

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)

**ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННЫЙ ПРОЕКТ  
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)**

На тему: Модернизация ступичного узла автомобиля LADA NIVA Travel.

Студент

В.С. Белов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент В.Н.Лата

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Консультанты

к.т.н., доцент А.В. Бобровский

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

ст. преподаватель О.А. Головач

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

доцент И.В. Дерябин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

к.э.н., доцент О.М. Сярдова

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2022

## Аннотация

Автомобиль многое изменил в жизни людей по всему. Мы перестали замечать, что он становится незаменим в промышленности, технологиях и дал человеку больше личной свободы. Собирая передовые технологии, именно автомобилестроение стало одной из важнейших отраслей промышленности. Поэтому необходимо развивать автомобиль, чтобы сохранять его высокую эффективность.

Название дипломного проекта: «Модернизация ступичного узла автомобиля LADA NIVA Travel».

Цель проекта состоит в том, чтобы улучшить конструкцию ступичного узла, сделав его более долговечным и отвечающим современным требованиям.

Данный проект содержит пояснительную записку на 108 страниц, включая рисунки, таблицы и графики, а также имеет приложение и графическую часть: 10 чертежей на листах формата А1.

Пояснительная записка состоит из пяти разделов. Первый посвящен анализу разрабатываемого узла, тенденции его развития, обоснование выбранной для модернизации конструкции

Второй раздел содержит тягово-динамический расчёт автомобиля LADA NIVA Travel и расчёт ступичного узла на долговечность.

Третий раздел посвящен технологическому процессу сборки модернизируемого узла.

В четвёртом разделе приводится анализ безопасности и экологичности проекта.

Пятый раздел содержит экономический расчет себестоимости разрабатываемого узла.

В заключительном разделе, основываясь на приведённые расчёты, делаем вывод о пригодности данной разработки.

## **Abstract**

The automobile has changed many things in the lives of people around the world. We stopped noticing that it was becoming indispensable in industry, technology and gave people more personal freedom. Collecting advanced technologies, it is the automotive industry that has become one of the most important industries. Therefore, it is necessary to develop the car in order to maintain its high efficiency.

The title of the diploma project is "The modernization of the hub assembly of the LADA NIVA Travel".

The aim of the project is to improve the design of the hub assembly making it more durable and meeting modern requirements.

This project contains 108 pages, including an explanatory note, five sections, and also it has an appendix and a graphic part: 10 drawings on sheets of A1 format.

The first one is devoted to the analysis of the node being developed, the trends of its development, the justification of the design chosen for modernization

The second section contains the traction-dynamic calculation of the LADA NIVA Travel and the calculation of the hub assembly for durability.

The third section is devoted to the technological process of assembly of the upgraded node.

The fourth section provides an analysis of the safety and environmental friendliness of the project.

The fifth section contains the economic calculation of the cost of the node being developed.

In the final section, based on the calculations given, we make a conclusion about the suitability of this development.

## Содержание

|  |     |
|--|-----|
| Введение.....  | 5   |
| 1 Состояние вопроса.....   | 6   |
| 1.1 Назначение ступичного узла.....  | 6   |
| 1.2 Структурные элементы ступичного узла.....                                  | 7   |
| 1.3 Тенденции развития ступичного узла.....                                    | 8   |
| 1.4 Выбор и обоснование выбранной конструкции.....                             | 13  |
| 2 Конструкторская часть.....   | 15  |
| 2.1 Тягово-динамический расчёт автомобиля Lada Niva Travel.....                | 15  |
| 2.2 Расчёт долговечности ступичного узла.....                                  | 33  |
| 3 Технологическая часть.....   | 61  |
| 3.1 Выбор организационной формы сборки.....                                    | 61  |
| 3.2 Составление перечня сборочных работ.....                                   | 62  |
| 3.3 Определение трудоёмкости сборки.....                                       | 65  |
| 3.4 Технологический процесс сборки переднего тормоза с поворотным кулаком..... | 66  |
| 4 Безопасность и экологичность объекта.....                                    | 70  |
| 4.1 Технологический паспорт сборки ступичного узла.....                        | 72  |
| 4.2 Опасные факторы на сборочном участке.....                                  | 73  |
| 4.3 Пожарная безопасность на участке сборки узла.....                          | 75  |
| 4.4 Экологическая безопасность объекта.....                                    | 79  |
| 5 Экономическая эффективность проекта.....                                     | 82  |
| 5.1 Расчёт себестоимости проектируемого узла.....                              | 83  |
| 5.2 Расчет точки безубыточности.....   | 90  |
| 5.3 Коммерческая эффективность выполняемого проекта.....                       | 94  |
| Заключение.....  | 106 |
| Список используемой литературы и источников.....                               | 107 |
| Приложение А Спецификации.....   | 109 |

## Введение

В настоящее время российский автомобильный рынок насыщен всевозможными автомобилями в каждом сегменте. Чтобы сохранить привлекательность автомобиля в жёстких условиях нынешней конкуренции и экономического кризиса необходимо постоянно совершенствовать методы изготовления, оснащение транспортного средства, а также обладать набором уникальных решений и технологий, чтобы иметь успешные продажи и улучшать имидж предприятия-производителя. К примеру, в России существует проблема с поставками комплектующих и необходимого оборудования из-за рубежа, поэтому сейчас на первый план выходят поиск выгодных альтернативных решений в кратчайшие сроки.

Особо хочется отметить автопроизводителей из развивающихся стран, которые для снижения стоимости производятся на полном цикле в нашей стране. Большинство этих автомобилей конкурентоспособны, и в случае бездействия отечественных инженеров и автомобилестроителей, способны вытеснить популярные модели с рынка, включая и рассматриваемый в дипломном проекте автомобиль LADA NIVA Travel. Следовательно, необходимо уже сейчас начать глубокую модернизацию данной модели, для того чтобы обеспечить его будущее на рынке.

Одним из способов повышения эффективности является совершенствование ступичного узла автомобиля. Несмотря на то, что двигатель и трансмиссия являются важнейшими компонентами трансмиссии любого транспортного средства, без колес транспортное средство не смогло бы передвигаться с места на место, а для того, чтобы иметь функциональные катящиеся колеса, сначала необходимо создать жизнеспособный узел ступицы колеса. Без надежной сборки ступицы колеса, колёса и другие системы не будет работать должным образом, тем самым ограничивая потенциал автомобиля.

## **1 Состояние вопроса**

### **1.1 Назначение ступичного узла**

Ступица – является одним из важнейших структурных элементов подвески автомобиля, который удерживает колесо, прикрепленное к автомобилю, и позволяет колесам свободно вращаться, осуществляя доставку крутящего момента от двигателя, позволяя безопасно управлять автомобилем.

Ступица играет важную роль в подвеске автомобиля, а также в работе тормозов и рулевого управления. Хорошо функционирующий узел ступицы колеса обеспечивает не только правильное вращение колес, но и их плавное вращение, а также позволяет проводить обслуживание и ремонт отдельных элементов, без полной замены узлов. Данная деталь испытывает значительные нагрузки в ходе эксплуатации, поэтому остро встаёт вопрос её надёжности и прочности, отчего возникают высокие требования к узлу.

Требования, предъявляемые к ступичному узлу

Ступичные узлы в транспортных средствах подвержены различным нагрузкам – из-за плохого дорожного покрытия, быстрых поворотов, наезда на небольшие препятствия, выбоины на поворотах, подшипники колес должны выдерживать большие нагрузки. Вес транспортного средства является дополнительным фактором в дополнение к этим внешним воздействиям.

Сегодня современные производители автомобилей стремятся максимально снизить массу автомобиля, используя более легкие материалы, однако растут потребности людей в комфорте и безопасности, а значит в установке дополнительного оборудования. В результате масса лишь возросла, а это значит, что подшипники колес также подвергаются большим нагрузкам. Кроме того, растет спрос на более высокую производительность двигателя, и подшипники колес должны быть способны выдерживать возникающие в результате этого более высокие скорости.

В дополнение безопасности, комфорту и сроку службы колесного подшипника, трение и температура также являются ключевыми факторами, которые необходимо учитывать при разработке ступичных узлов.

