

Согласно ГОСТ 33997 – 2016 также существуют стандарты:

Изменение усилия при повороте рулевого колеса должно быть плавным во всем диапазоне угла его поворота.

Суммарный люфт в рулевом управлении не должен превышать предельных значений, установленных изготовителем в эксплуатационной документации КТС, а при отсутствии указанных данных – следующих предельных значений:

- КТС категорий M1 и N1, а также КТС категорий L6 и L7 с автомобильной компоновкой – 10°;
- КТС категорий M2 и M3 – 20°;
- КТС категорий N2 и N3 – 25°.

Повреждения и отсутствие деталей крепления рулевой колонки и картера рулевого механизма не допускаются. Резьбовые соединения должны быть

затянуты и зафиксированы способом, предусмотренным изготовителем колесного транспортного средства. Не предусмотренные эксплуатационной документацией изготовителя перемещения и люфты в соединениях рычагов поворотных цапф и шарнирах рулевых тяг не допускаются. Устройство фиксации положения рулевой колонки с регулируемым положением рулевого колеса должно быть работоспособно.

Если же все удовлетворяет требования, то проводят испытания для каждого узла автомобиля.

«По оцениваемым эксплуатационным свойствам автомобилей различают испытания на тягово-скоростные свойства, тормозные свойства, топливную экономичность, управляемость, устойчивость, надежность» [9].

1.3 Конструкция рулевого управления

На автомобилях изменение направления движения осуществляется поворотом передних колес различными типами рулевых управлений.

Выбор между правым и левым рулевым управлением определяется правилами дорожного движения в конкретной стране. Автомобили с соответствующим расположением руля проектируются с учетом удобства и безопасности водителей, а также особенностей дорожной инфраструктуры. Важно, чтобы водители были знакомы с правилами и особенностями вождения в своей стране, чтобы обеспечить безопасное и комфортное управление автомобилем.

«Рулевую трапецию в зависимости от компоновочных возможностей располагают перед передней осью (передняя рулевая трапеция) или за ней (задняя рулевая трапеция). При зависимой подвеске колес применяют трапеции с цельной поперечной тягой; при независимой подвеске — трапеции с расчлененной поперечной тягой, что необходимо для предотвращения

самопроизвольного поворота управляемых колес при колебаниях автомобиля на подвеске» [3].

Выбор между рулевым управлением с усилителем и без него зависит от типа автомобиля, его назначения и предпочтений водителей. Рулевое управление с усилителем обеспечивает больший комфорт и легкость управления, что делает его предпочтительным для большинства современных автомобилей. В то же время, рулевое управление без усилителя может быть использовано в спортивных автомобилях или легких моделях, где важна отзывчивость и простота конструкции.

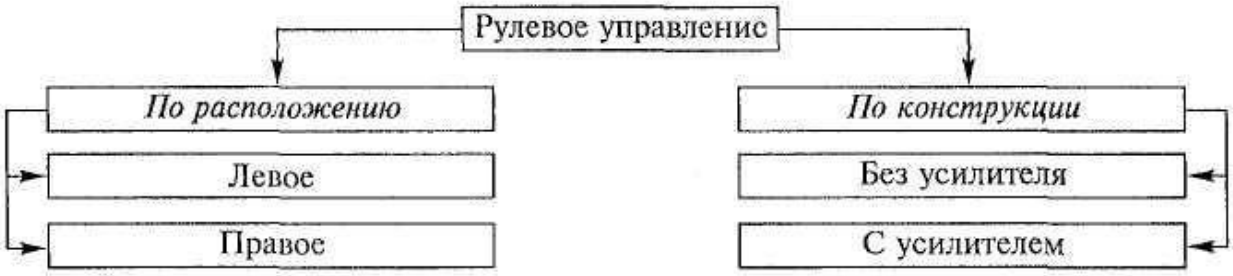


Рисунок 2 – Виды рулевого управления.

В настоящее время на автомобилях используется три различных типа усилителей рулевого управления:

- Гидравлические
- Электрогидравлические
- Электрические усилители

Гидравлический усилитель рулевого управления (ГУР) — это система, которая облегчает управление автомобилем, уменьшая усилие, необходимое для поворота рулевого колеса. ГУР использует гидравлическую жидкость под давлением для усиления силы, прилагаемой водителем к рулевому колесу.

«Гидравлическое рулевое управление работает на автомобиле без обычного рулевого механизма. Поворот управляемых колес в этом случае производится исключительно под давлением жидкости, которая выполняет функции. Жидкость нагнетается специальным гидронасосом, приводимым в

движение от двигателя, или под давлением, создаваемым усилием водителя» [16].

Когда водитель поворачивает рулевое колесо, крутящий момент передается на распределитель, который направляет гидравлическую жидкость в соответствующую полость гидроцилиндра. Это облегчает поворот колес, так как жидкость под давлением помогает преодолеть сопротивление

Электрогидравлический усилитель рулевого управления (ЭГУР) — это гибридная система, которая сочетает в себе элементы гидравлического и электрического усилителей руля. Он предназначен для улучшения управляемости автомобиля, повышения энергоэффективности и снижения нагрузки на двигатель по сравнению с традиционным гидравлическим усилителем.

В таких электрогидравлических усилителях насос работает не постоянно, а лишь при изменении положения руля. При этом механическое соединение рулевой колонки и рейки сохраняется, соответственно обеспечивается качественная обратная связь водителя с дорогой.

Электрические усилители руля (ЭУР) — это системы, которые используют электродвигатель для облегчения управления автомобилем, уменьшая усилие, необходимое для поворота рулевого колеса. В отличие от гидравлических и электрогидравлических систем, ЭУР не используют гидравлическую жидкость и не требуют насоса, что делает их более энергоэффективными и простыми в обслуживании.

Принцип действия электрического усилителя чрезвычайно прост. Вращение рулевого колеса измеряется соответствующими датчиками, после чего сигналы передаются электронному блоку управления и в последующем пересылаются на электродвигатель, вращающий рейку.

Рисунок 3 – Классификация рулевых механизмов.

Рулевые механизмы современных автомобилей разделяют на червячные, винтовые и зубчатые.

Червячный рулевой механизм — это один из типов рулевых механизмов, который используется для преобразования вращательного движения рулевого колеса в линейное движение, необходимое для поворота колес автомобиля. Этот механизм состоит из нескольких ключевых компонентов и обладает уникальными характеристиками.

Состав червячного рулевого механизма

Червяк – это винтовая часть механизма, которая соединена с рулевым валом. Червяк имеет специальную резьбу, которая взаимодействует с зубчатым сектором или роликом.

Зубчатый сектор или ролик – этот элемент передает движение от червяка на рулевые тяги, которые, в свою очередь, поворачивают колеса автомобиля.

Рулевой вал – он соединяет рулевое колесо с червяком и передает усилие от водителя.

Сошка – это часть, которая соединяет зубчатый сектор с рулевыми тягами, обеспечивая движение колес.

«Обычная червячная передача, осуществленная при помощи цилиндрического червяка и червячной шестерни, позволяет получить большое передаточное число, которое являАтся: необходимым для рулевого механизма. Передача, осуществленная при помощи цилиндрического червяка и червячной шестерни, nрименялась в рулях первых отечественных автомобилей.

При работе автомобиля рулевая сошка, а вместе с ней и шестерня, поворачивается лишь на часть оборота, что позволяет вместо шестерни· применять сектор с зубьями» [16].

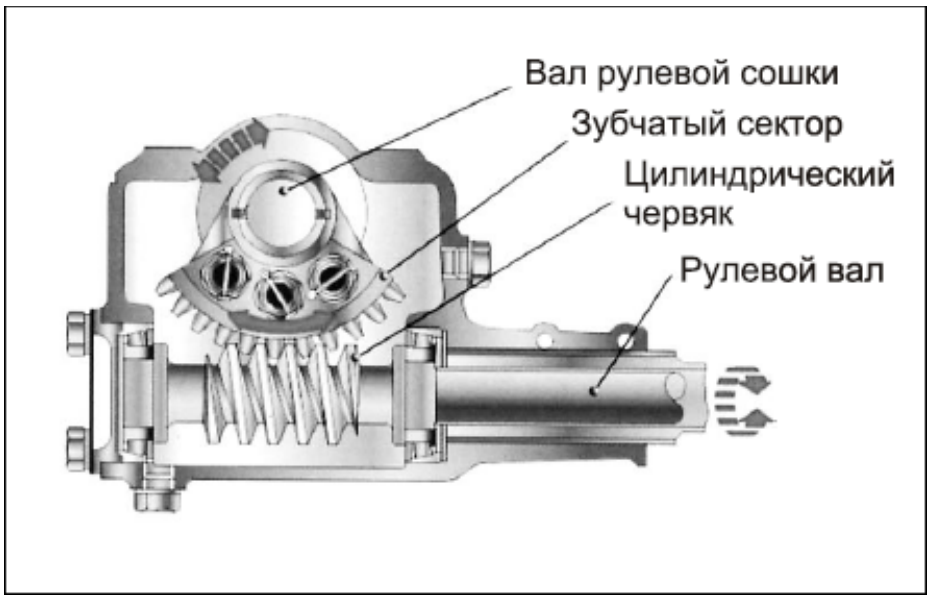


Рисунок 4 – Червячный рулевой механизм.

«Винтовой рулевой механизм — это один из типов рулевых механизмов, который используется для преобразования вращательного движения рулевого колеса. Вращение рулевого вала в этой передаче преобразуется в прямолинейное возвратно-поступательное движение гайки. Далее это движение гайки преобразуется во вращате;аьное движение вала сошки. Последнее преобразование производится различными способами: при помощи рычага, кривошппа, серьги, зубчатого зацепления» [16].

Состав винтового рулевого механизма

Вал рулевого колеса – соединяется с рулевым колесом и передает вращательное движение.

Винт – это основной элемент рулевого механизма, который вращается при повороте рулевого колеса.

Зубчатый сектор – этот элемент передает движение от гайки на рулевые тяги, которые, в свою очередь, поворачивают колеса автомобиля.

Рулевая сошка – предназначена для передачи движения на рулевые тяги с рулевого механизма.

При вращении рулевого колеса вал начинает вращаться, что приводит в движение винт. В результате вращения винта гайка перемещается вдоль него, что вызывает движение зубчатого сектора и рулевой сошки. Это движение передается на рулевые тяги, которые поворачивают колеса автомобиля. Винтовой механизм обеспечивает высокую эффективность передачи усилия и позволяет управлять автомобилем с меньшими усилиями.

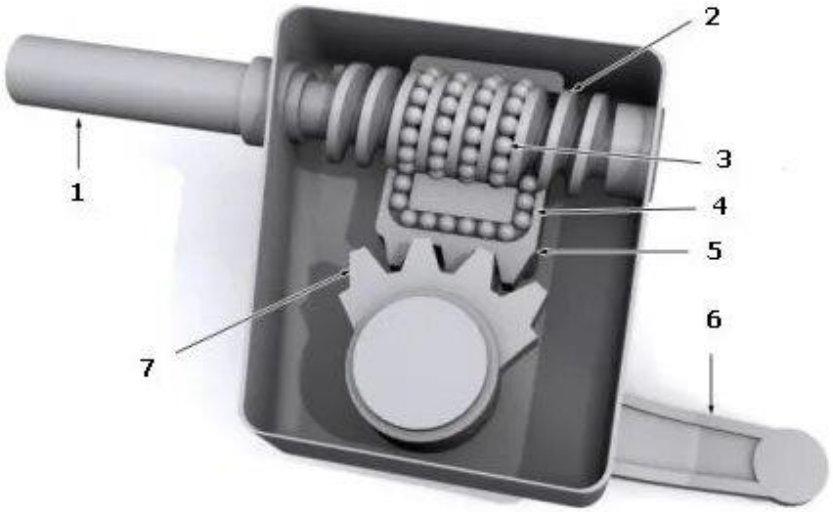


Рисунок 5 – Винтовой рулевой механизм.

Зубчатый рулевой механизм — это один из распространенных типов рулевых механизмов, которые используют в автомобилях. Он преобразует вращательное движение рулевого колеса в линейное движение, необходимое для поворота колес. Этот механизм отличается простотой конструкции и высокой эффективностью.

Состав зубчатого рулевого механизма

Рулевое колесо – агрегат автомобиля, поворачивая при повороте которого, идет передача крутящего момента на рулевой механизм.

Рулевой вал – передает вращательное движение от рулевого колеса к зубчатой шестерне.

Зубчатая шестерня – установлена на рулевом валу и взаимодействует с зубчатой рейкой. При вращении шестерни она приводит в движение рейку.

Зубчатая рейка – это линейный элемент с зубьями, который перемещается влево или вправо в зависимости от вращения шестерни. Движение рейки передается на рулевые тяги.

Когда водитель поворачивает рулевое колесо, рулевой вал вращает зубчатую шестерню. Данная шестерня приводит в движение зубчатую рейку, которая перемещается влево или вправо. Движение рейки передается на рулевые тяги, которые поворачивают колеса автомобиля. Этот механизм обеспечивает точное и быстрое управление автомобилем. На данный момент этот механизм является самым распространенным среди автомобилей и поддерживает установку всех видов усилителей.

Рисунок 6 – Зубчатый рулевой механизм.

1.4 Выбор и объяснение выбранного варианта

При модернизации рулевого управления автомобиля Lada Niva было принято решение использовать рулевое управление с гидроусилителем руля. Рулевое управление будет включать в себя насос гидроусилителя рулевого управления, шланги высокого давления, бачок с жидкостью, рулевой механизм. Основным элементом изменения будет рулевой механизм. В этом механизме будем модернизировать глобоидальный червяк и двойной ролик с помощью которых и идет передача крутящего момента на колеса автомобиля. Изменение шага зубьев на рулевом валу или ролике позволит регулировать передаточное число. Если использовать ролик с большим количеством зубьев передаточное число уменьшается, делая управление более чувствительным. Изменение передаточного числа в рулевом механизме — это эффективный способ адаптации автомобиля к различным условиям эксплуатации и улучшения его характеристик. Выбор подходящего передаточного числа зависит от целей: маневренность, комфорт или безопасность. Замена рулевого вала и ролика, использование переменных механизмов — это основные методы, которые позволяют достичь желаемого результата.