Требования к ступичным узлам:

- точная установка колеса;
- низкое трение;
- малый вес для снижения выбросов CO<sub>2</sub>;
- высокая прочность подшипника;
- уменьшение неподрессоренных масс, что способствует лучшей динамике вождения;
- поглощение внешних сил;
- повышенный комфорт (например, низкий уровень шума);
- длительный срок службы;
- стойкость к высоким температурным режимам;
- коррозионная стойкость;
- низкие эксплуатационные расходы;
- простая сборка/разборка;
- экологичность.

## **1.2 Структурные элементы ступичного узла**

Ступицы колес представляют собой литую или обработанную металлическую деталь, расположенную между подвеской автомобиля и колесом. Ступицы соединяют ось с колесом и позволяют колесу плавно вращаться с помощью подшипника. Ступичный узел в общем случае содержит следующие структурные элементы: вал привода, подшипник, поворотный кулак, ступицу колеса, гайку крепления ступицы.

Вал привода осевой вал, который проходит через подшипники колеса и соединен шлицами со ступицей.

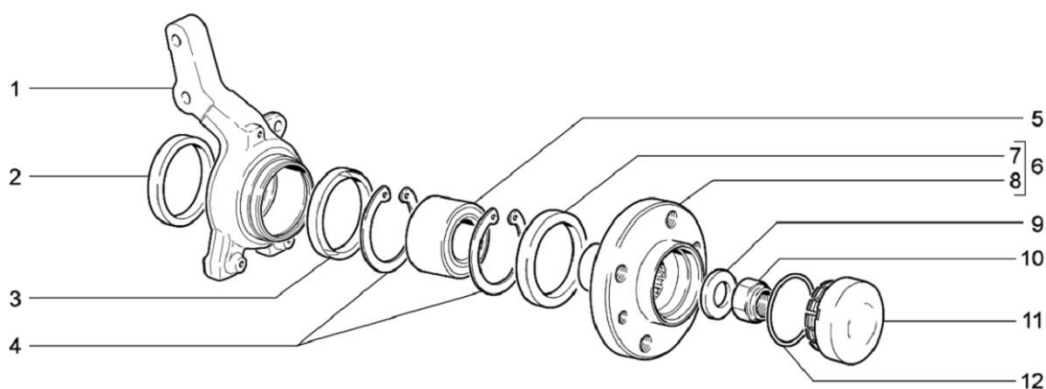
Подшипник – подшипники шарикового или роликового типа, которые позволяют равномерно вращаться колёсам автомобиля вокруг своей оси.

Поворотный кулак или опора подшипника – компонент подвески или рулевого управления, который удерживает подшипники колеса и ступицу.

Ступица колеса представляет собой литую или обработанную металлическую деталь, в которую запрессовываются колесные шпильки.

Гайка крепления ступицы – специальная гайка, которая навинчивается на конец вала для закрепления ступицы и других деталей узла.

Примером данной строения узла может служить а/м Lada Priora. Конструкция ступичного узла автомобиля Lada Priora изображена на рис. 1.



1 – кулак поворотный; 2,3, – грязезащитные кольца; 4 – кольцо стопорное; 5 – подшипник; 6 – ступица; 7 – кольцо грязезащитное; 8 – шайба; 9 – кольцо уплотнительное; 10 – колпак ступицы; 11 - гайка

Рисунок 1 – Конструкция ступичного узла автомобиля Lada Priora

### 1.3 Тенденции развития ступичного узла

Всё в мире не стоит на месте – постоянно модернизировалась и конструкция ступичного узла. Данный узел является важной частью автомобиля, позволяя колесам свободно вращаться и играя решающую роль в безопасности и характеристиках управляемости автомобиля, поэтому инженеры всегда стремились сделать его безопаснее и технологичнее.



Первоначально на автомобилях применялись пара однорядных шариковых или роликовых подшипников, первое поколение колёсных подшипников. Запрессованные в корпус и смазанные “на всю жизнь”, они стали шагом вперед по сравнению с негерметичными узлами, которые требовали ежегодного или полугодового применения смазки. Однако такое решение имеет ряд недостатков:

- требуется создание предварительного натяга при установке
- необходимость постоянной регулировки;
- сложность установки;
- необходимость дополнительной смазки и установки уплотнений для защиты от воды и грязи.

На рисунке 2 представлен однорядный шариковый и роликовый подшипник.



Рисунок 2 – Однорядный шариковый и роликовый подшипник

Затем в конце прошлого века, первое поколение колёсных подшипников начало вытеснять второе: двухрядные шариковые (роликовые) подшипники. Они сочетали простоту первых, однако значительно упрощали установку узла

на автомобиль – они обладали заданным значением предварительного натяга. Это также упрощало и его обслуживание: постоянных регулировок и дополнительной смазки уже не требовалось.

На рисунке 3 показан двух рядный шариковый подшипник.



Рисунок 3 – Двухрядный шариковый подшипник

Следующее поколение существенно были первым реальным шагом вперед. Опять же, используя шарикоподшипники или конические роликовые подшипники, эти агрегаты были оснащены встроенным колесным фланцем с отверстиями под болты для крепления к тормозному диску или ступице. Они уменьшают размер детали, гарантируют лучшее центрирование при установке. Компактная конструкция позволяет легко устанавливать подшипник на ось, облегчает обслуживание и ремонт узла, а также регулировку предварительного натяга. Подшипниковые узлы имеют заданный внутренний зазор, смазаны на весь срок службы и имеют встроенные уплотнения.

Существуют также некоторые сборки поколения 2.1, которые, сочетают экономичность конструкции поколения 1 с преимуществами заданных зазоров, как в интегрированном узле ступицы, но с использованием стопорного кольца для удержания наружного кольца подшипника на месте.

Подшипники следующего поколения выводят концепцию интеграции на совершенно новый уровень – подшипники HUB 3 (HubUnitBearings). Благодаря фланцам для тормозного диска, колеса и поворотного кулака эта технология обеспечивает максимально возможную точность хода. Они были разработаны в ответ на необходимость интеграции конструкции с низким коэффициентом трения, поскольку каждый автопроизводитель заботится об экономии топлива, а также для размещения датчиков скорости вращения колес. Однако замена колесных подшипников стала более дорогостоящим занятием для владельца автомобиля, так как стоимость данного узла превышает стоимость подшипников 1 поколения в несколько раз, что, безусловно, является негативным фактором.

В последние годы антиблокировочные тормозные системы устанавливаются на все большее число легковых автомобилей, включая грузовики малой грузоподъемности. Система ABS обнаруживает вращение колес и действует для уменьшения тормозного усилия, прикладываемого к колесам автомобиля, чтобы предотвратить возникновение состояния блокировки. Блокировка колесного тормоза нежелательна, поскольку это приводит к увеличению тормозного пути и неустойчивости транспортного средства в направлении движения. В типичных конструкциях ABS используется датчик на каждом колесе автомобиля, управляемом системой ABS. Датчики могут обнаруживать вращение колеса с использованием различных технологий, включая устройства с датчиками освещенности на щелевых дисках, индуктивные датчики, устройства с эффектом Холла, датчики переменного сопротивления и т.д. Сигналы от датчиков вращения колес поступают в компьютер ABS, который модулирует тормозное усилие.

Существующие датчики обычно используют некоторый тип кольца возбуждения, щелевого диска или другого компонента, который вращается относительно датчика в ответ на вращение колеса. Для большинства типов датчиков, и особенно для тех, в которых используется связь магнитного поля между датчиком и кольцом возбуждения, важно поддерживать заранее

определенное соотношение или зазор между компонентом, который вращается вместе с колесом, и датчиком во время вращения колеса. Многочисленные конструкции известных датчиков ABS требуют калибровки блока датчиков после установки ступицы и колеса в сборе на транспортное средство, что приводит к значительным затратам и трудозатратам. Ввиду этих недостатков, узел ступицы и подшипника транспортного средства с датчиком ABS, в котором точно устанавливается выравнивание или установочный зазор между компонентами системы датчиков, может быть установлен практически без регулировки после сборки.

Ступичный узел HUB 3 с двухрядным роликовым подшипником изображен на рисунке 4.



Рисунок 4 – Ступичный узел HUB 3 с двухрядным роликовым подшипником

## 1.4 Выбор и обоснование выбранной конструкции

На автомобилях LADA NIVA Travel применяется ступичный узел с парой роликовых конических однорядных подшипников, который является устаревшей конструкцией, которая нуждается в постоянном обслуживании и регулировании и имеет низкий жизненный ресурс. Зачастую используются типы подшипников, которые могут быть установлены под определенной начальной нагрузкой, такие как конические подшипники. Однако используются и другие типы подшипников, например комбинация шарикоподшипника и роликового подшипника. При сборке оси транспортного средства эти подшипники должны быть установлены в их предназначенном положении на оси и/или раме подвески колеса. Эта операция должна выполняться с необходимой осторожностью, поскольку любое повреждение или проникающая грязь могут значительно сократить срок службы подшипников. Однако условия, в которых выполняются такие операции, не всегда являются оптимальными, в результате чего необходимое высокое качество установки не может быть гарантировано. Кроме того, требуется определенная степень специализации, конечно, если используются специальные приспособления для создания начального натяжения, которые есть у производителей, но не всегда есть у рядового автолюбителя или даже в мастерской по техническому обслуживанию. Поэтому всегда существует высокий процент вероятности загубить подшипник при его неправильной установке. Например, внутренние кольца подшипников качения могут быть размещены на внутренней втулке. Указанная внутренняя втулка может иметь на своих противоположных концах упоры для каждого из внутренних колец подшипников качения, чтобы удерживать подшипники качения прижатыми при первоначальном растяжении в осевом направлении.

Вместо отдельных опорных колец концы внутренней втулки могут иметь радиально выступающие наружу фланцевые участки, части которых,

обращенные друг к другу в осевом направлении, образуют упорные поверхности для внутренних колец подшипников качения.

Также автомобиль имеет компоновку тормозного диска, при которой его замена невозможна без снятия ступицы, что является не практичным решением. Предлагается изменить конструкцию ступичного узла, а именно: заменить пару роликовых конических однорядных подшипников, на двухрядный нерегулируемый шариковый подшипник; изменить конструкцию ступицы и тормозного диска, поместив тормозной диск перед ступицей. Спецификации на сборочные чертёжи узла приведены на рисунках в приложении на рисунках А.1-А.6. Данное решение успешно применяется на автомобилях Lada Niva Legend, и по оценке инженеров и отзывам большинства потребителей данная концепция развития отлично себя показала. Такая конструкция увеличивает долговечность ступичного узла, упрощая при этом замену его элементов, а также отпадает необходимость его постоянного регулирования.

## Вывод

На автомобилях LADA NIVA Travel применяется устаревшая конструкция ступичного узла с парой роликовых конических однорядных подшипников, который является устаревшей конструкцией, поэтому применение решения, предлагаемого в данном дипломном проекте, обосновано.

## 2 Конструкторская часть

### 2.1 Тягово-динамического расчёта автомобиля Lada Niva Travel

Для расчета тяговой динамики автомобиля LADA Niva Travel необходимо задать ряд исходных данных. Они перечислены на таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета тяговой динамики

| «Параметр  | Значение                                       |
|--|--|
| Тип автомобиля   | Полноприводный внедорожный легковой автомобиль |
| Колёсная формула   | 4x4  |
| Количество людей $n$   | 5  |
| Длина $L_r$ , мм   | 4099   |
| Ширина $B_r$ , мм  | 1804   |
| Высота $H_r$ , мм  | 1652   |
| Масса в снаряженном состоянии $m_0$ , кг                               | 1465   |
| Шины   | 205/70R 15                                     |
| Коэффициент аэродинамического сопротивления $C_x$                      | 0,46   |
| Коэффициент сопротивления качению $f_0$                                | 0,012  |
| Максимальная скорость $V_{max}$ , км/ч                                 | 140  |
| Максимальная частота вращения коленчатого вала $\omega_{emax}$ , рад/с | 628.32   |
| КПД трансмиссии $\eta_{тр}$  | 0,92   |
| Количество передач   | 5» [15]  |

#### 2.1.2. Определение момента двигателя и его мощности

##### 2.1.2.1 Расчёт полной массы автомобиля

Определим полную массу автомобиля согласно формуле:

$$M_a = M_0 + M_ч \cdot n + M_б, \quad (1)$$

где  $M_0$  – масса снаряженная;

$M_{\text{ч}}$  – масса человека, принимается равной 75 кг;

$M_{\text{б}}$  – масса багажа на одного человека (10 кг);

$n$  – количество пассажиров с водителем.

$$M_a = 1465 + 75 \cdot 5 + 40 = 1880 \text{ кг.}$$

### 2.1.2.2 Расчёт статистического радиуса колеса

Статистический радиус колеса найдём по следующей формуле:

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H, \quad (2)$$

где  $d = 15$  – посадочный диаметр в дюймах ( $d = 0,381$  м);

$\lambda_z = 0,86$  – коэффициент вертикальной деформации;

$H/B = 70$  – отношение высоты к ширине профиля шины, %

$B = 0,205$  – ширина профиля, м

$H = 75 \cdot 0,205 = 0,154$  – высота профиля, м.

$$r_{\text{ст}} = 0,5 \cdot 0,381 + 0,86 \cdot 0,154 = 0,32294 \text{ м,}$$

$$r_{\text{ст}} \approx r_{\text{д}} \approx r_{\text{к}} = 0,32294 \text{ м.}$$

где  $r_{\text{к}}$  – радиус качения шины.



### 2.1.2.3 Коэффициент обтекаемости

Коэффициент обтекаемости  $k$ , находится по формуле:

$$k = (C_x \times \rho)/2, \quad (3)$$

где  $C_x$  - коэффициент аэродинамического сопротивления;

$\rho = 1.293$  – плотность воздуха в нормальных условиях.

$$k = (0,46 \times 1,293) = 0,29.$$

### 2.1.2.4 Лобовая площадь автомобиля

Найдём значение лобовой площади автомобиля по формуле ниже:

$$F = 0,8 \cdot B_r \cdot H_r, \quad (4)$$

$$F = 0,8 \cdot 1,804 \cdot 1,652 = 2,38 \text{ м}^2.$$

### 2.1.2.5 Определение коэффициента сопротивления качению при малой скорости

Для нахождения данного коэффициента в зависимости от максимальной скорости пользуются эмпирической формулой:

$$f = f_0 \cdot \left(1 + \frac{v^2}{2000}\right), \quad (5)$$

$$f = 0,012 \cdot \left(1 + \frac{38.889^2}{2000}\right).$$

### 2.1.2.6 Расчёт внешней скоростной характеристики двигателя

«Необходимо найти мощность двигателя с учетом коэффициента полезного действия трансмиссии при скорости автомобиля равной максимальной, поэтому для нахождения данного целесообразно применить формулу мощностного баланса:

$$N_v = \frac{1}{\eta_{тр}} (G_a \times \psi_V \times V_{max} + \frac{c_x}{2} \times \rho \times F \times V_{max}^3), \quad (6)$$

где  $\psi_V$  – коэффициент сопротивления дороги. При максимальной скорости легкового автомобиля допускается считать коэффициент суммарного дорожного сопротивления равным 0,02;

$G_a$  – полный вес автомобиля, Н.» [15]

$$\begin{aligned} N_v &= \frac{1}{0.86} \times (18443 \times 0,021 \times 38,889 + 0.297 \times 2,38 \times 38,889^3) = \\ &= 66064,6 \text{ Вт} . \end{aligned}$$

Предельная мощность двигателя:

$$N_{max} = N_v / (a \cdot \lambda + b \cdot \lambda^2 - c \cdot \lambda^3), \quad (7)$$

где  $a = b = c = 1$  – эмпирические коэффициенты;

$\lambda$  – зависимость частоты вращения коленчатого вала при  $V_{max}$  от частоты вращения коленчатого вала при  $N_{max}$ .

Принимаем  $\lambda = 1,12$ .

$$\lambda = \omega_V / \omega_N, \quad (8)$$

Тогда:

$$\omega_N = \frac{\omega_V}{\lambda} = \frac{628,32}{1,12} = 561 \text{ с}^{-1},$$

$$N_{max} = \frac{66065}{1 \cdot 1,12 + 1 \cdot 1,12^2 - 1 \cdot 1,12^3} = 68144,9 \text{ Вт.}$$

Скоростная характеристика определяется по данной формуле:

$$N_e = N_{max} \cdot \left[ a \times \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right) + b \times \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - c \cdot \left( \frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right], \quad (9)$$

где  $\omega_e$  – текущая частота вращения коленчатого вала;

$N_e$  – текущая мощность двигателя, кВт.