2. Тягово-динамический расчет

2.1 Исходные данные

Количество приводных колес ..... nk=4;
Собственный вес, кг..... m_0=1210;
Места в автомобиле 5;
Максимальная скорость, м/с ..... V_{max}=37,5;
Максимальная частота вращения двигателя, рад/с .....ω_{max}=586;
Минимальная частота вращения двигателя, рад/с ..... ω_{min}=84;
Коэффициент аэродинамического сопротивления..... C_x=0,56;
Величина максимального преодолеваемого подъема ..... a_{max}=0,28;
Коэффициент полезного действия трансмиссии..... $\eta_{тр}$=0,88;
Площадь поперечного сечения, м^2 ..... H=2,2;
Коэффициент сопротивления качению..... $f k_0$=0,012;
Количество передач в КПП..... 5;
Распределение массы автомобиля, %:
Передняя ось 55;
Задняя ось..... 45;
Плотность воздуха, кг/м^3..... ρ=1,293;
Плотность топлива кг/л..... ρt=0,72.

2.2 Подготовка исходных данных для тягового расчета

Полная масса автомобиля:

$$m_a = m_0 + m_ч(n) + m_б, \quad (1)$$

Подставляем данные:

$$m_a = 1210 + 75 \cdot 5 + 10 = 1595 \text{ кг}$$

«где m_0=1210 кг – снаряжённая масса автомобиля;

$m_ч$=75 кг – масса человека;

n=5 – число пассажиров, включая водителя;

$m_б$=10,0 кг – масса багажа на пассажира.

Полный вес автомобиля:» [20]

$$G_a = m_a \cdot g, \quad (2)$$

Подставляем данные:

$$G_a = 1595 \cdot 9{,}81 = 15646{,}95 \text{ Н}$$

«g = 9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения.

У автомобиля NIVA полноприводная компоновка, это значит, что ведущими могут быть как колёса передней оси, так и задней. Значит распределение веса: 45% от полного веса на заднюю ось и 55% на переднюю. Вес, на ведущие колеса передней и задней оси соответственно:» [20]

$$G_1 = 0{,}55 \cdot G_a = 0{,}55 \cdot 15646{,}95 = 8605{,}82 \text{ Н}, \quad (3)$$

$$G_2 = 0{,}45 \cdot G_a = 0{,}45 \cdot 15646{,}95 = 7041{,}13 \text{ Н}, \quad (4)$$

«Зная размер шин (175/80R16), определяют статистический радиус колеса:» [20]

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

$$r_{\text{ст}} = 0{,}5 \cdot 0{,}4 + 0{,}85 \cdot 0{,}14 = 0{,}319 \text{ м}$$

«где d= 16» = $16 \cdot 0{,}025 = 0{,}4$ м – посадочный диаметр шины;

λ_z=0,85 – коэффициент вертикальной деформации для тороидной шины;

H/B=80% – процентное отношение высоты профиля к ширине шины;

Высота профиля шины H:» [20]

$$H = \text{B} \cdot 0{,}80 = 0{,}175 \cdot 0{,}80 = 0{,}14 \text{ м}, \quad (6)$$

«На дорогах с твердым покрытием $r_{ст} \approx r_д \approx r_к$, где $r_д$ – динамический радиус колеса; $r_к$ – радиус качения колеса.

Коэффициент обтекаемости:» [20]

$$K = \frac{C_X \cdot \rho}{2}, \quad (7)$$

Подставляем данные:

$$k = \frac{0{,}56 \cdot 1{,}293}{2} = 0{,}362$$

«где ρ – плотность воздуха в нормальных условиях (760 мм рт. Ст.), ρ = 1,293.

Лобовая площадь автомобиля:» [20]

$$F = 0{,}8 \cdot Вг \cdot Нг, \quad (8)$$

Подставляем данные:

$$F = 0{,}8 \cdot 1{,}68 \cdot 1{,}64 = 2{,}20416 \text{ м}^2$$

«где $Вг = 1{,}68$ м – габаритная ширина автомобиля;

$Нг = 1{,}64$ м – габаритная высота автомобиля.

Коэффициент сопротивления качению в зависимости от максимальной скорости:» [20]

$$f_k = f_0 \cdot \left(1 + \frac{V_{max}^2}{2000}\right), \quad (9)$$

Подставляем данные:

$$f_k = 0{,}012 \cdot \left(1 + \frac{37{,}5^2}{2000}\right) = 0{,}0204375$$

«где f_0 = 0,012 – коэффициент сопротивления качению при движении автомобиля с малой скоростью;» [20]

$$V_{max} = 135 \cdot \frac{1000}{3600} = 37{,}5 \frac{м}{с}, \quad (10)$$

37,5 м/с – максимальная скорость автомобиля.

2.3 Определение передаточного числа главной передачи

«Передаточное число главной передачи U_0 определяется, исходя из заданного значения максимальной скорости автомобиля V_{max}. Для полноприводных автомобилей с раздаточной коробкой:» [20]

$$U_0 = \frac{r_k \cdot \omega_{max}}{U_k \cdot U_{p1} \cdot V_{max}}, \quad (11)$$

Подставляем данные:

$$U_0 = \frac{0{,}319 \cdot 586}{1 \cdot 1{,}2 \cdot 37.5} = 4{,}2$$

«где $\omega_{max} = 586$ рад/с – максимальная угловая скорость коленчатого вала двигателя;

U_k = 1 – передаточное число высшей передачи в коробке передач, на которой обеспечивается максимальная скорость автомобиля;

U_{p1} = 1,2 – передаточное число повышающей передачи в раздаточной коробке.» [20]

2.4 Расчет внешней скоростной характеристики двигателя

«Мощность двигателя при максимальной скорости автомобиля N_v (в Вт) по формуле мощностного баланса с учетом КПД трансмиссии:» [20]

$$N_v = \frac{1}{\eta_{тр}} \cdot \left(G_a \cdot \psi_v \cdot V_{max} + \frac{C_X \cdot \rho}{2} \cdot F \cdot V_{max}^3\right), \quad (12)$$

Подставляем данные в формулу (12):

$$N_v = \frac{1}{0{,}88} \cdot (15646{,}9 \cdot 0{,}021 \cdot 37{,}5 + 0{,}362 \cdot 2{,}21 \cdot 37{,}5^3) = 61442 \text{ Вт}$$

«где $\eta_{тр}$ = 0,88 – КПД трансмиссии для автомобиля повышенной проходимости;

$\psi_v = f_k = 0{,}0204375$ – коэффициент сопротивления дороги при максимальной скорости автомобиля;

G_a = 15646,95 Н – полный вес автомобиля,

g = 9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения.

Максимальная мощность двигателя в зависимости от его типа:» [20]

$$N_{max} = \frac{N_V}{a \cdot \lambda + b \cdot \lambda^2 - c \cdot \lambda^3}, \quad (13)$$

Подставляем данные:

$$N_{max} = \frac{61442}{1 \cdot 1{,}1 + 1 \cdot 1{,}1^2 - 1 \cdot 1{,}1^3} = 62760 \text{ Вт}$$

«где a=b=c=1 – эмпирические коэффициенты для карбюраторного двигателя;

λ = 1,1 – коэффициент для легковых автомобилей с карбюраторным двигателем» [20]

$$\lambda = \frac{\omega_{max}}{\omega_N}, \quad (14)$$

где

$$\omega_{e(max)} = \frac{\pi \cdot n_{e(max)}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 5600}{30} = 586 \frac{рад}{с}, \quad (15)$$

«$\omega_{e(max)}$ – максимальная угловая скорость коленчатого вала;» [20]

$$\omega_N = \frac{\omega_{e(max)}}{\lambda} = \frac{586}{1{,}1} = 532{,}73 \frac{рад}{с}, \quad (16)$$

«$\omega_{e(max)}$ – угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальном значении мощности.

Внешняя скоростная характеристика двигателя:» [20]

$$N_e = N_{max}\left[a \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \cdot (\frac{\omega_e}{\omega_N})^2 - c \cdot (\frac{\omega_e}{\omega_N})^3\right], \quad (17)$$

«где ω_e – текущие значения угловой скорости коленчатого вала, рад/с;

N_e – текущее значение эффективной мощности двигателя, Вт.

По полученным значениям N_{max}, N_V и рассчитываем скоростную характеристику двигателя. $N_{e(min)} = N_{e1}$ и находится по формуле:» [20]

$$N_{e1} = N_{max}\left[a \cdot \frac{\omega_{e1}}{\omega_N} + b \cdot (\frac{\omega_{e1}}{\omega_N})^2 - c \cdot (\frac{\omega_{e1}}{\omega_N})^3\right], \quad (18)$$

$$N_{e1} = 62760\left[1 \cdot \frac{84}{532{,}73} + 1 \cdot (\frac{84}{532{,}73})^2 - 1 \cdot (\frac{84}{532{,}73})^3\right] = 11210 \text{ Вт}$$

$$N_{e1} = 11{,}210 \text{ кВт}$$

где

$$\omega_{e1} = \omega_{e(min)} = \frac{\pi \cdot n_{e(min)}}{30} = \frac{3{,}14 \cdot 800}{30} = 84\frac{рад}{с}, \quad (19)$$

«84 рад/с – минимальная угловая скорость коленчатого вала.

Из диапазона от $\omega_{e(min)}$ до $\omega_{e(min)}$ выбираем восемь значений ω_{en} и для каждого значения считаем N_{en} и сводим в таблицу 1. По полученным данным строим кривую $N_e(\omega_e)$.

Для построения кривой эффективного момента M_e (Н· м) применяют формулу:» [20]

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e}, \quad (20)$$

$$M_{e1} = \frac{9351}{94} = 99{,}479 \text{ Нм}$$

«Принцип расчёта и построения гривой $M_e(\omega_e)$ тот же что и у N_e .» [20]

Таблица 1 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

ω_e, рад/с	N_e ,кВт	M_e ,Н · м
84	11,210	133,452
147	20,778	141,347
210	30,648	145,943
273	40,197	147,242
336	48,803	145,247
399	55,843	139,957
462	60,694	131,372
525	62,734	119,493
586	61,442	104,850

«Стендовые данные для двигателя проектируемого автомобиля:» [20]

$$N_{ст} = 1{,}15 \cdot N_{max} = 1{,}15 \cdot 62760 = 72174 Вт, \quad (21)$$

$$M_{ст} = 1{,}15 \cdot M_{ст} = 1{,}15 \cdot 147{,}242 = 169{,}3 Нм, \quad (22)$$

«где $N_{ст}$ и $M_{ст}$ – стендовые мощность и момент двигателя проектируемого автомобиля;

M_{max} – максимальное значение момента, полученное с внешней скоростной характеристики двигателя» [20].

2.5 Определение передаточных чисел коробки передач

«Современные транспортные средства обладают высокими показателями надежности. Однако силовые установки имеют недостаточные диапазоны крутящих моментов и угловых скоростей, оказывающих влияние на число передач. Нужное суммарное число передач в трансмиссии зависит от знаменателя геометрической прогрессии, который определяется при заданной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Известно, что чем больше знаменатель геометрической прогрессии, тем меньше число необходимых передач в коробке» [8].

«Передаточное число первой передачи определяется по заданному максимальному дорожному сопротивлению $\psi_{max} = f_k + i = 0{,}0204375 + 0{,}28 = 0{,}3$. Для обеспечения возможности движения автомобиля в этих условиях тяговая сила на ведущих колесах $P_т$ должна быть больше силы сопротивления дороги $P_д$, т. Е.» [20].

$$\frac{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot U_{kI} \cdot Up1}{r_k} \geq G_a \cdot \psi_{max}, \quad (23)$$

или

$$U_{kI} \geq \frac{G_a \cdot \psi_{max} \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot Up1}, \quad (24)$$

«где $U_0 = 4{,}1$ – передаточное число главной передачи;

U_{kI} – передаточное число коробки передач при включенной первой передаче;

U_{p1} = 1,2 – передаточное число повышающей передачи в раздаточной коробке.

Во избежание буксования ведущих колес тяговая сила на первой передаче должна быть меньше силы сцепления колес с дорогой:» [20]

$$\frac{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot U_{kI} \cdot Up2}{r_k} \leq G_{сц} \cdot \varphi, \quad (25)$$

или

$$U_{kI} \leq \frac{G_{сц1} \cdot \varphi \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot Up2}, \quad (26)$$

«где $G_{сц} = G_a = 15646{,}95$ Н – сцепной вес для полноприводного автомобиля;

φ = 0,8 – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой (сухое асфальтированное шоссе в хорошем состоянии);

U_{p2} = 2,1 – передаточное число понижающей передачи в раздаточной коробке» [20].

$$\frac{G_a \cdot \psi_{max} \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot Up1} \leq U_{kI} \leq \frac{G_{сц} \cdot \varphi \cdot r_k}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot Up2}, \quad (27)$$

$$\frac{15646{,}95 \cdot 0{,}3 \cdot 0{,}319}{147{,}242 \cdot 0{,}88 \cdot 4{,}1 \cdot 1{,}2} \leq U_{kI} \leq \frac{15646{,}95 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}319}{147{,}242 \cdot 0{,}88 \cdot 4{,}1 \cdot 2{,}1}$$

$$2{,}35 \leq U_{kI} \leq 3{,}6$$

«M_{max} = 147,242 Н·м – максимальное значение момента, полученное с внешней скоростной характеристики двигателя;

$\eta_{тр}$ = 0,88 – КПД трансмиссии;

Из заданного интервала можно принять $U_{kI} = 3{,}6$

Для пятиступенчатой коробки передач:» [20]

$$U_{kII} = \sqrt[3]{{U_{kI}}^2} = \sqrt[3]{3{,}6^2} = 2{,}349, \quad (28)$$

$$U_{kIII} = \sqrt[3]{U_{kI}} = \sqrt[3]{3{,}6} = 1{,}5326, \quad (29)$$

$$U_{kIV} = 1, \quad (30)$$

$$U_{kV} = 0{,}82, \quad (31)$$

$$U_{k3X} = 1{,}2 \cdot U_{kI} = 1{,}2 \cdot 3{,}6 = 4{,}32, \quad (32)$$

«После нахождения передаточных чисел по геометрической прогрессии необходимо проверить выполнения следующего условия:» [20]

$$\frac{U_{kI}}{U_{kII}} \geq \frac{U_{kII}}{U_{kIII}} \geq \frac{U_{kIII}}{U_{kIV}} \geq \frac{U_{kIV}}{U_{kV}}, \quad (33)$$

$$\frac{3{,}6}{2{,}349;} \geq \frac{2{,}349}{1{,}5326;} \geq \frac{1{,}5326;}{1} \geq \frac{1}{0{,}82}$$

$$1{,}533 \geq 1{,}533 \geq 1{,}533 \geq 1{,}22$$

«Передаточное число понижающей передачи раздаточной коробки:» [20]

$$U_д = \frac{G_{сц} \cdot \varphi \cdot r_{ст}}{M_{max} \cdot \eta_{тр} \cdot U_0 \cdot U_{kI}}, \quad (34)$$

$$U_д = \frac{15646{,}95 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}319}{147{,}242 \cdot 0{,}88 \cdot 4{,}1 \cdot 3{,}6} = 2{,}09$$

2.6 Тяговый баланс автомобиля

«Из уравнения движения автомобиля, связывающего все силы, действующие на автомобиль во время движения, уравнение силового баланса:» [20]

$$P_Т = P_Д + P_В + P_И, \quad (35)$$

«где $P_Т$ – сила тяги на ведущих колесах;

$P_Д$ – сила дорожного сопротивления;

$P_В$ – сила сопротивления воздуха;

$P_И$ – сила сопротивления разгону автомобиля.