Найдём эффективный момент двигателя:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e}, \quad (10)$$

Получившиеся результаты перенесём в таблицу 2.

Таблица 2 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

|                           |       |        |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\omega_e, \text{с}^{-1}$ | 94,25 | 150    | 200   | 280   | 350   | 400   | 450   | 523,5 | 600   | 628,3 |
| $N_e, \text{Вт}$          | 13,04 | 21,789 | 29,86 | 42,51 | 52,49 | 58,53 | 63,33 | 67,55 | 67,46 | 66,06 |
| $M_e, \text{Нм}$          | 138,4 | 145,26 | 149,3 | 151,8 | 149,9 | 146,3 | 140,  | 129,0 | 112,4 | 105,1 |

### 2.1.3 Нахождение передаточных чисел трансмиссии

#### 2.1.3.1 Передаточное числа главной передачи

Определим в зависимости от максимальной скорости передаточное число главной передачи  $U_0$ :

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

где  $\omega_{\max}$  – максимальная угловая скорость коленчатого вала;

$V_{\max}$  – передаточное число передачи, на которой обеспечивается максимальная скорость автомобиля.

$$U_0 = \frac{0,32294}{0,9} \cdot \frac{628,32}{38,889} = 5,797$$

#### 2.1.3.2 Передаточные числа коробки передач

«Передаточное число первой передачи определяется по заданному максимальному дорожному сопротивлению  $\psi_{V_{\max}}$ . Для обеспечения

возможности движения в данных дорожных условиях тяговая сила на ведущих колесах  $F_t$  должна быть больше силы сопротивления дороги  $F_d$ , т. е.» [15]

$$U_1 \geq \frac{G_a \cdot \psi_{\max} \cdot r_k}{M_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0 \cdot U_p}, \quad (12)$$

где  $M_{\max}$  – максимальный эффективный момент двигателя, Нм;

$\psi_{\max} = a_{\max} + f_0 = 0 + 0,012 = 0,012$  – максимальный коэффициент сопротивления дороги;

$U_p$  – передаточное число раздаточной коробки на повышенной передаче. Принимаем  $U_p = 1$  (прямая передача).

$$U_1 \geq \frac{18443 \cdot 0,012 \cdot 0,32294}{148 \cdot 0,86 \cdot 5,797 \times 1} \geq 0,167.$$

Еще одним условием принято считать, чтобы тяговая сила на первой передаче была меньше силы сцепления колес с дорогой. Это обеспечит отсутствие буксования ведущих колес:

$$\frac{M_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0 \cdot U_{k1}}{r_k} \geq G_{\text{сц1}} \cdot \varphi, \quad \text{или} \quad U_{k1} \leq \frac{G_{\text{сц1}} \cdot \varphi \cdot r_k}{M_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0}, \quad (13)$$

где  $G_{\text{сц1}} = G_a$  – для полноприводных автомобилей сцепной вес автомобиля равен полной массе, Н;

$\varphi = 0,8$  – коэффициент сцепления ведущих колес с дорогой.

$$U_1 \leq \frac{18443 \cdot 0,8 \cdot 0,32294}{148,34 \cdot 0,86 \cdot 5,797} \leq 3,82.$$

Примем  $U_1 = 3,67$  и найдём остальные передаточные числа коробки передач.

Для 5-ступенчатой трёхвальной коробки передач легкового автомобиля:

$$U_{II} = \gamma \sqrt[3]{U_1^2}, \quad (14)$$

где  $\gamma$  – коэффициент коррекции, равный для легкового автомобиля  $0.92 \pm 0.08$ . Принимаем  $\gamma = 0.88$

$$U_{II} = 0,88 \sqrt[3]{3,67^2} = 2,10,$$

$$U_{III} = \gamma \sqrt[3]{U_1^2}, \quad (15)$$

$$U_{III} = 0,88 \sqrt[3]{2,10} = 1,36,$$

$$U_{IV} = 1, \quad (16)$$

$$U_V = 0,9,$$

$$U_{зх} = 1,2 \cdot U_1 = 1,2 \cdot 3,67 = 4,4. \quad (17)$$

После нахождения передаточных чисел по геометрической прогрессии необходимо проверить выполнения следующего условия:

$$\frac{U_{kI}}{U_{kII}} \geq \frac{U_{kII}}{U_{kIII}} \geq \frac{U_{kIII}}{U_{kIV}} \geq \frac{U_{kIV}}{U_{kV}}. \quad (18)$$

Подставим полученные результаты в формулу 18:

$$\frac{3,67}{2,10} \geq \frac{2,10}{1,36} \geq \frac{1,36}{1} \geq \frac{1}{0,9},$$

$$1,75 \geq 1,58 \geq 1,36 \geq 1,11.$$

Передаточные числа подобраны верно.

### 2.1.3.3 Передаточное число раздаточной коробки

Найти значение передаточного числа понижающей передачи раздаточной коробки, можно произвести исходя из условия отсутствия буксования ведущих колес:

$$U_d = \frac{G_a \cdot \psi_{\max} \cdot r_k}{M_{\max} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot U_0 \cdot U_1'} \quad (19)$$

$$U_d = \frac{18443 \cdot 0,012 \cdot 0,32294}{148 \cdot 0,86 \cdot 5,797 \cdot 3,67} = 1,147.$$

### 2.1.4 Анализ тяговой динамики

#### 2.1.4.1 Тяговый баланс автомобиля

«Из уравнения движения автомобиля, связывающие все силы, действующие на автомобиль во время движения, легко получить уравнение силового баланса:

$$F_T = F_D + F_B + F_{\text{И}}, \quad (20)$$

где  $F_T$  – сила тяги на ведущих колесах;

$F_D$  – сила дорожного сопротивления;

$F_B$  – сила сопротивления воздуха;  $F_{И}$  – сила сопротивления разгону автомобиля.» [15]

Первоначально строится график зависимости силы тяги на ведущих колесах  $F_T$  от скорости транспортного средства  $V$  для каждой передачи на определённых скоростных величинах.

Далее находят силу тяги на всех передачах по формуле:

$$F_T = \frac{U_k \cdot U_0 \cdot M_e \cdot \eta_{тр}}{r_k}, \quad (21)$$

где  $U_k$  – передаточное число коробки передач;

$M_e$  – величина эффективного момента двигателя, Н·м.

Рассчитаем скорость автомобиля по полученным передаточным числам:

$$V = \frac{r_k \cdot \omega_e}{U_0 \cdot U_k}. \quad (22)$$

Получившиеся значения занесём в таблицу 3.



Таблица 3 – Разгон автомобиля

| « $\omega_e$ рад/с | Скорость на передаче, м/с |        |        |        |        |
|--------------------|---------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                    | I                         | II     | III    | IV     | V» [2] |
| 94.25              | 1,431                     | 2,508  | 3,86   | 5,25   | 5,833  |
| 150                | 2,277                     | 3,991  | 6,144  | 8,356  | 9,284  |
| 200                | 3,036                     | 5,321  | 8,192  | 11,141 | 12,379 |
| 280                | 4,25                      | 7,449  | 11,469 | 15,597 | 17,33  |
| 350                | 5,312                     | 9,312  | 14,336 | 19,496 | 21,663 |
| 400                | 6,071                     | 10,642 | 16,384 | 22,282 | 24,757 |
| 450                | 6,83                      | 11,972 | 18,432 | 25,067 | 27,852 |
| 523.59             | 7,947                     | 13,93  | 21,446 | 29,166 | 32,407 |
| 600                | 9,107                     | 15,963 | 24,575 | 33,423 | 37,136 |
| 628                | 9,537                     | 16,716 | 25,735 | 35     | 38,889 |

Конструкторам транспортных средств нужно всегда бороться с незримым врагом – сопротивлением воздуха. Когда автомобиль движется, то создаёт вокруг себя сопротивление в направлении, противоположном движению. Это влияет на комфорт пассажиров, расход топлива, и устойчивость. Сила сопротивления воздуха, которую при движении испытывает при движении автомобиль:

$$F_B = 0,5 \cdot C_x \cdot \rho \cdot A \cdot V^2, \quad (23)$$

где  $A$  – площадь поперечного сечения авто.

Сила сопротивления качению автомобиля найдём по формуле:

$$F_d = G_a \cdot f, \text{ т.к. угол дороги } \alpha_d \approx 0^\circ, \quad (24)$$

где  $f$  – коэффициент сопротивления качению.

Найдём суммарную силу сопротивления движению автомобиля:

$$F_{\Sigma} = F_B + F_D \quad (25)$$

Перенесём в таблицу 4 и 5 получившиеся значения

Таблица 4 - Силовой баланс автомобиля

| $\omega_e$<br>рад/с | Тяговая сила на ведущих колесах<br>на передаче, Н |        |        |        |         | Сила сопротивления на V<br>передаче, Н |        |              |
|---------------------|---|--------|--------|--------|---------|--|--------|--------------|
|                     | I   | II     | III    | IV     | V       | $F_B$                                  | $F_D$  | $F_{\Sigma}$ |
| 94,25               | 7844,5  | 4475,3 | 2906,9 | 2137,4 | 1923,72 | 24,12                                  | 388,66 | 412,78       |
| 150                 | 8230,7  | 4695,6 | 3050,0 | 2242,6 | 2018,42 | 61,11                                  | 388,66 | 449,77       |
| 200                 | 8461,4  | 4827,2 | 3135,5 | 2305,5 | 2075,00 | 108,65                                 | 388,66 | 497,31       |
| 280                 | 8603,1  | 4908,1 | 3188,0 | 2344,1 | 2109,75 | 212,94                                 | 388,66 | 601,6        |
| 350                 | 8497,5  | 4847,8 | 3148,9 | 2315,3 | 2083,85 | 332,74                                 | 388,66 | 721,40       |
| 400                 | 8290,8  | 4729,9 | 3072,3 | 2259,0 | 2033,17 | 434,57                                 | 388,66 | 823,23       |
| 450                 | 7974,8  | 4549,6 | 2955,2 | 2172,9 | 1955,68 | 550,02                                 | 388,66 | 938,68       |
| 523,6               | 7310,8  | 4170,8 | 2709,2 | 1992,0 | 1792,85 | 744,63                                 | 388,66 | 1133,2       |
| 600                 | 6370,7  | 3634,5 | 2360,8 | 1735,9 | 1562,31 | 977,81                                 | 388,66 | 1366,4       |
| 628                 | 5957,4  | 3398,7 | 2207,6 | 1623,3 | 1460,96 | 1072,3                                 | 388,66 | 1460,9       |

Таблица 5 – Силовой баланс автомобиля

| I      |       | II     |        | III    |        | IV     |        | V      |        |
|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| V, м/с | $F_B$ | V, м/с | $F_B$  | V, м/с | $F_B$  | V, м/с | $F_B$  | V, м/с | $F_B$  |
| 1,43   | 1,45  | 2,508  | 4,46   | 3,86   | 10,56  | 5,25   | 19,54  | 5,833  | 24,12  |
| 2,28   | 3,68  | 3,991  | 11,29  | 6,144  | 26,76  | 8,356  | 49,51  | 9,284  | 61,11  |
| 3,03   | 6,54  | 5,321  | 20,07  | 8,192  | 47,58  | 11,14  | 88,01  | 12,38  | 108,7  |
| 4,25   | 12,8  | 7,449  | 39,34  | 11,47  | 93,26  | 15,59  | 172,4  | 17,33  | 212,9  |
| 5,31   | 20,0  | 9,312  | 61,48  | 14,33  | 145,7  | 19,49  | 269,5  | 21,66  | 332,7  |
| 6,07   | 26,1  | 10,64  | 80,3   | 16,38  | 190,3  | 22,28  | 352,0  | 24,75  | 434,5  |
| 6,83   | 33,1  | 11,97  | 101,6  | 18,43  | 240,9  | 25,07  | 445,5  | 27,85  | 550,1  |
| 7,94   | 44,7  | 13,93  | 137,5  | 21,44  | 326,1  | 29,16  | 603,1  | 32,41  | 744,6  |
| 9,107  | 58,8  | 15,963 | 180,67 | 24,575 | 428,2  | 33,42  | 792,0  | 37,13  | 977,8  |
| 9,537  | 64,49 | 16,716 | 198,12 | 25,735 | 469,58 | 35     | 868,56 | 38,889 | 1072,3 |

### 2.1.4.2 Динамические характеристики автомобиля

«Динамическим фактором  $D$  автомобиля называют отношение разности силы тяги и силы сопротивления воздуха к весу автомобиля: » [15]

$$D = (P_T - P_B)/G_a. \quad (26)$$

Вычислив значения динамического фактора, перенесём полученные значения в таблицу 6.

Таблица 6 – Динамическая характеристика автомобиля

| $\omega_e$<br>рад/с | Динамический фактор $D$ на передаче |       |       |       |       | $V$ , м/с |        |       |       |        |
|---------------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|-------|-------|--------|
|                     | I                                   | II    | III   | IV    | V     | I         | II     | III   | IV    | V      |
| 94                  | 0,425                               | 0,242 | 0,157 | 0,114 | 0,103 | 1,431     | 2,508  | 3,86  | 5,25  | 5,833  |
| 150                 | 0,446                               | 0,254 | 0,164 | 0,119 | 0,106 | 2,277     | 3,991  | 6,144 | 8,356 | 9,284  |
| 200                 | 0,458                               | 0,260 | 0,167 | 0,120 | 0,106 | 3,036     | 5,321  | 8,192 | 11,14 | 12,379 |
| 280                 | 0,466                               | 0,264 | 0,168 | 0,118 | 0,102 | 4,25      | 7,449  | 11,46 | 15,59 | 17,33  |
| 350                 | 0,459                               | 0,259 | 0,162 | 0,110 | 0,094 | 5,312     | 9,312  | 14,33 | 19,49 | 21,663 |
| 400                 | 0,448                               | 0,252 | 0,156 | 0,103 | 0,086 | 6,071     | 10,642 | 16,38 | 22,28 | 24,757 |
| 450                 | 0,430                               | 0,241 | 0,147 | 0,093 | 0,076 | 6,83      | 11,972 | 18,43 | 25,06 | 27,852 |
| 524                 | 0,394                               | 0,218 | 0,129 | 0,075 | 0,056 | 7,947     | 13,93  | 21,44 | 29,16 | 32,407 |
| 600                 | 0,342                               | 0,187 | 0,104 | 0,051 | 0,032 | 9,107     | 15,963 | 24,58 | 33,42 | 37,136 |
| 628                 | 0,319                               | 0,173 | 0,094 | 0,041 | 0,021 | 9,537     | 16,716 | 25,74 | 35    | 38,889 |

### 2.1.5. Анализ динамики разгона

#### 2.1.5.1 Разгон автомобиля

«Ускорение во время разгона определяется в случае, если автомобиль движется по горизонтальной асфальтированной дороге хорошего качества, с максимальным использованием мощности двигателя и без буксования ведущих колес. » [15]

Ускорение определяется по формуле:

$$J = \frac{(D-f) \cdot g}{\delta_{вр}}, \quad (27)$$

$$\delta_{вр} = 1 + \frac{(I_M \cdot \eta_{тр} \cdot U_{тр} + I_k) \cdot g}{G_a \cdot r_k^2}, \quad (28)$$

где:  $I_M$  – момент инерции вращающихся деталей двигателя;

$$U_{тр} = U_0 \cdot U_k - \text{передаточное число трансмиссии}; \quad (29)$$

$I_k$  – суммарный момент инерции ведущих колес.

Если точное значение  $I_M$  и  $I_k$  неизвестно то,  $\delta_{вр}$  определяют по формуле:

$$\delta_{вр} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_{2к}), \quad (30)$$

где:  $U_k$  – передаточное число коробки передач на данной передаче;

$\delta_1$  – коэффициент учета вращающихся масс колес;

$\delta_2$  – коэффициент учета вращающихся масс двигателя.

$$\delta_1 = \delta_2 = 0,03 - 0,05. \quad (31)$$

Расчеты на каждой передаче коэффициентов учета вращающихся масс:

$$I \text{ передача} - \delta_{вр} = 1,7234,$$

$$II \text{ передача} - \delta_{вр} = 1,2705,$$

III передача –  $\delta_{вр} = 1,142,$

IV передача –  $\delta_{вр} = 1,1,$

V передачи –  $\delta_{вр} = 1,083.$

Полученные расчеты ускорений и обратных ускорений перенесены в таблицу 7.