Вначале строят тяговую характеристику автомобиля – зависимость силы тяги на ведущих колесах $P_Т$ от скорости автомобиля V для каждой из передач в коробке передач.

Силу тяги на разных передачах рассчитывают по формуле:» [20]

$$P_Т = \frac{U_k \cdot U_o \cdot U_{p1} \cdot M_e \cdot \eta_{тр}}{r_k}, \quad (36)$$

$$P_{TI} = \frac{U_{kI} \cdot U_o \cdot U_{p1} \cdot M_{e1} \cdot \eta_{тр}}{r_k}, \quad (37)$$

$$P_{TI} = \frac{3{,}67 \cdot 4{,}1 \cdot 1{,}2 \cdot 133{,}452 \cdot 0{,}88}{0{,}319} = 6647{,}5 \text{ Н}$$

«Где U_k – передаточное число коробки передач;

M_e – величина эффективного момента двигателя, Н·м;

U_{p1} = 1,2 – передаточное число повышающей передачи в раздаточной коробке.

Скорость автомобиля на разных передачах, со значениями ω_e из таблицы 1:» [20]

$$V = \frac{r_k \cdot \omega_e}{U_k \cdot U_o \cdot U_{p1}}, \quad (38)$$

$$V_I = \frac{r_k \cdot \omega_{e1}}{U_{k1} \cdot U_o \cdot U_{p1}}, \quad (39)$$

$$V_I = \frac{0{,}319 \cdot 84}{3{,}67 \cdot 4{,}1 \cdot 1{,}2} = 1{,}484 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Таблица 2 – Скорость автомобиля для каждой передачи

	V, м/с				
ω_e, рад/с	I	II	III	IV	V
84	1,484	2,593	4,005	5,446	6,642
147	2,597	4,539	7,008	9,531	11,623
210	3,71	6,484	10,012	13,616	16,605
273	4,823	8,429	13,015	17,701	21,586
336	5,936	10,374	16,019	21,785	26,568
399	7,049	12,319	19,022	25,87	31,549
462	8,162	14,264	22,026	29,955	36,53
525	9,275	16,209	25,029	34,04	41,512
586	10,353	18,093	27,937	37,995	46,335

Таблица 3 – Сила тяги на ведущих колесах для каждой передачи

	P_T, Н				
ω_e, рад/с	I	II	III	IV	V
84	6647,5	3803,75	2463,4	1811,31	1485,27
147	7040,5	4028,65	2609,03	1918,405	1573,09
210	7269,5	4159,64	2693,86	1980,78	1624,24
273	7334,24	4196,7	2717,865	1998,43	1638,71
336	7234,9	4139,85	2681,048	1971,36	1616,51
399	6971,4	3989,085	2583,41	1899,56	1557,64
462	6543,8	3744,4	2424,94	1783,05	1462,1
525	5952,03	3405,8	2205,66	1621,807	1329,88
586	5222,67	2988,45	1935,375	1423,07	1166,92

«Взаимодействие автомобиля и дороги сопровождается затратами энергии на подъем автомобиля при движении в гору и необратимыми затратами на деформацию шин и дороги. В связи с этим существует понятие о силе сопротивления дороги $P_Д$, равной сумме силы сопротивления подъему $P_П$ и силы сопротивлению качению P_f:» [20]

$$P_Д = P_П + P_f = 4381{,}15 + 319{,}8 = 4700{,}95 \text{ Н}, \quad (40)$$

$$P_П = G_a \cdot \sin\alpha_Д = 15646{,}95 \cdot 0{,}28 = 4381{,}15 \text{ Н}, \quad (41)$$

$$P_f = G_a \cdot \cos\alpha_Д \cdot f = 15646{,}95 \cdot 1 \cdot 0{,}0204375 = 319{,}8, \quad (42)$$

«где $\alpha_Д$ – крутизна подъёма;» [20]

$$\sin\alpha_Д = i = 0{,}28 => \arcsin 0{,}28 = 16{,}26 => \alpha_Д = 16{,}26°, \quad (43)$$

$$\text{Cos}16{,}26 = 0{,}96 \approx 1, \quad (44)$$

«При движении автомобиль преодолевает силу сопротивления воздуха P_B:» [20]

$$P_B = k \cdot F \cdot V^2, \quad (45)$$

«Сила сопротивления воздуха при движении автомобиля на высшей передаче.

Силы сопротивления воздуха и суммарное сопротивление автомобиля зависят от нескольких факторов, включая скорость движения, аэродинамические характеристики автомобиля и условия движения» [20].

$$P_{BI} = k \cdot F \cdot {V_{I(min)}}^2, \quad (46)$$

$$P_{BI} = 0{,}362 \cdot 2{,}20416 \cdot 5{,}446^2 = 23{,}67 \text{ Н}$$

Таблица 4 – Силы сопротивления воздуха на всех оборотах высшей передачи и суммарное сопротивление

ω_e, рад/с	P_B, Н	$\sum P = P_Д + P_B$, Н
84	23,67	4724,62
147	72,49	4773,44
210	147,94	4848,89
273	250,03	4950,98
336	378,72	5079,67
399	534,06	5235,01
462	716,04	5416,99
525	924,65	5625,6
586	1152	5852,95

Таблица 5 – Сопротивление воздуха на I, II, III, IV передачах

	$P_В$, Н			
ω_e, рад/с	I	II	III	V
84	1,76	5,37	12,8	35,2
147	5,38	16,44	39,19	107,8
210	10,98	33,55	79,99	220,03
273	18,56	56,7	135,17	371,83
336	28,12	85,88	204,77	563,27
399	39,65	121,1	288,74	794,27
462	53,16	162,36	387,14	1064,88
525	68,65	209,66	499,9	1375,14
586	85,53	261,23	622,82	1713,24

2.7 Динамическая характеристика автомобиля

«Динамика предназначена чтобы преодолевать сопротивление движения и поддерживать заданную скорость в различных условиях. Динамическим фактором D автомобиля называют отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу автомобиля:» [20]

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a}, \tag{47}$$

«Динамический фактор для первой передачи:» [20]

$$D_I = \frac{P_T - P_B}{G_a}, \tag{48}$$

$$D_I = \frac{6647{,}5 - 1{,}76}{15646{,}95} = 0{,}4247$$

Таблица 6 – Динамическая характеристики автомобиля на разных передачах

	D				
ω_e, рад/с	I	II	III	IV	V
84	0,4247	0,2428	0,1566	0,1142	0,0927
147	0,4496	0,2564	0,1642	0,118	0,0936
210	0,4639	0,2637	0,1671	0,1171	0,0897
273	0,4675	0,2646	0,1651	0,1117	0,081
336	0,4606	0,2591	0,1583	0,1018	0,0673
399	0,443	0,2472	0,1467	0,0873	0,0488
462	0,4148	0,2289	0,1302	0,0682	0,0254
525	0,376	0,2043	0,109	0,0446	–
586	0,3283	0,1743	0,0839	0,0173	–

2.8 Разгон автомобиля

2.8.1 Ускорение при разгоне

«Ускорение во время разгона определяется для случая движения автомобиля по горизонтальной дороге (i=0) с твердым покрытием хорошего качества при максимальной мощности двигателя без буксования ведущих колёс:» [20]

$$J = (D - f) \cdot \frac{g}{\delta_{вр}}, \quad (49)$$

«Ускорение на первой передаче:» [20]

$$J_I = (D_I - f) \cdot \frac{g}{\delta_{врI}}, \quad (50)$$

$$J_I = (0{,}4247 - 0{,}0204375) \cdot \frac{9{,}81}{1{,}723445} = 2{,}3\,\frac{м}{с^2}$$

«где g = 9,81 м/с^2 – ускорение свободного падения;» [20]

$$\delta_{вр} = 1 + \left(\delta_1 + \delta_2 \cdot U_k^2\right), \quad (51)$$

«$\delta_{вр}$-коэффициент учета вращающихся масс

δ_1 – коэффициент учета вращающихся масс колес;

δ_2 – коэффициент учета вращающихся масс двигателя;

$\delta_1 = \delta_2 = 0{,}03$; U_k- передаточное число коробки передач на данной передаче.

Коэффициент учета вращающихся масс для первой передачи:» [20]

$$\delta_{врI} = 1 + \left(\delta_1 + \delta_2 \cdot U_{kI}^2\right), \quad (52)$$

Подставляем данные:

$$\delta_{врI} = 1 + (0{,}05 + 0{,}05 \cdot 3{,}67^2) = 1{,}723$$

Таблица 7 – Коэффициент учета вращающихся масс для каждой передачи

$\delta_{вр}$				
I	II	III	IV	V
1,723445	1,2705	1,14248	1,1	1,08362

Таблица 8 – Ускорения автомобиля на разных передачах

	J, м/с^2				
ω_e, рад/с	I	II	III	IV	V
84	2,301	1,717	1,169	0,836	0,654
147	2,443	1,822	1,234	0,87	0,662
210	2,524	1,878	1,259	0,862	0,627
273	2,545	1,885	1,242	0,814	0,548
336	2,505	1,843	1,184	0,726	0,424
399	2,405	1,751	1,084	0,596	0,257

Продолжение таблицы 8

462	2,245	1,61	0,942	0,426	0,045
525	2,024	1,42	0,76	0,215	–
586	1,752	1,188	0,545	–	–

«Обратное ускорение:» [20]

$$J_{обр} = \frac{1}{J}\ , \tag{53}$$

$$J_{обрI} = \frac{1}{J_I} = \frac{1}{2{,}301} = 0{,}4346$$

Полученные результаты подставляем в таблицу 9

Таблица 9 – Обратные ускорения

	$J_{обр}$				
ω_e, рад/с	I	II	III	IV	V
84	0,4346	0,582	0,855	1,196	1,529
147	0,409	0,549	0,81	1,149	1,51
210	0,396	0,5325	0,794	1,16	1,595
273	0,393	0,53	0,81	1,23	1,825
336	0,4	0,543	0,845	1,38	2,3585
399	0,416	0,57	0,923	1,678	3,891
462	0,445	0,621	1,06	2,347	22,22
525	0,49	0,7	1,316	4,65	–
586	0,571	0,842	1,835	–	–

2.8.2 Время и путь разгона

«График обратных ускорений используется для определения зависимости времени разгона от скорости движения автомобиля. Время разгона в определенном интервале скоростей пропорционально величине площади,

лежащей под кривой (1/J) и ограниченной линиями выбранных скоростей:» [20]

$$\triangle t = \int_{V_{n-1}}^{V_n} \frac{1}{J} \cdot d_V, \tag{54}$$

«Время и путь разгона автомобиля определяется графоаналитически:» [20]

$$\triangle t = \int_{V_{n-1}}^{V_n} \frac{1}{J} \cdot d_V \approx \left(\frac{1}{J_{cp}}\right)_n \cdot (V_n - V_{n-1}), \tag{55}$$

Подставляем данные:

$$t_1 = \triangle t_1 = \left(\frac{1}{J_{cp}}\right)_1 \cdot (V_1 - V_0) = 0{,}251 \cdot (5{,}8 - 0) = 1{,}456 \text{ с}, \tag{56}$$

«Кривая обратных ускорений разбивается на интервалы, принимая, что в каждом интервале автомобиль разгоняется с постоянным ускорением J=const, которому соответствуют значения $\left(\frac{1}{J_{cp}}\right)_n = \text{const}$:» [20]

$$\left(\frac{1}{J_{cp}}\right)_n = \frac{\left(\frac{1}{J}\right)_{n-1} + \left(\frac{1}{J}\right)_n}{2}, \tag{57}$$

Подставляем данные:

$$\left(\frac{1}{J_{cp}}\right)_1 = \frac{0 + 0{,}502}{2} = 0{,}251$$

Таблица 10 – Время разгона автомобиля

V, м/с	1/J	$1/J_{ср}$	t, с
0	0	0	0
5,8	0,502	0,251	1,456
11,6	0,472	0,487	4,281
17,4	0,643	0,5575	7,515
23,2	0,892	0,7675	11,967
29	1,249	1,0705	18,176
34,8	1,692	1,4705	26,705
40,6	3,627	2,6595	42,13
46,34	7,982	5,8045	75,448

«Аналогичным образом проводится графическое интегрирование зависимости t = f(V) для получения зависимости пути разгона S от скорости автомобиля.

Разбивается график времени разгона автомобиля на интервалы по времени, для каждого из которых находим соответствующие значения $V_{cpk.}$

Путь разгона автомобиля:» [20]

$$\Delta S_k = \frac{(V_k - V_{k-1})}{2} \cdot (t_k - t_{k-1}) = V_{cpk} \cdot \Delta t_k, \qquad (58)$$

Подставляем данные в формулу (58):

$$\Delta S_1 = \frac{(5{,}8 - 0)}{2} \cdot (1{,}456 - 0) = 4{,}22 \text{ м}$$

Данными формулами мы рассчитываем путь разгона автомобиля и полученные данные вставляем в таблицу 11.

Таблица 11 – Путь разгона автомобиля

t, с	V, м/с	Vср, м/с	ΔS, м	S, м
0	0	0	0	0
1,456	5,8	2,9	4,222	4,222
4,281	11,6	8,7	24,578	28,8
7,515	17,4	14,5	46,893	71,471
11,967	23,2	20,3	90,376	137,269
18,176	29	26,1	162,055	252,431
26,705	34,8	31,9	272,075	434,13
42,13	40,6	37,7	581,523	853,598
75,448	46,34	43,47	1448,333	2029,856

2.9 Мощностной баланс автомобиля

«Уравнение мощностного баланса:» [20]

$$N_т = N_f + N_п + N_в + N_и, \quad (59)$$

«где $N_т$ – тяговая мощность, или мощность, подводимая к ведущим колесам; N_f – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления качению колес;

$N_п$ – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления подъему;

$N_в$– мощность, затраченная на преодоление силы сопротивления воздуха;

$N_и$ – мощность, затраченная на преодоление силы инерции автомобиля;

$N_f + N_п = N_д$– мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления дороги.

При равномерном движении автомобиля мощность $N_т$ расходуется только на преодоление сопротивления дороги и воздуха:» [20]

$$N_т = N_д + N_{в,}, \quad (60)$$

«Мощность на преодоление сил сопротивления дороги при движении автомобиля на высшей передаче по горизонтальной поверхности ($\psi_{max} = f_k = 0{,}0204375$):» [20]

$$N_д = P_д \cdot V = G_a \cdot f \cdot V = 15646{,}95 \cdot 0{,}0204375 \cdot 5{,}446 = 1741{,}5 \text{ Вт}, \quad (61)$$

«Мощность затрачиваемая на преодоление силы сопротивления воздуха, двигаясь на высшей передаче:» [20]

$$N_в = P_в \cdot V = 23{,}67 \cdot 5{,}446 = 128{,}9 \text{ Вт} \quad (62)$$

Таблица 12 – Мощности $N_д$, $N_в$ и их сумма

ω_e, рад/с	$N_д$, кВт	$N_в$, кВт	$N_д + N_в$, кВт
84	1,742	0,129	1,87
147	3,048	0,691	3,739
210	4,354	2,014	6,368
273	5,66	4,426	10,086
336	6,97	8,25	15,217
399	8,27	13,816	22,089
462	9,58	21,449	31,028
525	10,885	31,475	42,36
586	12,15	43,47	55,92

Таким образом, мощность, подводимая к ведущим колесам Нивы, может варьироваться в зависимости от выбранной передачи и состояния трансмиссии.

$$N_т = N_e \cdot \eta_{тр} = 11{,}210 \cdot 0{,}88 = 9{,}86 \text{ кВт}, \quad (63)$$

Таблица 13 – Мощность на ведущих колесах

ω_e, рад/с	$N_т$, кВт
84	9,86
147	18,29
210	26,97
273	35,37
336	42,95
399	49,14
462	53,41
525	55,206
586	54,07

«Если дроссельная заслонка открыта полностью (максимальная подача топлива), то наибольшую скорость V_{max} автомобиль развивает, когда мощность $N_т$ равна сумме мощностей $N_д$ и $N_в$.

Для анализа мощностного баланса рассчитается степень использования мощности двигателя И:» [20]

$$И = \frac{(N_д + N_в)}{N_т}, \quad (64)$$

$$И_1 = \frac{(1{,}742 + 0{,}129)}{9{,}86} = 0{,}19$$

Таблица 14 – Степень использования мощности

ω_e	84	147	210	273	336	399	462
И	0,1896	0,2045	0,2361	0,2851	0,3543	0,4495	0,5809
ω_e	525	586	–	–	–	–	–
И	0,7673	1,0342	–	–	–	–	–

2.10 Расчет топливно-экономической характеристики автомобиля

«Для получения топливно-экономической характеристики рассчитается расход топлива при движении автомобиля на высшей передаче по горизонтальной дороге с заданными постоянными скоростями». [20]

$$q_П = \frac{k_{ск} \cdot k_и \cdot (P_Д + P_В) \cdot g_{e\,min} \cdot 1{,}1}{36000 \cdot \rho_т \cdot \eta_{тр}}, \qquad (65)$$

$$q_{П1} = \frac{1{,}12 \cdot 1{,}9 \cdot 343{,}45 \cdot 310 \cdot 1{,}1}{36000 \cdot 0{,}71 \cdot 0{,}88} = 11{,}08\ л$$

«где $k_{ск}$ и $k_и$ – коэффициенты, учитывающие соответственно изменения величины g_e в зависимости от ω_e и И двигателя;

$g_{e\,min} = 310$ г/кВт · ч – минимальный удельный эффективный расход топлива для бензиновых двигателей;

$\rho_т = 0{,}71$ кг/л – плотность бензинового топлива;

$\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии;» [20]

$$P_Д + P_В = 319{,}78 + 23{,}67 = 343{,}45\ Н, \qquad (66)$$

«Коэффициенты $k_{ск}$ и $k_и$ определяются по графикам на рисунке 11. Коэффициент $k_и$ определяется по значениям степени использования мощности двигателя И по прерывистой кривой, а $k_{ск}$ – по отношению угловых скоростей $\frac{\omega_e}{\omega_N}$.» [20]

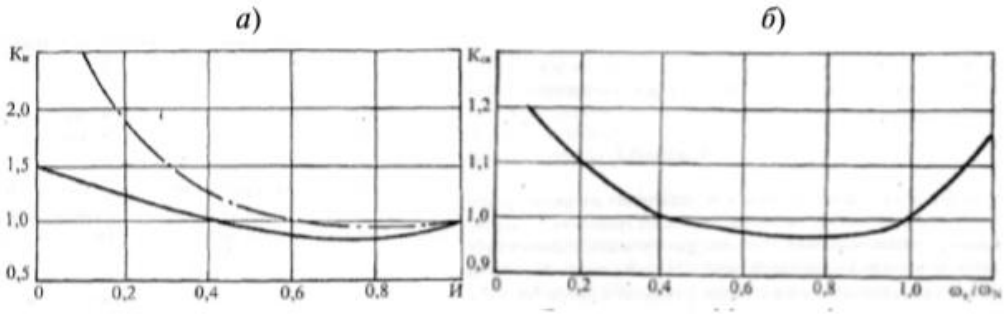


Рисунок 7 – Графики для расчета топливно-экономической характеристики:

а – изменение коэффициента $k_и$; б – изменение коэффициента $k_{ск}$

Таблица 15 – Коэффициенты $k_{ск}$ и $k_и$ и путевой расход топлива $q_П$

ω_e	V	И	$k_и$	ω_e/ω_N	$k_{ск}$	$q_П$
84	5,446	0,1896	1,9	0,158	1,12	11,08
147	9,531	0,2045	1,8	0,276	1,08	11,561
210	13,616	0,2361	1,7	0,394	1,01	12,175
273	17,701	0,2851	1,6	0,512	0,98	13,545
336	21,785	0,3543	1,4	0,63	0,97	14,4
399	25,87	0,4495	1,3	0,749	0,965	16,239
462	29,955	0,5809	1,1	0,867	0,97	16,76
525	34,04	0,7673	0,9	0,98	0,98	16,64
586	37,995	1,0342	1	1,1	1,15	25,66

«Показателем топливной экономичности автомобиля служит минимальный путевой расход топлива, соответствующий скорости при испытаниях автомобиля с полной нагрузкой на горизонтальном участке дороги с твердым покрытием». [20]

$$Q_П = 15{,}4\frac{л}{100}км, \qquad (67)$$

«Расход топлива автомобиля на 100 км составляет 15,4 литров.» [20]

3. Конструкторская часть

Расчет рулевого управления для Лада Нива включает в себя анализ передаточного числа, усилия на рулевом колесе, радиуса поворота и других пар аметров. Это позволяет обеспечить оптимальную управляемость, устойчивость и комфорт вождения. При необходимости для улучшения характеристик рулево го управления можно рассмотреть установку усилителя руля или изменение пер едаточного числа в зависимости от предпочтений водителя и условий эксплуата ции.

«Передаточное число автомобилей и тракторов колеблется в пределах 12 – 16. Хорошая маневренность автомобиля обеспечивается, если поворот управляемых колес на полный угол происходит за 1,0 -1,7 оборота руляевого колеса в каждую сторону от среднего положения, соответсвующего прямолинейному движению [7].

«Спортивные модификации используют пониженные коэффициенты (10-14) для улучшения динамики управления. В коммерческом транспорте применяют увеличенные передаточные числа (18-30) с целью минимизации управляющих усилий» [21].

3.1 Исходные данные

Полная масса автомобиля ($m_{\text{а}}$), кг..... 1595;

Нагрузка автомобиля на переднюю ось ($m_{\text{а1}}$), кг.....877,25;

Нагрузка автомобиля на заднюю ось ($m_{\text{а2}}$), кг.....717,75;

Колёсная база (L), мм..... 2200;

Высота центра тяжести (h_g), мм..... 650;

Статический радиус колеса ($r_{\text{ст}}$), м..... 0,319;

Угол поворота внешнего колеса, град 33;

Угол поворота внутреннего колеса, град..... 38;

Радиус поворота автомобиля, м..... 5,5;

Радиус рулевого колеса, мм..... 190;

КПД рулевого механизма 0,8;

Коэффициент сопротивления качению..... 0,015;

Коэффициент сцепления шин с дорогой 0,8;

Угол поворота управляемых колес, град 76;

Угол поворота рулевого колеса, град 1260;

Расстояние между шкворнями, мм 1440;

Угол наклона винтовой линии, град..... 20;

Начальный радиус винтовой линии червяка, мм..... 18;

Число гребней ролика..... 2;

Диаметр ролика, м 0.022;

Длина контакта, мм..... 11;

Диаметр вала сошки в опасном сечении, мм..... 18;

Плечо поворота управляемых колес, мм 152;

Сечение поперечной тяги, мм..... 7,06;

Радиус колеса, м ..... 0,33.

3.2 Расчет передаточного числа рулевого механизма

«Основными параметрами РУ являются кинематическое передаточное число, силовое передаточное число и КПД». [17]

Передаточное число рулевого механизма важно для управления автомобилем, так как оно влияет на легкость и точность рулевого управления, а также на маневренность автомобиля в различных дорожных условиях.

Передаточное число червячного механизма определяется по формуле:

$$U = \frac{\pi \cdot D}{h}, \qquad (68)$$

где: D— диаметр ролика,

h— шаг червяка.

Подставим исходные данные в формулу:

$$U = \frac{3{,}14 \cdot 32}{10} = 12{,}5$$

Передаточное число рулевого механизма автомобиля Lada Niva $\mathrm{U} = 12{,}5$

«Передаточное число рулевого механизма может быть постоянным или переменным в зависимости от его конструкции. Механизмы с переменным передаточным числом менее технологичны в производстве и поэтому дороже. Увеличение крутящего момента, создаваемого водителем на рулевом колесе, пропорционально силовому передаточному числу рулевого механизма» [17].

3.3 Кинематический расчет рулевого управления

Для минимизации бокового скольжения шин должно выполняться условие Аккермана**:**

$$\mathrm{ctg}\,\theta_{\mathrm{H}} - \mathrm{ctg}\,\theta_{\mathrm{B}} = \frac{\mathrm{B}}{\mathrm{L}}, \qquad (69)$$

где: L – база автомобиля;

B – расстояние между шкворнями;

θ_{B} – угол поворота внутреннего колеса;

θ_{H} – угол поворота наружного колеса.

Углы поворота внутреннего и внешнего колес связаны с радиусом поворота автомобиля.

Максимальный угол поворота наружного колеса определяется по формуле:

$$a_{н\ max} = \arcsin \cdot \left(\frac{L}{R_{m_i n}}\right), \qquad (70)$$

где: L – база автомобиля;

$R_{m_i n}$ – минимальный радиус поворота.

Подставляем необходимые данные в формулу (3):

$$a_{н\ max} = \arcsin \cdot \left(\frac{2200}{5500}\right) = 23°34'$$

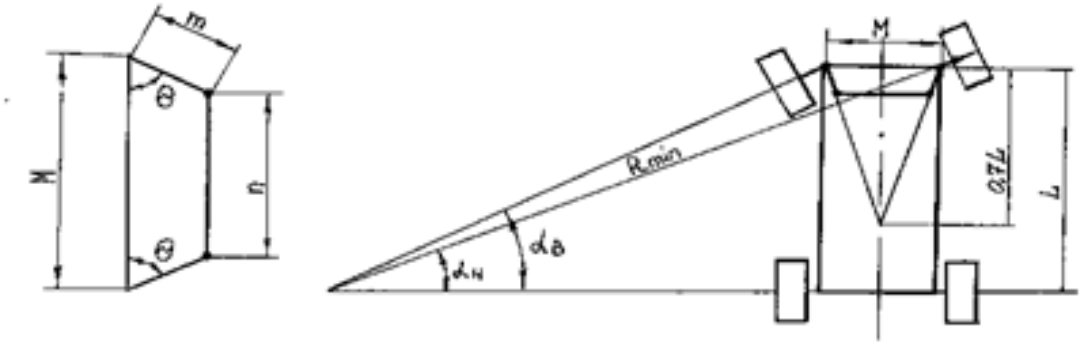


Рисунок 8 – схема рулевой трапеции

Определим максимальный угол поворота наружного колеса, для этого необходимо из формулы вывести формулу зависимости угла поворота внутреннего колеса от угла поворота наружного колеса:

$$a_{в} = arcctg \cdot \left(\frac{1}{tg\, a_{н}} - \frac{B}{L}\right), \quad (71)$$

где: $a_{н}$ – максимальный угол поворота наружного колеса;

L – база автомобиля;

B – расстояние между шкворнями.

$$a_{в} = arcctg \cdot \left(\frac{1}{tg\, 3} - \frac{1440}{2200}\right) = 2{,}68 \text{ рад}$$

Рисунок 9 – Определение зависимости углов поворота колес графическим методом

3.4 Определение усилия на рулевом колесе

Усилие на рулевом колесе можно определить по формуле:

$$F_{рк} = \frac{M_{сопр}}{R_{рк} \cdot \eta \cdot u}, \quad (72)$$

Где: $M_{\text{сопр}}$ — момент сопротивления повороту колес на месте;

$R_{\text{рк}}$ — радиус рулевого колеса;

η — КПД рулевого механизма;

u — передаточное число рулевого механизма.