Таблица 7 – Ускорения и обратные ускорения

| $\omega_e$<br>рад/с | Ускорение на передачи $m/c^2$ : |       |       |       |       | Величина, обратная ускорению на передаче, $c^2/m$ : |        |      |      |       |
|---------------------|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|---|--------|------|------|-------|
|                     | I                               | II    | III   | IV    | V     | I   | II     | III  | IV   | V     |
| 94                  | 2,301                           | 1,711 | 1,167 | 0,836 | 0,737 | 0,4345  | 0,5844 | 0,85 | 1,19 | 1,356 |
| 150                 | 2,419                           | 1,8   | 1,226 | 0,872 | 0,765 | 0,4133  | 0,5555 | 0,81 | 1,14 | 1,307 |
| 200                 | 2,489                           | 1,852 | 1,256 | 0,884 | 0,769 | 0,4017  | 0,5399 | 0,79 | 1,13 | 1,3   |
| 280                 | 2,531                           | 1,878 | 1,26  | 0,863 | 0,735 | 0,3951  | 0,5324 | 0,79 | 1,16 | 1,361 |
| 350                 | 2,497                           | 1,843 | 1,217 | 0,801 | 0,664 | 0,4004  | 0,5425 | 0,82 | 1,24 | 1,506 |
| 400                 | 2,431                           | 1,786 | 1,161 | 0,734 | 0,59  | 0,4113  | 0,5599 | 0,86 | 1,36 | 1,694 |
| 450                 | 2,331                           | 1,701 | 1,083 | 0,648 | 0,496 | 0,4290  | 0,5878 | 0,92 | 1,54 | 2,016 |
| 524                 | 2,123                           | 1,528 | 0,928 | 0,484 | 0,321 | 0,4710  | 0,6544 | 1,07 | 2,06 | 3,115 |
| 600                 | 1,828                           | 1,285 | 0,719 | 0,269 | 0,096 | 0,5470  | 0,7782 | 1,39 | 3,71 | 10,41 |
| 628                 | 1,699                           | 1,178 | 0,628 | 0,177 | 0     | 0,5885  | 0,848  | 1,59 | 5,64 | -     |

### 2.1.5.2 Время и путь разгона

Диаграмма обратного ускорения используется для определения зависимости времени ускорения от скорости автомобиля. Время ускорения в определенном диапазоне скоростей пропорционально размеру области, лежащей под кривой.

Эту площадь находим, как интеграл:

$$\Delta t = \int_{V_{n-1}}^{V_n} \frac{1}{J} \cdot dV. \quad (32)$$

Графоаналитическим методом найдём путь разгона автомобиля и время разгона до максимальной скорости. Заменяем интегрирование в формуле (32) на сумму конечных величин:

$$\Delta t = \int_{V_{n-1}}^{V_n} \frac{1}{J} \cdot dV \approx \left( \frac{1}{J_{\text{cp}}} \right)_n \cdot (V_n - V_{n-1}). \quad (33)$$

«Разбиваем кривую обратных ускорений на интервалы, принимая, что в каждом интервале автомобиль разгоняется с постоянным ускорением  $J = \text{const}$ , которому соответствуют значения  $\left( \frac{1}{J_{\text{cp}}} \right)_n = \text{const}$ . Эти величины определяем следующим образом: » [15]

$$\left( \frac{1}{J_{\text{cp}}} \right)_n = \frac{\left( \frac{1}{J} \right)_{n-1} + \left( \frac{1}{J} \right)_n}{2} \quad (34)$$

Разобьём график на 8 участков, снимем значения обратных ускорений и рассчитаем по формуле (32) средние значения обратных ускорений, результаты сведём в таблицу 8.

Таблица 8 - Время разгона автомобиля

| V      | 1/j    | 1/j <sub>ср</sub> | T      | V <sub>ср</sub> | ΔS      | S        |
|--------|--------|-------------------|--------|-----------------|---------|----------|
| 0      | 0      | 0                 | 0      | 0               | 0       | 0        |
| 4,86   | 0,422  | 0,211             | 1,025  | 2,43            | 2,491   | 2,491    |
| 9,72   | 0,514  | 0,468             | 3,299  | 7,29            | 16,577  | 19,068   |
| 14,58  | 0,829  | 0,6715            | 6,562  | 12,15           | 39,645  | 56,222   |
| 19,44  | 0,973  | 0,901             | 10,941 | 17,01           | 74,487  | 114,132  |
| 24,30  | 1,641  | 1,307             | 17,293 | 21,87           | 138,918 | 213,405  |
| 29,16  | 2,036  | 1,8385            | 26,228 | 26,73           | 238,833 | 377,751  |
| 34,02  | 3,74   | 2,888             | 40,264 | 31,59           | 443,397 | 682,23   |
| 37,00  | 10,378 | 7,059             | 61,3   | 35,51           | 746,988 | 1190,385 |
| 38,889 |        |                   |        |                 |         |          |

### 2.1.6 Мощностной баланс автомобиля

Найти значение мощностной баланса можно по формуле:

$$N_T = N_e - N_{тр} = N_f + N_{п} + N_{в} + N_{и}, \quad (35)$$

«где:  $N_T = N_e \cdot \eta_{тр}$  – тяговая мощность, или мощность, подаваемая к ведущим колесам;

$N_{тр}$  – мощность, теряемая в агрегатах трансмиссии;

$N_f = F_{п} \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления качению колес;

$N_{п} = F_{под} \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления подъему;

$N_{в} = F_{в} \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления воздуха;

$N_{и} = F_{и} \cdot V$  – мощность, затраченная на преодоление силы инерции автомобиля;

$N_{д} = N_{f} + N_{п}$  – мощность, затраченная на преодоление сил сопротивления дороги. » [15]

Результаты расчетов сводим в таблицу 9.

Таблица 9 - Мощностной баланс автомобиля на различных передачах

|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V max | 5,833 | 9,284 | 12,37 | 17,33 | 21,66 | 24,75 | 27,85 | 32,40 | 37,13 | 38,89 |
| Ne    | 13,05 | 21,78 | 29,86 | 42,51 | 52,49 | 58,53 | 63,33 | 67,55 | 67,46 | 66,06 |
| Nt    | 11,22 | 18,74 | 25,68 | 36,56 | 45,14 | 50,34 | 54,47 | 58,1  | 58,02 | 56,82 |
| Nв    | 0,141 | 0,567 | 1,344 | 3,69  | 7,208 | 10,75 | 15,32 | 24,13 | 36,31 | 41,7  |
| Nд    | 2,267 | 3,608 | 4,811 | 6,735 | 8,419 | 9,622 | 10,83 | 12,59 | 14,43 | 15,11 |
| Nв+Nд | 2,407 | 4,177 | 6,156 | 10,42 | 15,62 | 20,38 | 26,14 | 36,72 | 50,74 | 56,81 |

### 2.1.7 Топливная экономичность автомобиля

«Чтобы получить характеристики экономии топлива, необходимо определить расход топлива при движении автомобиля на самой высокой передаче по горизонтальной дороге с определенными фиксированными скоростями от минимальной до максимальной.

Путевой расход топлива:

$$Q_{п} = \frac{k_{ск} \cdot k_{и} \cdot (F_{д} + F_{в}) \cdot g_{emin} \cdot 1.1}{36000 \cdot \rho_{т} \cdot \eta_{тр}}, \quad (36)$$

где:  $k_{ск}$  – коэффициент, учитывающие соответственно изменения эффективного расхода топлива в зависимости от  $\omega_e$ ;

$k_{и}$  – коэффициент, учитывающие соответственно изменения эффективного расхода топлива в зависимости от N двигателя;



$g_{emin} = 340 \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$  – удельный эффективный расход топлива;

$\rho_{\tau} = 0.73 \text{ кг/л}$  – плотность топлива.» [15]

Получившиеся характеристики сводим в таблицу 10.