Момент сопротивления повороту зависит от нагрузки на управляемые колеса и коэффициента трения между шинами и дорогой:

$$M_{\text{сопр}} = G \cdot \varphi \cdot r, \tag{73}$$

Где: G — нагрузка на управляемые колеса;

φ — коэффициент трения между шиной и дорогой;

r — радиус колеса.

Рассчитаем момент сопротивления на управляемые колеса по формуле (6) и получим:

$$M_{\text{сопр}} = 8605{,}82 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}33 = 2271{,}9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Получив момент сопротивления, модем посчитать усилие на рулевом колесе автомобиля. Для этого подставляем данные в формулу (5):

$$F_{\text{рк}} = \frac{2271{,}9}{0{,}19 \cdot 0{,}8 \cdot 16{,}58} = 901{,}5 \text{ Н}$$

3.5 Расчет на прочность рулевого механизма

Для обеспечения безопасности и надёжности рулевое управление должно выдерживать нагрузки, возникающие при движении автомобиля. Рассмотрим основные этапы расчёта на прочность:

Осевое усилие на винте определяется по формуле:

$$P_{\text{к}} = \frac{R_{\text{рк}} \cdot F_{\text{рк}}}{r_0 \cdot tg\,\beta}, \tag{74}$$

где: r_0 - начальный радиус винтовой линии червяка по наименьшему сечению;

β – угол наклона винтовой линии;

$F_{\text{рк}}$ – усилие, прикладываемое водителем на рулевом колесе;

$R_{\text{рк}}$ – радиус рулевого колеса.

Подставив данные в формулу , получим:

$$P_{\text{к}} = \frac{0{,}19 \cdot 901{,}5}{0{,}018 \cdot tg\,20} = 4267{,}69 \text{ Н}$$

Контактная площадь определяется по формуле:

$$A = \pi \cdot d \cdot l, \tag{75}$$

где: d — диаметр ролика;

l — длина контакта.

Подставляя значения в формулу , получим:

$$A = 3{,}14 \cdot 0{,}022 \cdot 0{,}011 = 0{,}00076 \text{ м}^2$$

Контактное напряжение в зацеплении червяк-ролик определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{P_к}{A \cdot n}, \qquad (76)$$

где: n – число гребней ролика;

A – контактная площадь;

$P_к$ – усилие на винте.

Подставив известные значения в формулу, получим:

$$\sigma = \frac{4267{,}69}{0{,}00076 \cdot 2} = 2{,}81 \text{ МПа}$$

Прочностной расчет рулевого привода.

Расчет вала рулевой сошки рассчитывается на кручение по формуле:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{F_{\text{рк}} \cdot R_{\text{рк}} \cdot u_{\text{рм}}}{0{,}2 \cdot d^3}, \tag{77}$$

где: $u_{\text{рм}}$- передаточное отношение рулевого механизма;

$F_{\text{рк}}$ – усилие, прикладываемое водителем на рулевом колесе;

$R_{\text{рк}}$- радиус рулевого колеса;

d – диаметр вала сошки в опасном сечении.

Подставив данные в формулу, получим:

$$\tau_{\text{кр}} = \frac{901{,}5 \cdot 0{,}19 \cdot 16{,}58}{0{,}2 \cdot 0{,}018^3} = 2434 \text{ МПа}$$

Усилие на шаровом пальце сошки определяется по формуле:

$$P_{\text{с}} = \frac{M_{\text{вых}}}{\text{C}}, \tag{78}$$

где: C – плечо поворота управляемых колес.

$M_{\text{вых}}$ – момент на выходе рулевого механизма

Значение $M_{\text{вых}}$ определим по формуле:

$$M_{\text{вых}} = M_{\text{вх}} \cdot U \cdot \eta, \quad (79)$$

где: $M_{\text{вх}}$ – момент на входе рулевого механизма;

U – передаточное число рулевого механизма;

η- КПД рулевого механизма.

Момент на входе рулевого механизма рассчитывается по формуле:

$$M_{\text{вх}} = F \cdot r, \quad (80)$$

где: F – сила, которую прикладывает водитель к рулевому колесу;

r – радиус рулевого колеса автомобиля.

Подставив значения в формулы и, получим:

$$M_{\text{вх}} = 901{,}5 \cdot 0{,}19 = 171{,}3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{\text{вых}} = 171{,}3 \cdot 16{,}58 \cdot 0{,}8 = 2271{,}9 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Теперь можем рассчитать и усилие на шаровом пальце по формуле:

$$P_{\text{с}} = \frac{2271{,}9}{0{,}152} = 14946{,}7\ \text{Н}$$

С помощью полученных данных, можем изобразить схему

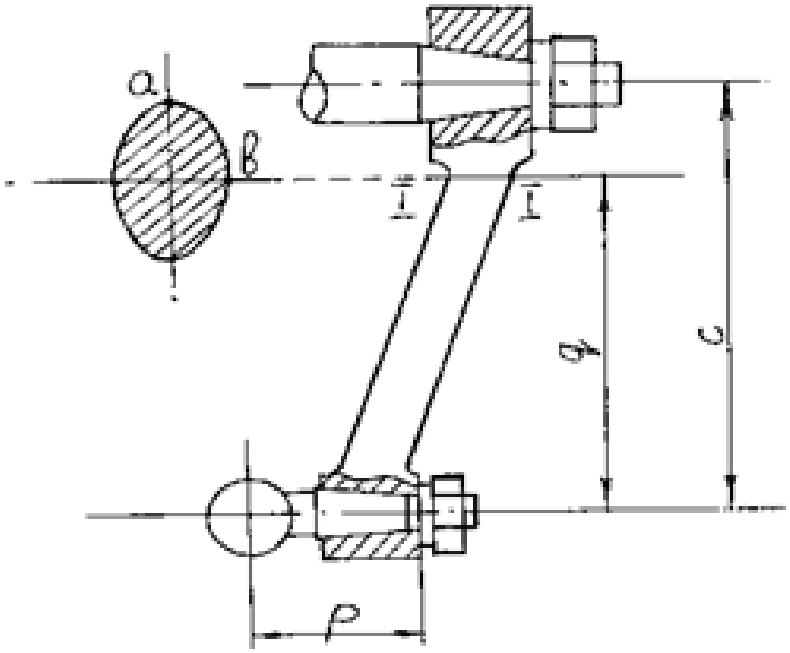


Рисунок 10 – схема к расчету рулевого привода.

Расчет шарового пальца на смятие и изгиб производим по формулам:

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4 \cdot \text{P}_{\text{с}}}{\pi \cdot d^2} < 35, \qquad (81)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = \frac{\text{P}_{\text{с}} \cdot p}{0{,}1 \cdot d_n^3} < 400, \qquad (82)$$

где: d- диаметр шаровой головки пальца;

d_n- диаметр шарового пальца в опасном сечении.

Подставив значения в формулы и, получим:

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot 19946{,}7}{3{,}14 \cdot 0{,}033^2} = 23{,}3 < 35 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{изг} = \frac{19946{,}7 \cdot 0{,}05}{0{,}1 \cdot 0{,}015^3} = 537{,}6 < 600 \text{ МПа}$$

Поперечная тяга проверяется на сжатие и продольную устойчивость. Напряжение сжатия определяется по формуле:

$$\sigma_{сж} = \frac{P_с}{F}, \tag{83}$$

где: F – сечение поперечной тяги;

$P_с$ – усилие на шаровом пальце.

Подставив значения в уравнение, получим:

$$\sigma_{сж} = \frac{19946{,}7}{0{,}000706} = 28{,}2 \text{ МПа}$$

Критическое напряжение при продольном изгибе определяется по формуле:

$$\sigma_{\text{крит}} = \frac{\pi \cdot E \cdot J_{\text{змс}}}{L^2 \cdot F}, \quad (84)$$

где: L – длина тяги по центрам шарниров;

E – модуль упругости первого рода;

$J_{\text{змс}}$- эквивалентный момент инерции сечения тяги.

Значение эквивалентного момента инерции определяется по формуле:

$$J_{\text{звк}} = \frac{\pi \cdot (d_{\text{н}}^4 - d_{\text{вн}}^4)}{64}, \quad (85)$$

Подставив значения, получим:

$$J_{\text{звк}} = \frac{3{,}14 \cdot (0{,}02^4 - 0{,}015^4)}{64} = 5{,}36 \cdot 10^{-9}\ \text{м}^4$$

Подставив значения в формулу, получим:

$$\sigma_{\text{крит}} = \frac{3{,}14 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 5{,}36 \cdot 10^{-9}}{0{,}51^2 \cdot 0{,}000706} = 18{,}3\ \text{МПа}$$

«Способность материала противостоять действию переменных нагрузок оценивают пределом выносливости, значение которого определяют экспериментальным путем» [19].

3.6 Расчет гидроусилителя рулевого механизма

Расчет гидроусилителя рулевого управления начинается с определения момента сопротивления повороту управляемых колес на сухом асфальте при полностью нагруженном автомобиле и сводится к последующему определению: размеров исполнительного цилиндра, распределителя, диаметра трубопроводов, производительности гидронасоса и мощности, затрачиваемой на его привод.

Величину усилия, прикладываемого водителем к ободу рулевого колеса, выбирают из условия, чтобы усилие не превышало 60Н для легковых автомобилей.

Рабочий объем силового цилиндра определяется исходя из работы, совершаемой усилителем.

Расчет усилия, создаваемого гидроусилителем

Гидроусилитель должен компенсировать усилие на рулевом колесе, чтобы водитель прикладывал минимальное усилие. Усилие, создаваемое ГУР:

$$F_{\text{гур}} = F_{\text{рк}} - F_{\text{д}}, \tag{86}$$

где: $F_{\text{рк}}$— усилие на рулевом колесе;

$F_{\text{д}}$— допустимое усилие на рулевом колесе.

Подставим в формулу:

$$F_{\text{гур}} = 901{,}5 - 300 = 601{,}5 \text{ Н}$$

Расчет давления в гидравлической системе

Давление в системе ГУР определяется по формуле:

$$\mathrm{P} = \frac{F_{\text{гур}} \cdot R_{\text{рк}}}{A_{\text{р}} \cdot \eta_{\text{р}}} \tag{87}$$

где: $R_{\text{рк}}$ — радиус рулевого колеса;

$A_{\text{р}}$— площадь поршня гидроусилителя;

$\eta_{\text{р}}$ — КПД гидравлической системы.

Подставим данные в формулу:

$$\mathrm{P} = \frac{601{,}5 \cdot 0{,}19}{0{,}001256 \cdot 0{,}8} = 113 \text{ КПа}$$

Таким образом, расчет рулевого управления автомобиля LADA NIVA включает в себя анализ различных компонентов и их взаимодействия, что позволяет обеспечить надежное и эффективное управление автомобилем.

4. Технологический процесс

4.1 Анализ технологичности конструкции изделия

Изменения в рулевом редукторе по технологической части могут оказать значительное влияние на различные аспекты его производства, эксплуатации и обслуживания. Вот несколько ключевых факторов, на которые могут повлиять такие изменения: производственные затраты, качество изделий, сборка и обслуживание, эксплуатационные характеристики, экологические аспекты.

Изменения в конструкции или технологии производства могут привести к увеличению или снижению себестоимости изделия. Например, использование более дорогих материалов или сложных технологий обработки может увеличить затраты. Оптимизация технологических процессов может сократить время производства и, соответственно, снизить затраты на труд и ресурсы.

Изменения в конструкции, такие как улучшение материалов или технологий обработки, могут повысить прочность и износостойкость редуктора, что увеличит его срок службы. Внедрение новых методов контроля качества может улучшить выявление дефектов на ранних стадиях, что приведет к снижению количества бракованных изделий.

Изменения в конструкции, направленные на упрощение сборки, могут сократить время, необходимое для сборки, и снизить вероятность ошибок. Конструкция, которая облегчает доступ к узлам редуктора, может упростить процесс обслуживания и ремонта, что снизит затраты на эксплуатацию.

Изменения в передаточном отношении или конструкции зубчатых передач могут повлиять на управляемость автомобиля и его маневренность. Оптимизация конструкции может снизить уровень шума и вибраций, что улучшит комфорт при эксплуатации автомобиля.

Внедрение более эффективных технологий может снизить количество отходов и негативное воздействие на окружающую среду. Изменения,

направленные на снижение трения и улучшение передачи усилий, могут повысить общую энергоэффективность автомобиля.

Внедрение новых технологий и улучшение характеристик рулевого редуктора могут повысить конкурентоспособность автомобиля на рынке.

Изменения в рулевом редукторе по технологической части могут оказать комплексное влияние на все этапы жизненного цикла изделия — от производства до эксплуатации. Важно тщательно анализировать возможные изменения и их последствия.

4.2 Технологическая схема сборки, ее разработка

Разработка технологических схем сборки – это процесс создания последовательности операций, необходимых для эффективной и качественной сборки изделия. Она включает в себя детализацию этапов, выбор инструментов, оборудования и методов контроля.

«Технологический процесс сборки последовательность операций, направленных на установку соединений между различными компонентами изделия в соответствии с (ГОСТ 23887-79).

Операция сборки представляет собой технологический этап, во время которого происходит установка и соединение частей заготовки или изделия.

Технологический переход является завершенной частью операции сборки, выполняемой с использованием специального оборудования при строго определенных технологических режимах.

В процессе технологической сборки отмечаются следующие типы работ:

- предварительные операции (антикоррозийная обработка, очистка, сортировка и другие);
- монтажно-слесарные работы; сборочные операции (соединение деталей в сборочные единицы и изделия при помощи винтов, прессования, клепки, сварки, пайки и прочего);
- настройка;

- контрольные работы;
- демонтажные операции (частичное разборка изделия для подготовки к упаковке и транспортировке)» [12].

Сборочная единица в технологической схеме — это часть изделия, состоящая из нескольких деталей, соединённых в единый конструктивный блок на этапе сборки. Она упрощает процесс производства, позволяя собирать сложные изделия поэтапно.

Узел – это сборочная единица, состоящая из нескольких деталей, соединённых в единую конструктивную часть изделия. Узлы могут быть простыми (минимальная сборка) или сложными (включать другие подузлы). Может собираться отдельно (на другом участке или даже другом предприятии).

После сборки узел проходит контроль качества перед интеграцией в общую систему.

Грамотно разработанная технологическая схема сборки сокращает время производства, минимизирует брак и повышает надежность изделия. Ключевые факторы успеха – детальная проработка операций, правильный выбор оборудования и контроль качества.

4.3 Составление перечня сборочных работ

Перечень сборочных работ — это структурированный список всех операций, необходимых для сборки изделия, с указанием последовательности, используемых материалов, оборудования и требований к контролю качества.

Перечень выполняется в виде таблицы, содержащей наименования сборочных работ в последовательности, диктуемой технологической схемой общей и узловой сборки, и данные по нормированию всех необходимых видов работ.

«Сборка рулевого механизма без усилителя требует тщательной регулировки предварительного натяга подшипников. Для систем с червячно-роликовым механизмом правильная последовательность включает: установку предварительного натяга подшипников червяка в диапазоне 0,8-1,2 Н·м с использованием динамометра, зацепление секторного вала с червячной передачей в центральном положении (без зазора), и регулировку осевого люфта секторного вала до 0,03-0,08 мм» [22].

Таблица 16 – перечень сборочных работ

№ операции	Содержание основных и вспомогательных работ	Время $t_{оп}$, мин.
1. Узловая сборка червяка рулевого механизма		
1.	Червяк рулевого механизма достать, осмотреть, зафиксировать в специальном приспособлениии.	0,50
2.	Установить подшипник качения на вал червяка рулевого механизма со стороны рулевой колонки. Провести контроль.	0,55
ИТОГО:		1,05
2. Узловая сборка вала сошки		
1.	Вал сошки достать, осмотреть, зафиксировать в специальном приспособлениии.	0,50
2.	Поставить втулку на вал сошки до упора.	0,15
3.	Установить регулировочный винт на торец вала сошки.	0,20
4.	Установить роликовую втушку на вал сошки со стороны крепления сошки.	0,30
ИТОГО:		1,15
3. Сборка картера рулевого механизма		
1.	Картер рулевого механизма достать, осмотреть, зафиксировать в специальном приспособлениии.	0,50
2.	Установка червяка рулевого механизма в сборе в картер.	0,45
3.	Установка вала сошки в сборе в картер рулевого механизма.	0,30
4.	Поставить подшипник качения на червяк со стороны крышки картера.	0,30

Продолжение таблицы 16

№ операции	Содержание основных и вспомогательных работ	Время $t_{оп}$, мин.
5.	Уложить регулировочные прокладки верхней и нижней крышек на корпус картера	0,15
6.	Установить верхнюю и нижнюю крышки картера и закрепить их винтами.	0,20
7.	Отрегулировать вал сошки с помощью регулировочной пластины и стопорной шайбы винта вала сошки. Закрутить гайку М12.	0,35
8.	Поставить сальники червяка и вала сошки.	0,15
9.	Установить сошку на вал и закрепить ее с помощью шайбы и гайки М20.	0,35
10.	Проветси контроль выполненных работ.	0,52
11.	Снять собранный рулевой редуктор с приспособления.	0,50
ИТОГО:		3,77
Всего:		5,97

4.4 Определение трудоемкости сборки

«Под нормативом трудоемкости принято понимать количественную характеристику показателя. В зависимости от показателя это может быть как установленная величина ожидаемой результативности работ, так и плановый уровень использования ресурса» [18].

Общее время на выполнение работ по сборке рулевого редуктора считается сначала для каждого узла, а потом для общей сборки:

$$t_{оп}^{общ} = \sum t_{оп} \tag{88}$$

Подставляем ихвестные значения в формулу:

$$t_{оп}^{общ} = \sum t_{оп} = 1{,}05 + 1{,}15 + 3{,}77 = 5{,}97 \text{ мин}$$

Суммарная трудоемкость сборки изделия считается по формуле:

$$t_{\text{шт}}^{\text{общ}} = t_{on}^{\text{общ}} + t_{on}^{\text{общ}} \cdot \left(\frac{a+\beta}{100}\right) \quad (89)$$

Подставляем значения в формулу:

$$t_{\text{шт}}^{\text{общ}} = 5{,}97 + 5{,}97 \cdot \left(\frac{2{,}5+5}{100}\right) = 6{,}42 \text{ мин}$$

«α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах a = 2-3%, принимаем a = 2,5% β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах β = 4-6 % , принимаем β = 5 %» [20].

Таблица 17 – Технологическая карта

№ операции	Название операции	№ и наименование технологических переходов	Используемое оборудование
	Узловая сборка червяка рулевого механизма. Узловая сборка вала сошки. Сборка картера рулевого механизма	1.Червяк рулевого механизма достать, осмотреть, зафиксировать в специальном приспособлениии. 2. Установить подшипник качения на вал червяка рулевого механизма со стороны рулевой колонки. Провести контроль. 3. Вал сошки достать, осмотреть, зафиксировать в специальном приспособлениии. 4. Поставить втулку на вал сошки до упора. 5. Установить регулировочный винт на торец вала сошки.	Сборочный стенд рулевы редукторов; Отвертка; Молоток 0,5 кг; Ключ накидной 30 мм; Гайковерт пневматический; Ключ динамометрический;

Продолжение таблицы 17

№ операции	Название операции	№ и наименование технологических переходов	Используемое оборудование
		6. Установить роликовую втушку на вал сошки со стороны крепления сошки. 7. Картер рулевого механизма достать, осмотреть, зафиксировать в специальном приспособлениии. 8. Установка червяка рулевого механизма в сборе в картер. 9. Установка вала сошки в сборе в картер рулевого механизма 10. Поставить подшипник качения на червяк со стороны крышки картера. 11. Уложить регулировочные прокладки верхней и нижней крышек на корпус картера. 12. Установить верхнюю и нижнюю крышки картера и закрепить их винтами. 13. Отрегулировать вал сошки с помощью регулировочной пластины и стопорной шайбы винта вала сошки. Закрутить гайку М12. 14. Поставить сальники червяка и вала сошки. 15. Установить сошку на вал сошки и закрепить ее с помощью шайбы и гайки М20. 16. Проветси контроль выполненных работ. 17. Снять собранный рулевой редуктор с приспособления.	

5. Производственная и экологическая безопасность проекта

Современные тенденции развития автомобильной промышленности требуют не только повышения технических характеристик транспортных средств, но и обеспечения безопасности производственных процессов и минимизации их воздействия на окружающую среду. Модернизация рулевого управления автомобиля LADA NIVA, являясь важным этапом совершенствования эксплуатационных качеств транспортного средства, сопряжена с рядом производственных рисков и потенциальных экологических воздействий, которые необходимо учитывать на всех этапах проекта.

«Современные рулевые системы повышают экологичность транспортных средств за счет: энергосбережения ЭУР (снижение расхода топлива до 0,3 л/100 км по сравнению с гидросистемами), использования бессвинцовых материалов в электронных компонентах и 92-97% уровня переработки реечных механизмов. Анализ жизненного цикла показывает, что алюминиевые корпуса сокращают выбросы CO_2 на 40% по сравнению с чугунными» [21].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью комплексного подхода к модернизации автомобильных систем, который обеспечивал бы не только улучшение технических параметров, но и соответствие современным стандартам безопасности и экологичности. Результаты, представленные в главе, могут быть использованы для оптимизации подобных проектов в автосервисных предприятиях и на производственных площадках.

5.1 Рабочее место и оборудование

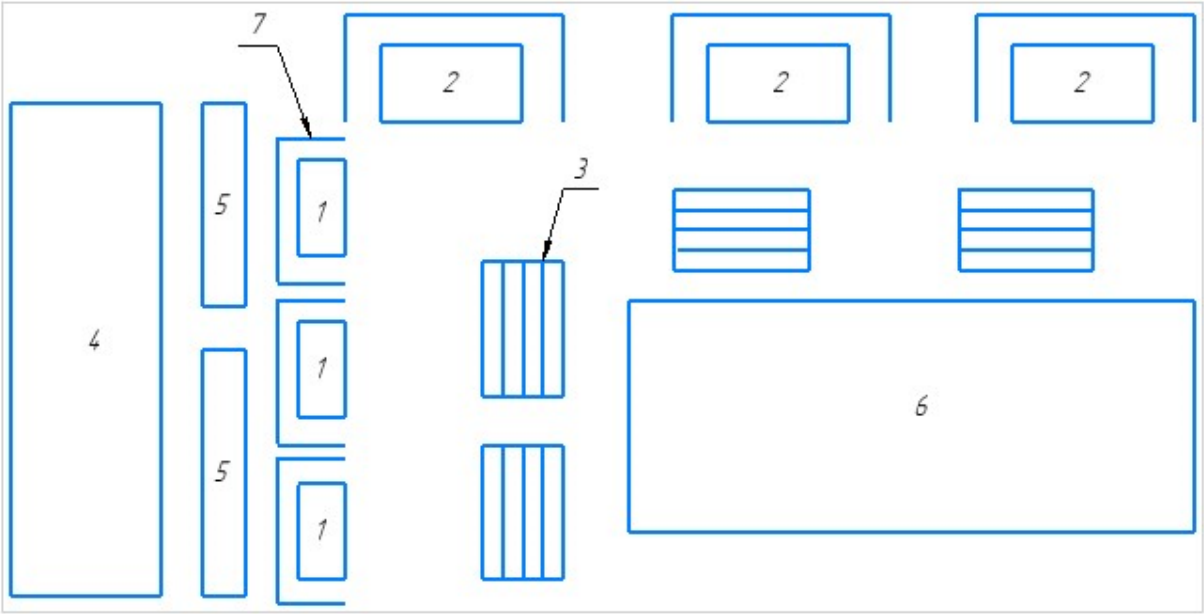
Сборку модернизированного рулевого управления предполагается разместить на территории ОАО АвтоВАЗ г. Тольятти. Сборочный участок, план которого представлен на рисунке, являет собой поточную линию с подвесным конвейером и сборочными стендами.

Элементы конструкции подвески в виде подсобранных ранее узлов доставляются к месту сборки по подвесному конвейеру, прочие детали и крепежные изделия подвозятся к участку сборки в контейнерах тележками с электро –двигателями.

Готовая продукция отправляется для выполнения последующих сборочных операций посредством подвесного конвейера в следующие цеха данного завода.

Таблица 18 – Оборудование и выполняемые операции.

№ позиции рабочего места	Наименования оборудования, инструмента	Работы, операции, выполненные этим оборудованием или инструментом
1	Стенд установки подшипников; Гидравлический пресс с набором оправок; Молоток слесарный стальной; Пневматический пистолет со смазкой.	1. Установка подшипников в корпус и на валы рулевого механизма.
2	Стенд сборки рулевого механизма; Молоток слесарный стальной; Пневматичекий гайковерт с набором головок; Пневматический пистолет со смазкой; Набор отверток; Ключи рожковые.	1. Основная сборка рулевого механизма по технологическому процессу.
3	Верстак; Динамометрический ключ; Молоток слесарный стальной.	1. Установка регулировочных прокладок. 2. Протяжка гаек и винтов.



1 – стенд установки подшипников; 2 – стенд сборки рулевого механизма; 3 – верстак с инструментом; 4 – путь доставки деталей для сборки; 5 – место хранения запчастей; 6 – путь увоза готовой продукции; 7 – ограждение.

Рисунок 11 – Схема участка сборки

5.2 Опасные и вредные производственные факторы

«Основными задачами трудового законодательства Российской Федерации являются создание необходимых правовых условий для достижения оптимального согласования интересов сторон трудовых отношений, интересов государства, а также правовое регулирование трудовых отношений и иных непосредственно связанных с ними отношений» [1].

Современные процессы модернизации автомобильных систем требуют особого внимания к вопросам обеспечения безопасности производственной деятельности. В рамках данного проекта по усовершенствованию рулевого управления автомобиля LADA NIVA вопросы производственной безопасности приобретают первостепенное значение, так как непосредственно связаны с сохранением здоровья персонала и целостности оборудования.

В процессе трудовой деятельности на человека могут оказывать влияние опасные (вызывающие травмы) и вредные (вызывающие заболевания) производственные факторы, которые подразделяются на четыре группы: физические, химические, биологические и психофизиологические.

К наиболее опасным работам на промышленных предприятиях можно отнести:

- монтаж и демонтаж тяжелого оборудования;

- транспортирование баллонов со сжатыми газами, емкостей с кислотами, щелочами, щелочными металлами и другими опасными веществами;

- ремонтные и профилактические работы на электроустановках и электрических сетях, находящихся под напряжением;

- работы в колодцах, тоннелях, траншеях, дымоходах, плавильных и нагревательных печах, бункерах, шахтах, камерах;

- монтаж, демонтаж и ремонт грузоподъемных кранов;

- пневматические испытания сосудов и емкостей под давлением, а также ряд других работ.

К наиболее вредным можно отнести работы, связанные с применением вредных веществ, с выделением таких веществ в технологическом процессе, с применением различных видов излучении, а также воздействия, связанные с коррозией металлов, являющейся причиной ослабления прочности конструкции и способствующей внезапному ее разрушению; действием сосудов, работающих под давлением, которые в случае разрушения воздействуют на окружающую среду и людей; падением на скользких поверхностях, действием нагрузок при подъеме тяжестей.