Таблица 10 - Топливоно–экономическая характеристика.

|                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| V                      | 5,833 | 9,284 | 12,37 | 17,33 | 21,66 | 24,75 | 27,85 | 32,40 | 37,13 | 38,88 |
| ки                     | 1,12  | 1,07  | 1,02  | 0,99  | 0,979 | 0,976 | 0,97  | 0,98  | 1,008 | 1,01  |
| И                      | 0,214 | 0,222 | 0,239 | 0,285 | 0,346 | 0,404 | 0,479 | 0,632 | 0,874 | 0,999 |
| кск                    | 1,24  | 1,25  | 1,26  | 1,2   | 1,12  | 1     | 0,89  | 0,84  | 0,85  | 1     |
| $\omega_e/\omega$<br>N | 0,168 | 0,267 | 0,356 | 0,499 | 0,623 | 0,713 | 0,802 | 0,933 | 1,069 | 1,12  |
| gn                     | 9,486 | 9,954 | 10,57 | 11,82 | 13,08 | 13,29 | 13,41 | 15,43 | 19,37 | 24,41 |

## 2.2 Расчёт долговечности ступичного узла

«Общепринятая методика расчета подшипников, применяемых в автомобилестроении, изложена в РД 37.001.010-83. В то же время известно, что применяемые на различных автомобильных заводах методики используют опыт, накопленный этими заводами, и обеспечивают получение оптимальных результатов для того класса автомобилей, который характерен для данного завода» [11].

### 2.2.1. Заданные данные для расчёта

Исходные данные для расчета двухрядного радиально-упорного шарикоподшипника передней ступицы полноприводного автомобиля LADA NIVA Travel приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Исходные данные для расчёта

| Параметр  | Значение |
|---|----------|
| Полная масса автомобиля<br>$m_A$ , кг                             | 1880     |
| Масса, приходящаяся на колесо<br>$m_{KA}$ , кг                    | 470      |
| Масса колеса<br>$m_K$ , кг  | 32       |
| Колея автомобиля<br>$B$ , мм                                      | 1466     |
| Высота центра масс автомобиля<br>$h_{ЦМ}$ , мм                    | 745      |
| Радиус колеса динамический<br>$r_D$ , мм                          | 332      |
| Максимальный крутящий момент двигателя<br>$M_p$ , Нм              | 128      |
| Коэффициент распределения тяговой силы<br>$K_T$                   | 0,5      |
| Коэффициент сцепления колеса с дорогой<br>$\varphi$               | 0,7      |
| Боковое ускорение автомобиля<br>$J_Y$ , м/с <sup>2</sup>          | 2,5      |
| Угол развала колеса в статике<br>$\varphi_0$ , град               | 0,5      |
| Угол развала колеса при повороте направо<br>$\varphi_p$ , град    | 2,5      |
| Угол развала колеса при повороте налево<br>$\varphi_L$ , град     | -1,5     |
| Боковая жесткость шины<br>$C_Y$ , Н/м                             | 200000   |
| Плечо сноса боковой силы<br>$e_{CT}$ , мм                         | 35       |
| Процент прямолинейного движения с RY вправо<br>$\beta_p$ , %      | 45       |
| Плечо приложения верт. силы<br>$e_{RZ}$ , мм                      | 15       |
| Процент прямолинейного движения с RY влево<br>$\beta$ , %         | 45       |
| Коэффициент безопасности<br>$K_\sigma$                            | 1,65     |
| Размер от центра колеса до центра подшипника<br>$L_S$ , мм        | 15       |
| Процент прямолинейного движения с боковой силой вправо, %         | 45       |
| Исходные данные по подшипнику                                     |          |
| Величина промежутка между рядами шариков подшипника<br>$L_p$ , мм | 21       |
| Угол контакта<br>$\alpha$ , град                                  | 40       |
| Диаметр подшипника<br>$D_{PW}$ , мм                               | 62,5     |
| Диаметр шариков<br>$D_W$ , мм                                     | 11,112   |
| Количество шариков в одном ряду<br>$N_W$                          | 15       |
| Статическая грузоподъемность<br>$C_0$                             | 49300    |

## 2.2.2 Параметры подшипника

Опорная база подшипника:

$$L_R = L_P + D_{PW} \cdot \tan \alpha; \quad (37)$$

$$L_R = L_P + D_{PW} \cdot \tan \alpha = 21 + 62,50 \cdot \tan 40^\circ = 73,44 \text{ мм}$$

## 2.2.3 Выбор коэффициента $f_c$

Числовые значения коэффициента  $f_c$  в зависимости от соотношения  $D_W \cdot \cos \alpha / D_{PW}$  и приведены числовые значения коэффициента  $f_c$  на рисунке 5.

| $D_W \cos \alpha / D_{PW}$ | Коэффициент $f_c$ |
|----------------------------|-------------------|
| 0,05                       | 46,7              |
| 0,06                       | 49,1              |
| 0,07                       | 51,1              |
| 0,08                       | 52,8              |
| 0,09                       | 54,3              |
| 0,10                       | 55,5              |
| 0,12                       | 57,5              |
| 0,14                       | 58,8              |
| 0,16                       | 59,6              |
| 0,18                       | 59,9              |
| 0,20                       | 59,9              |
| 0,22                       | 59,6              |
| 0,24                       | 59,0              |
| 0,26                       | 58,2              |
| 0,28                       | 57,1              |
| 0,30                       | 56,0              |
| 0,32                       | 54,6              |
| 0,34                       | 53,2              |
| 0,36                       | 51,7              |
| 0,38                       | 50,0              |
| 0,40                       | 48,4              |

Рисунок 5 – числовые значения коэффициента  $f_c$

$$\frac{D_W \cdot \cos \alpha}{D_{PW}} = \frac{11,112 \cdot \cos 40^\circ}{62,50} = 0,1362$$

Методом линейной интерполяции определяем значение  $f_c = 58,553$

Расчитывается динамическая грузоподъемность 1 ряда  $C_{DI}$  (расчётная). Определим динамическая грузоподъемность 1 ряда:

– при  $D_W < 25,4$

$$C_{DI} = f_c \cdot (2 \cdot \cos \alpha)^{0,7} N_W^{\frac{2}{3}} \cdot D_W^{1,8}; \quad (38)$$

$$\begin{aligned} C_{DI} &= f_c \cdot (2 \cdot \cos \alpha)^{0,7} N_W^{\frac{2}{3}} \cdot D_W^{1,8} = 58,553 \cdot (2 \cdot \cos 40^\circ)^{0,7} 16^{\frac{2}{3}} \cdot 11,112^{1,8} = \\ &= 36934,3 \end{aligned}$$

## 2.2.4 Нагрузки, действующие на колесо

### 2.2.4.1 Максимальная удельная тяговая сила

«Удельные тяговые силы, действующие на колесо, рассчитываются при движении на всех передачах по формуле:

$$P_{YDn} = \frac{M_P \cdot i_0 \cdot i_n \cdot \eta_{TP} \cdot i_{PK2}}{9,81 \cdot m_A \cdot (0,001 \cdot r_k)}, \quad (39)$$

где  $P_{YDn}$  – удельная тяговая сила при движении на n-ой передаче.» [15]

при движении на 1 передаче:

$$P_{YD1} = \frac{127,4 \cdot 3,9 \cdot 3,667 \cdot 0,92}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 0,608$$

при движении на 2 передаче:

$$P_{YD2} = \frac{127.4 \cdot 3,9 \cdot 2,1 \cdot 0,92}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 0,345$$

при движении на 3 передаче:

$$P_{YD3} = \frac{127.4 \cdot 3,9 \cdot 1,361 \cdot 0,92}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 0,128$$

при движении на 4 передаче:

$$P_{YD4} = \frac{127.4 \cdot 3,9 \cdot 1 \cdot 0,92}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 0,094$$

при движении на 5 передаче:

$$P_{YD5} = \frac{127.4 \cdot 3,9 \cdot 0,819 \cdot 0,92}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 0,077$$

#### 2.2.4.2 Коэффициент нагрузки $K_{Hn}$

Коэффициенты нагрузки зависят от удельных тяговых сил и рассчитывается по формуле:

$$\begin{aligned} K_{Hn} = & 0,24699 - 0,36854 \times \\ & \times (\log_{10} P_{YDn}) + 0,08622 \cdot (\log_{10} P_{YDn})^2 + \\ & + 0,06374 \cdot (\log_{10} P_{YDn})^3 \end{aligned} \quad (40)$$