Физические факторы:

Физические факторы труда играют ключевую роль в определении условий работы и могут значительно влиять на здоровье и производительность работников. Эти факторы могут быть как положительными, так и отрицательными, и их правильная оценка необходима для создания безопасной и эффективной рабочей среды.

Температура воздуха – повышенная или пониженная температура в рабочей зоне может вызывать дискомфорт и снижать работоспособность. Оптимальные температурные условия способствуют повышению продуктивности.

Влажность и скорость движения воздуха – высокая влажность может привести к перегреву организма, а недостаточная скорость движения воздуха может вызвать ощущение духоты. Эти факторы также влияют на общее самочувствие работников.

Освещенность – уровень освещенности рабочей поверхности критически важен для предотвращения усталости глаз и повышения концентрации. Недостаточное освещение может привести к ошибкам и снижению производительности.

Шум и вибрация – высокий уровень шума и вибрации может вызывать стресс и физическое напряжение, что негативно сказывается на здоровье работников. Эти факторы могут привести к ухудшению слуха и другим заболеваниям.

Физическая нагрузка – масса грузов, которые работник поднимает и перемещает, а также характер выполняемых движений (динамические и статические нагрузки) определяют степень тяжести труда. Чрезмерные физические нагрузки могут привести к травмам и хроническим заболеваниям опорно-двигательного аппарата.

Психофизиологические факторы:

Тяжесть труда — это характеристика, отражающая физическую нагрузку, которую испытывает работник в процессе выполнения своих обязанностей. Она включает в себя различные аспекты, такие как масса поднимаемых и перемещаемых грузов, динамические и статические нагрузки, а также монотонность выполняемых действий.

Напряженность труда — это характеристика трудового процесса, отражающая уровень нагрузки на работника, включая физические, эмоциональные и сенсорные аспекты. Она может быть вызвана различными факторами, такими как продолжительность работы, сложность выполняемых задач и количество информации, которую необходимо обработать.

Факторы труда являются важными аспектами, которые необходимо учитывать при организации рабочего процесса. Правильное управление этими факторами может значительно повысить уровень безопасности и комфорта на рабочем месте, а также улучшить производительность и общее состояние здоровья работников.

5.3 Безопасные условия труда

Безопасные условия труда — это состояние рабочей среды, при котором исключено или минимизировано воздействие опасных и вредных производственных факторов на работников. Их обеспечение является обязательным требованием трудового законодательства и ключевым элементом эффективного управления производством.

«Человеческий организм постоянно вырабатывает теплоту, которая должна отдаваться окружающей среде. В противном случае произойдет перегрев организма и ухудшение самочувствия. В особо тяжелых случаях перегрева (в «горячих цехах» металлургического и иных производств) может произойти так называемый «тепловой удар», сопровождающийся потерей сознания и судорогами» [10].

Требования к вентиляции: вентиляция должна эффективно удалять вредные вещества из рабочей зоны, не допуская их попадания в дыхательную зону работников. В холодное время года температура в помещениях не должна опускаться ниже 5 °C, а в теплое время года — не превышать уличную температуру более чем на 4 °C. Уровень шума от оборудования, включая вентиляционное, не должен превышать 110 дБА.

Вентиляционные системы не должны увеличивать пожарную опасность. Запрещается подключение газовых отопительных приборов к вентиляционным системам и отключение огнезадерживающих устройств. Вентиляция должна иметь блокировку, предотвращающую работу производственного оборудования при отключенной вентиляции. В помещениях, где выделяются вредные вещества, должна быть установлена местная вентиляция, которая эффективно очищает воздух в непосредственной близости от источников загрязнения.

Требования к освещению: освещение на производственных предприятиях играет ключевую роль в обеспечении безопасности и комфорта работников, а также в повышении производительности. Ниже представлены основные требования к освещению, которые необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации освещения в производственных помещениях.

Для различных типов работ установлены минимальные нормы освещенности. Например, для общих производственных зон требуется 150-200 люкс, а для точных манипуляций — от 500 до 1000 люкс. Освещение должно быть равномерным, чтобы избежать резких теней и темных участков, что способствует снижению утомляемости и повышению безопасности. Рекомендуемая цветовая температура светильников должна находиться в диапазоне от 2400K до 6800K, что обеспечивает комфортные условия для работы. Для задач, требующих точной цветопередачи, индекс цветопередачи (CRI) должен быть не менее 80.

Использование солнечного света через окна и световые проемы. Это освещение должно быть максимально использовано для снижения потребления электроэнергии. Включает различные типы светильников, такие как люминесцентные, светодиодные и газоразрядные лампы. Искусственное освещение должно быть надежным и устойчивым к механическим повреждениям. Сочетает естественное и искусственное освещение для достижения оптимальных условий.

Должно быть предусмотрено для обеспечения безопасности в случае отключения основного освещения. Оно должно быть достаточно ярким для безопасной эвакуации. Используется для контроля за сохранностью имущества и обеспечения безопасности на территории предприятия. Осветительные системы должны быть энергоэффективными, чтобы снизить эксплуатационные расходы и минимизировать воздействие на окружающую среду.

Освещение должно быть спроектировано так, чтобы минимизировать блики и пульсацию, что может вызывать дискомфорт и утомляемость у работников. Светильники должны быть защищены от влаги, пыли и механических повреждений, что особенно важно в производственных условиях.

«Средство индивидуальной защиты – это средство защиты, надеваемое на тело человека или его части, и используемое для предотвращения или уменьшения воздействия на работника вредных и опасных производственных факторов» [13].

Используются для защиты органов дыхания от пыли, аэрозолей, газов и паров. Различают фильтрующие и изолирующие респираторы. Применяются в условиях, где существует угроза от токсичных газов и паров. Они обеспечивают защиту не только органов дыхания, но и глаз.

Предназначены для защиты глаз от механических повреждений, химических веществ и ультрафиолетового излучения. Используются для защиты лица от брызг, искр и других опасных факторов.

Применяются для защиты слуха от воздействия шума на производстве. Они помогают предотвратить развитие профессиональной тугоухости.

Различные виды перчаток (латексные, нитриловые, кожаные) используются для защиты рук от механических повреждений, химических веществ и температурных воздействий.

Включает в себя комбинезоны, куртки и брюки, которые защищают от механических повреждений, химических веществ, высоких и низких температур. Обувь с защитными носками и антискользящей подошвой защищает ноги от механических повреждений и падений.

Требования к пожарной безопасности: На каждом предприятии должны быть разработаны инструкции по пожарной безопасности, которые включают в себя правила поведения в случае пожара, порядок эвакуации и действия при обнаружении огня. Необходимо назначить ответственных за пожарную безопасность, которые будут контролировать соблюдение норм и правил.

Здания должны проектироваться с учетом требований пожарной безопасности, включая наличие эвакуационных выходов, огнестойких конструкций и систем противопожарной защиты. Используемые строительные материалы должны иметь соответствующие сертификаты и классы огнестойкости.

На предприятиях должны быть установлены автоматические системы пожарной сигнализации, которые обеспечивают быстрое обнаружение пожара и оповещение людей. Необходимо обеспечить системы оповещения о пожаре, которые информируют работников о необходимости эвакуации.

Горючие и легковоспламеняющиеся материалы должны храниться в специально отведенных местах, оборудованных системами вентиляции и пожаротушения. Необходимо следить за состоянием электрических проводов и оборудования, избегая перегрузок и коротких замыканий. Работники должны быть обучены правильной эксплуатации оборудования и соблюдению правил безопасности.

На предприятиях должны быть установлены системы автоматического пожаротушения (спринклерные, дренчерные и т.д.) и ручные средства (огнетушители, пожарные краны). Работники должны проходить обучение по

использованию средств пожаротушения и действиям в случае возникновения пожара.

На каждом этаже и в каждом помещении должны быть размещены планы эвакуации, показывающие пути выхода и расположение средств пожаротушения. Необходимо проводить регулярные учения по эвакуации, чтобы работники знали, как действовать в случае пожара.

Требования безопасности при работе с оборудованием: Работа с различным оборудованием требует строгого соблюдения требований безопасности для предотвращения несчастных случаев, травм и профессиональных заболеваний. Ниже представлены основные требования безопасности, которые необходимо учитывать при работе с оборудованием.

Все работники, работающие с оборудованием, должны пройти обучение и инструктаж по охране труда, включая правила безопасной эксплуатации оборудования. Работники должны быть ознакомлены с инструкциями по эксплуатации оборудования, включая его технические характеристики, режимы работы и меры безопасности.

Рабочее место должно быть организовано так, чтобы обеспечить свободный доступ к оборудованию и его элементам управления. Необходимо избегать загромождения рабочего пространства. Перед началом работы необходимо проверить оборудование на наличие повреждений, неисправностей и других отклонений от нормального состояния. В случае обнаружения неисправностей оборудование должно быть отключено от сети и не подлежит эксплуатации до устранения проблем.

Работники должны строго соблюдать инструкции по эксплуатации оборудования, включая порядок его включения и выключения, а также правила работы с ним. Запрещается вносить изменения в конструкцию оборудования или

его элементы без разрешения ответственного лица. Оборудование должно использоваться только для тех целей, для которых оно предназначено.

Работники должны внимательно следить за процессом работы оборудования и немедленно прекращать работу в случае возникновения неполадок или опасных ситуаций. Во время работы с оборудованием запрещается отвлекаться на посторонние дела, а также разговаривать с другими работниками, если это может повлиять на безопасность.

На рабочем месте должны быть размещены планы эвакуации, показывающие пути выхода и расположение средств пожаротушения. Работники должны быть обучены действиям в случае аварийных ситуаций, включая порядок эвакуации и использование средств пожаротушения.

Безопасные условия труда – это не разовые мероприятия, а непрерывный процесс совершенствования, требующий участия всех уровней организации – от рядовых сотрудников до топ-менеджмента. Инвестиции в безопасность всегда окупаются за счет повышения эффективности и снижения потерь.

«Медицинское обслуживание работников осуществляется в существующих служебно-бытовых помещениях. В помещении отдыха и приема пищи, в помещении мастера, и на всех рабочих местах в цехе предусмотрены аптечки, укомплектованные медикаментами и перевязочными материалами для оказания первой доврачебной помощи» [11].

«Медицинское страхование является формой социальной защиты интересов населения в охране здоровья, гарантирующей гражданам при возникновении страхового случая получение медицинской помощи за счет накопленных средств и финансирование профилактических мероприятий.

Медицинское страхование осуществляется в двух видах: обязательном и добровольном.

Обязательное медицинское страхование является составной частью государственного социального страхования и обеспечивает всем гражданам Российской Федерации равные возможности в получении медицинской и лекарственной помощи, предоставляемой за счет средств обязательного медицинского страхования в объеме и на условиях, соответствующих программам обязательного медицинского страхования.

Добровольное медицинское страхование осуществляется на основе программ добровольного медицинского страхования и обеспечивает гражданам получение дополнительных медицинских и иных услуг сверх установленных программами обязательного медицинского страхования.

Добровольное медицинское страхование может быть коллективным и индивидуальным. В качестве субъектов медицинского страхования выступают: гражданин, страхователь, страховая медицинская организация, медицинское учреждение».[16]

6. Экономическая эффективность проекта

6.1 Экономическое обоснование детали

Технико-экономическое обоснование модернизации рулевого редуктора Lada Niva представляет собой комплексный анализ технической реализуемости и экономической целесообразности проекта. В рамках данного обоснования рассматривается модернизация существующего червячного редуктора с КПД 62-65%. Техническая часть проекта включает детальный анализ текущей конструкции, выявляющий основные недостатки: ограниченный ресурс, повышенное усилие на руле и частые проблемы с герметичностью. Предлагаемое решение предусматривает применение легированных сталей для шестерен, фторкаучуковых уплотнений и встроенной системы диагностики, что позволяет увеличить ресурс до 150 тыс. км и уменьшить массу узла.

Экономическая часть обоснования включает расчет инвестиционных затрат, оборудование, оснастку и сертификацию. Данный проект демонстрирует высокую экономическую эффективность. Расчетные показатели свидетельствуют о сроке, рентабельности производства и чистой прибыли за модернизированный редуктор.

Проект обладает значительным рыночным потенциалом благодаря существующему парку Lada Niva (более 2 млн. автомобилей) и ежегодному спросу на модернизацию рулевого управления. Дополнительными преимуществами являются снижение эксплуатационных расходов для конечных пользователей, улучшение характеристик управляемости и безопасности автомобиля. Реализация проекта позволит не только получить экономическую выгоду, но и внести вклад в развитие отечественного автомобилестроения, предложив современное техническое решение для популярной модели внедорожника.

6.2 Расчет экономической эффективности проекта

Расчет стоимости изготовления конструкции рассчитывается по формуле:

$$С_{кон.} = С_{к.д.} + С_{о.д.} + С_{п.д.} + С_{сб.н.} + С_{о.н.} \quad (90)$$

«Где, $С_{к.д.}$– стоимость изготовления корпусных деталей, р.;

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

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

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

$С_{о.н.}$– общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [23].

Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{к.д.} = Q_к \cdot C_к \quad (91)$$

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

$C_к$– средняя стоимость 1 кг готовых деталей, принимается равной 120,0 р./кг» [23].

$$C_{к.д.} = 2 \cdot 120 = 240 \text{ р.}$$

Стоимость корпуса рулевого механизма составляет 240 рублей.

Затраты на изготовление оригинальных запчастей:

$$C_{о.д.} = С_{прн} + C_м \quad (92)$$

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

$C_м$ – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р.

Заработная плата расчитывается по формуле:

$$C_{пр} = t \cdot C_ч \cdot k_t \quad (93)$$

«t – средняя трудоемкость на изготовление оригинальных деталей, (вал 0,8 чел.-ч.; червяк 1,5 чел.-ч.; двухгребневой ролик 1,5 чел.-ч.; крышка 0,5 чел.-ч.; прокладка 0,5 чел.-ч.; сошка 0,8 чел.-ч.;);

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

k_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимается равным 1,03» [23].

На 2025 год МРОТ (минимальный размер оплаты труда) в Самарской области будет соответствовать федеральному МРОТу. В 2025 году МРОТ = 19 242 рубля.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: 19242/(7·21)=130,89 р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80.

Для расчетов принимаем IV разряд: 130,89·1,42=185,86 р./ч.

$$C_{пр} = 5{,}6 \cdot 185{,}86 \cdot 1{,}03 = 1072{,}04 \text{ р.}$$

Дополнительная заработная плата определяется по формуле:

$$C_{д} = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{пр}}{100} \quad (94)$$

Где, 5…12 – диапазон процентов, который может быть установлен договором, нормативом или рыночными условиями.

$$C_{д} = \frac{10 \cdot 1072{,}04}{100} = 107{,}20 \text{ р.}$$

Начисление заработной платы:

$$\text{С}_{соц} = \frac{30 \cdot (\text{С}_{пр} + \text{С}_{д})}{100} \quad (95)$$

$$\text{С}_{соц} = \frac{30 \cdot (1072{,}04 + 107{,}20)}{100} = 353{,}77 \text{ р.}$$

Общая заработная плата за изготовление оригинальных деталей:

$$C_{\Sigma} = 1072{,}04 + 107{,}20 + 353{,}77 = 1533{,}01 \text{ р.}$$

Определние стоимости заготовок для деталей:

$$C_{М} = \text{Ц} \cdot Q_{З} \quad (96)$$

$$C_{М} = 130 \cdot 5 = 650 \text{ р.}$$

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

$Q_{З}$ – масса заготовки, кг.

Полная заработная плата рабочих на сборке:

$$C_{\text{сб.п.}} = C_{\text{сб}} + C_{\text{д.сб.}} + C_{\text{соц.сб.}} \quad (97)$$

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

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

$C_{\text{соц.сб.}}$ – страховые взносы в фонды, р» [23].

Основная заработная плата рабочих:

$$C_{\text{сб}} = \text{Т}_{\text{сб}} \cdot C_{\text{д.сб.}} \cdot k_t \quad (98)$$

$\text{Т}_{\text{сб}}$ – нормативная трудоемкость на сборку конструкции, чел.-ч.

Трудоемкость расчитывается по формуле:

$$T_{\text{сб}} = k_{\text{с}} \cdot \sum t_{\text{сб}} \quad (99)$$

$t_{\text{сб}}$ – трудоемкость сборки составных частей, 5,6 чел.-ч ;

$k_{\text{с}}$ – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1…1,5.

$$T_{\text{сб}} = 1{,}2 \cdot 5{,}6 = 6{,}72 \text{ чел.} - \text{ч.}$$

Подставляем полученные значения в формулы:

$$C_{\text{сб}} = 6{,}72 \cdot 185{,}86 \cdot 1{,}03 = 1286{,}45 \text{ р.}$$

$$C_{\text{сб.п.}} = 1286{,}45 + 107{,}20 + 353{,}77 = 1747{,}42 \text{ р.}$$

Производственные расходы:

$$C_{\text{он}} = \frac{\left(\text{C}'_{\text{пр}} \cdot R_{\text{он}}\right)}{100} \quad (100)$$

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

$R_{он}$ – процент общепроизводственных накладных расходов, %

$$C'_{пр} = (C_{пр} + C_{сб}) \quad (101)$$

$$C'_{пр} = (1072{,}04 + 1286{,}45) = 2358{,}49$$

$$C_{он} = \frac{(2358{,}49 \cdot 15)}{100} = 353{,}78 \text{ р.}$$

Таблица 19 – Материалы для изделия.

Значение	Стоимость, руб.
Прокладка (2 шт.)	40,0
Подшипник (2 шт.)	500,0
Сальник (2 шт.)	150,0
Крепеж	100,0
Итого:	790,0

Таблица 20 – Затраты на изготовление рулевого редуктора автомобиля LADA NIVA

Значение	Стоимость, руб.
Изготовление корпусных деталей	240,0
Изготовление оригинальных запчастей	1533,01
Заработная плата за сборку	1747,42
Производственные расходы	353,78
Материалы для изделия	790,0
Итого:	4664,21

Все затраты на модерниацию рулевого редуктора автомобиля LADA NIVA составляют 4664,21

Годовая экономия:

$$Э_г = C_{пр} - C_{кон} \quad (102)$$

$C_{пр}$ – стоимость прототипа, р.

$$Э_г = 8900 - 4664{,}21 = 4235{,}79 \text{ р.}$$

Срок окупаемости продукта:

$$О_{ок} = \frac{С_{кон}}{Э_г} \quad (103)$$

$$О_{ок} = \frac{4664{,}21}{4235{,}79} = 0{,}7 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект:

$$Э_{эф} = Э_г - 0{,}15 \cdot C_{кон} \quad (104)$$

$$Э_{эф} = 4235{,}79 - 0{,}15 \cdot 4664{,}21 = 3536{,}16$$

«Рулевые механизмы без усилителя (manual steering) остаются экономически выгодными для бюджетных автомобилей и коммерческого транспорта» [22].

На основании проведенных расчетов можно сделать заключение, что проект модернизации рулевого редуктора Lada Niva является экономически обоснованным, финансово привлекательным и обладает высоким потенциалом коммерческого успеха. Реализация данного проекта рекомендуется как перспективное направление развития продукции для автомобилей семейства Lada.

Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было исследовано и реализовано решение по модернизации рулевого управления автомобиля LADA NIVA классической компоновки с червячным рулевым механизмом без усилителя.

В результате анализа заводской конструкции выявилось множество недостатков штатной системы рулевого управления: использование устаревшего червячного механизма с высоким усилием на рулевом колесе, недостаточная информативность и точность управления, повышенная утомляемость водителя при длительной эксплуатации.

Разработано техническое решение, предусматривающее изменение передаточного числа до 1:12,5 за счет модернизации профиля червяка и ролика, применения термообработанных деталей из стали 40Х и изменении рулевого маятника автомобиля. Выполненные расчеты и разработанная документация подтверждает возможность реализации проекта без изменения геометрии подвески. Техническое решение обеспечивает сокращение оборотов руля до 2.8, снижение максимального усилия на руле на 15-18% при сохранении надежности оригинальной конструкции.

Проведенная модернизация позволила значительно улучшить эргономические и эксплуатационные характеристики автомобиля, сохранив при этом его надежность и проходимость. Разработанные решения могут быть рекомендованы к серийному внедрению на автомобилях семейства Lada 4×4, а также использованы в качестве основы для дальнейших усовершенствований рулевого управления внедорожников аналогичного класса.

Результаты работы подтверждают возможность и целесообразность модернизации рулевого управления автомобилей семейства Нива с использованием современных технических решений.

Список используемой литературы

1. Белова Е.В., Соменкова Н.С. Экономика предприятия: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2017. – 67с.

2. Вахламов В. К. автомобиль «Нива» ВАЗ 2121: Учеб пособие для учащихся – М.: Транспорт. 1984. – 78 с.

3. Вахромеев А. М. Определение циклической долговечности материалов и конструкций транспортных средств: методические указания / А. М. Вахромеев. – М.: МАДИ, 2015. – 64 с.

4. Вишняков Н. Н. основы конструкции: Учебник для вузов по специальности «Автомобили и автомобильное хозяйство» / Н. Н. Вишняков, В. К. Вахламов, А. Н. Нарбут и др. – 2-е изд. Перераб. И доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 304 с.

5. Гладов Г. И. Устройство автомобилей: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Г. И. Гладов, А. М. Петренко. — 6-е изд., стер. — М.: Издательский центр «Академия», 2017. — 352 с.

6. Головин С. И. Устройство автомобиля. Часть 6 Рулевое управление / С. И. Головин, А. А. Жосан, М. М. Ревякин – Орел: Орловский ГАУ, 2018. – 78 с.

7. Гуревич А. М., Сорокин Е. М. Тракторы и автомобили. Изд. 4-е, перераб. И доп. М., «Колос», 1978 479 с.

8. Дьяков И. Ф. Ступенчатые и планетарные коробки передач транспортных машин: учебное пособие / И. Ф. Дьяков, В. И. Тарханов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 143 с.

9. Иванов М. А. Испытания колёсных транспортных средств: учебное пособие / А. М. Иванов, С. Р. Кристальный, Н. В. Попов, А. Р. Спинов. – М.: МАДИ, 2018. – 124 с.

10. Каменев П. Н., Тертичник Е. И. Вентиляция: Учебное пособие. Изд. 2-е, исправл. и дополн. – М.: Изд-во АСВ, 2011. – 632 с.

11. Коробов Ю. С. Нормирование трудоемкости в сварочном производстве : учебное пособие / Ю. С. Коробов, В. И. Панов, О. О. Подоляк ; под общ. ред. Ю. С. Коробова ; Министерство науки и высшего образования РФ, Уральский федеральный университет. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2024. — 148 с.

12. Кравец Б. В. Основы охраны труда: учебное пособие / авт.- сост. В. Б. Рондырев-Ильинский, Б. В. Кравец, Э. А. Кузнецова; под общ. ред. В. Б. Рондырева-Ильинского. – 2-е изд., доп. – Нижневартовск: НВГУ, 2019. – 224 с.

13. Куренкова Г. В. Средства индивидуальной защиты работающих, подвергающихся воздействию вредных факторов в условиях производства : учебнометодическое пособие / Г. В. Куренкова, Е. В. Жукова, Е. П. Лемешевская ; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра гигиены труда и гигиены питания. – Иркутск : ИГМУ, 2016. – 52 с.

14. Лата, В. Н. Основы моделирования управляемого движения автомобиля: Учебное пособие / В. Н. Лата. – Тольятти: ТГУ, 2011.– 82 с.

15. Лукин П. П. Конструирование и расчет автомобиля: Учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности «Автомобили и тракторы» / П. П. Лукин, Г. А. Гаспарянц, В. Ф. Родионов, – М.: машиностроение, 1984. – 376 с., ил.

16. Лысов М. И. Рулевые управления автомобилей. М.: «Машиностроение» 1972, 344 с.

17. Малиновский М. П. Экспериментальное исследование характеристик систем управления транспортных средств: учеб. пособие / М. П. Малиновский; МАДИ. – М., 2011. – 123 с.

18. Покровский Б. С. Слесарно-сборочные работы: учебник для студ. Учреждений сред. Проф. Образования/ Б. С. Покровский. – 10-е изд.. М., Издательский центр «Академия» 2016. – 352 с.

19. Чернышев О. Н. Выбор оборудования и организация рабочих мест: учебное пособие / О. Н. Чернышев, Д. В. Шейкман; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский государственный лесотехнический университет. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. – 88 с.

20. Черепанов, Л. А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля: учеб. Пособие / Л. А. Черепанов; ТолПИ. – Тольятти: ТолПИ, 2001.- 40 с: ил. – Библиогр.: с. 3

21. Kamble V., Patil R. Assessment of the impact of car steering systems on the environment // Journal of Cleaner Production. — 2021. — Vol. 298. — p. 126812.

22. M. Nanni.D. Non-automotive technologies and passenger trucks Heavy Vehicle Technology and Light: textbook: trans. From English – 4th it is decreasing. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. – XVIII, p. 714

23. T. Gelasy.Fundamentals of Vehicle Dynamics Fundamentals of Vehicle Dynamics: translated from English — Porandai (Pennsylvania): SAE International, 1992. — p. 470.

24. D. Tambourines.D. Automotive Steering, Suspension, Wheel Alignment adjustment Automotive Steering, Suspension and Wheel Alignment. The 7th is decreasing.: translated from English — Moscow: Pearson, 2020. — p. 576.

25. Nanni M.J. Technology of passenger cars and trucks Light and Heavy Vehicle Technology: translated from English — 4th ed. — Oxford: Butterworth-Heinemann, 2007. — XVIII, 714 p. — ISBN 978-0-7506-8037-0. — Chapter 22: Steering systems without power steering (Manual Steering Systems). — Pp. 487-502.

Приложение А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
			25.ДП.01.115.61.01.000.СБ			
				Детали		
		1	25.ДП.01.115.61.01.001	Вал червяка	1	
		2	25.ДП.01.115.61.01.002	Двухгребневой ролик	1	
		3	25.ДП.01.115.61.01.003	Черяяк рулевого механизма	1	
		4	25.ДП.01.115.61.01.004	Втулка	1	
		5	25.ДП.01.115.61.01.005	Картер	1	
		6	25.ДП.01.115.61.01.006	Боковая крышка картера	1	
		7	25.ДП.01.115.61.01.007	Нижняя крышка картера	1	
		8	25.ДП.01.115.61.01.008	Вал сошки	1	
		9	25.ДП.01.115.61.01.009	Сошка	1	
				Стандартные изделия		
		10		Болт М8	8	
				ГОСТ 7798-70		
		11		Гайка М12	1	
				ГОСТ 5918-73		
		12		Гайка М20х1,5	1	
				ГОСТ 10605-94		
		13		Подшипник 7204	2	
				ГОСТ 333-79		
		14		Сальник вала	2	
				ГОСТ 8752-79		

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

Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата

Разраб. | Пров. | Н.контр. | Утв.

Лит. | Лист | Листов 1

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования Копировал Формат А4

Рисунок А.1 – Спецификация на рулевой редуктор

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
			25.ДП.01.115.61.02.000.СБ			
				Детали		
		1	25.ДП.01.115.61.02.001	Сошка	1	
		2	25.ДП.01.115.61.02.002	Вал маятника	1	
		3	25.ДП.01.115.61.02.003	Опора маятника	1	
		4	25.ДП.01.115.61.02.004	Корпус маятника	1	
				Стандартные изделия		
		5		Гайка М14	2	
				ГОСТ 5915-70		
		6		Подшипник	2	
				ГОСТ 6870-81		
		7		Шайба	2	
				ГОСТ 6402-70		

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.				
Пров.				
Н.контр.				
Утв.				

Лит.	Лист	Листов
		1

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

КОМПАС-3D v21 Учебная версия © 2022 ООО "АСКОН-Системы проектирования", Россия. Все права защищены.

Не для коммерческого использования Копировал Формат А4

Рисунок А.2 – Спецификация на рулевой маятник