При движении на 1 передаче:

$$K_{H1} = 0,430.$$

При движении на 2 передаче:

$$K_{H2} = 0,527.$$

При движении на 3 передаче:

$$K_{H3} = 0,600.$$

При движении на 4 передаче:

$$K_{H4} = 0,647.$$

При движении на 5 передаче:

$$K_{H5} = 0,676.$$

#### 2.2.4.3 Тяговые силы

«Тяговые силы рассчитываются при движении на всех передачах:» [15]

$$P_{Xn} = \frac{M_P \cdot i_0 \cdot i_n \cdot \eta_{TP} \cdot K_{Hn}}{2 \cdot (0,001 \cdot r_k)}, \quad (41)$$

– при движении на 1 передаче:

$$P_{X1} = \frac{128 \cdot 3,9 \cdot 3.667 \cdot 0,92 \cdot 0,430 \cdot 1,205}{2 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 1355,01$$

– при движении на 2 передаче:

$$P_{X2} = \frac{128 \cdot 3,9 \cdot 2,1 \cdot 0,92 \cdot 0,527 \cdot 1,205}{2 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 951,03$$

– при движении на 3 передаче:

$$P_{X3} = \frac{128 \cdot 3,9 \cdot 1,361 \cdot 0,92 \cdot 0,6 \cdot 1,205}{2 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 701,73$$

– при движении на 4 передаче:

$$P_{X4} = \frac{128 \cdot 3,9 \cdot 1 \cdot 0,92 \cdot 0,647 \cdot 1,205}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 555,99$$

– при движении на 5 передаче:

$$P_{X5} = \frac{128 \cdot 3,9 \cdot 0,819 \cdot 0,92 \cdot 0,676 \cdot 1,205}{9,81 \cdot 1800 \cdot (0,001 \cdot 332)} = 475,77$$

#### 2.2.4.4 Эквивалентная тяговая сила

Эквивалентная тяговая сила определяется следующим образом:

$$P_x^{eq} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{n=1}^N (P_{Xn}^3 \cdot \gamma_n)}{99,5}}, \quad (42)$$

где  $\gamma_n$  - процент пробега автомобиля на n-й передаче.

Рекомендовано принять следующие проценты пробега для пятиступенчатой коробки передач:

$$\gamma_1 = 0,5 \quad \gamma_2 = 1,5 \quad \gamma_3 = 15 \quad \gamma_4 = 35 \quad \gamma_5 = 48$$

$$P_x^{eq} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{n=1}^N (1355,01^3 \cdot 0,5)}{99,5}} = 321$$

#### 2.2.4.5. Вертикальные нагрузки на ось ступицы, Н:

Вертикальные нагрузки на ось ступицы рассчитываются следующим образом:

– при прямолинейном движении

$$R_{ZS} = 9,81 \cdot (m_{KA} - m_K); \quad (43)$$
$$R_{ZS} = 9,81 \cdot (422,50 - 21,60) = 4297$$

– при повороте направо

$$R_{ZR} = 9,81 \cdot (m_{KA} - m_K) \cdot \left(1 + 0,2 \cdot J_Y \cdot \frac{h_{ЦМ}}{B}\right); \quad (44)$$
$$R_{ZR} = 9,91 \cdot (422,50 - 21,60) \cdot \left(1 + 0,2 \cdot 2,5 \cdot \frac{745}{1466}\right) = 5410$$

– при повороте налево

$$R_{ZL} = 9,81 \cdot (m_{KA} - m_K) \cdot \left(1 - 0,2 \cdot J_Y \cdot \frac{h_{ЦМ}}{B}\right); \quad (45)$$
$$R_{ZL} = 9,91 \cdot (422,50 - 21,60) \cdot \left(1 - 0,2 \cdot 2,5 \cdot \frac{745}{1466}\right) = 3184$$

где  $J_Y$  – боковое ускорение автомобиля, принимается равным  $2,5 \text{ м/с}^2$

#### 2.2.4.6. Боковые нагрузки на колесо, Н:

«Рассматриваются 4 режима движения:

– движение прямолинейное, но с 5% боковой силой, направленной влево - 45%

– движение прямолинейное, но с 5% боковой силой, направленной вправо - 45%

– движение в левом повороте с боковым ускорением  $2,5 \text{ м/с}^2$  - 5%



– движение в правом повороте с боковым ускорением  $2,5 \text{ м/с}^2 - 5\% \gg [11]$ .

– при прямолинейном движении и с 5% боковой силой, направленной вправо - 45%

$$R_{YS1} = 9,81 \cdot 0,05 \cdot m_{KA}; \quad (46)$$

$$R_{YS1} = -9,81 \cdot 0,05 \cdot 470 = -214,839.$$

– при прямолинейном движении с 5% боковой силой, направленной влево – 45%

$$R_{YS2} = -9,81 \cdot 0,05 \cdot m_{KA}, \quad (47)$$

$$R_{YS2} = 9,81 \cdot 0,05 \cdot 470 = 214,839$$

– при повороте направо

$$R_{YR} = J_Y \cdot m_{KA}; \quad (48)$$

$$R_{YR} = 2,5 \cdot 470 = -1378,62$$

– при повороте налево

$$R_{YL} = -J_Y \cdot m_{KA}; \quad (49)$$

$$R_{YL} = -2,5 \cdot 470 = 811,38$$

## 2.2.5 Нагрузки, действующие на подшипник

### 2.2.5.1 Боковое смещение пятна контакта от боковой силы и жесткости шины

Боковая сила своим воздействием приводит к смещению пятна контакта колеса с дорогой в сторону действия боковой силы на величину  $\Delta y_T$ .

Она вычисляется по формуле:

$$\Delta y_T = \frac{R_y}{C_y}, \quad (50)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо:

$$\Delta y_{T1} = \frac{-214,839}{200000} = -1,07$$

– при прямолинейном движении и RY влево:

$$\Delta y_{T2} = \frac{214,839}{200000} = 1,07$$

– при повороте направо:

$$\Delta y_{T3} = \frac{-1378,62}{200000} = -6,89$$

– при повороте налево:

$$\Delta y_{T4} = \frac{811,38}{200000} = 4,06$$

### 2.2.5.2 Изгибающие моменты от боковых нагрузок

Изгибающие моменты от боковых нагрузок, Нм:

$$M_{И} = R_Y \cdot \frac{r_k}{\cos \varphi}. \quad (51)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо:

$$M_{И} = -214,839 \cdot \frac{0,332}{\cos 0,5^\circ} = -71,32$$

– при прямолинейном движении и RY влево:

$$M_{И1} = 214,839 \cdot \frac{0,332}{\cos 0,5^\circ} = 71,32$$

– при повороте направо

$$M_{ИR} = -1378,62 \cdot \frac{0,332}{\cos 2,5^\circ} = -457,27$$

– при повороте налево

$$M_{ИL} = 811,38 \cdot \frac{0,332}{\cos -1,5^\circ} = 269,29$$

где  $\varphi$  – угол развала колеса к опорной поверхности, принятый равным  $0,5^\circ$ , вправо –  $2,5^\circ$ , влево –  $-1,5^\circ$ .

### 2.2.5.3 Реакции $R_{Z1}$ , $R_{Z2}$ от действия вертикальной силы для левого и правого ряда шариков

Реакции  $R_{Z1}$ ,  $R_{Z2}$  от действия вертикальной силы для левого и правого ряда шариков, Н:

$$R_Z^P = \frac{0,5 \cdot L_R - r_k \cdot \tan \varphi - \Delta y_T \cdot \cos \varphi + L_S}{L_R} \cdot R_Z \cdot \cos \varphi, \quad (52)$$

$$R_Z^P = R_Z \cdot \cos \varphi - R_Z^P, \quad (53)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо, левый ряд:

$$\begin{aligned} R_{Z1}^{PP} &= \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan 0,5^\circ - 1,07 \cdot \cos 0,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 4297 \cdot \cos 0,5^\circ = \\ &= 2793,47 \end{aligned}$$

правый ряд:

$$R_{Z2}^{PP} = 4297 \cdot \cos 0,5^\circ - 2793,47 = 1503,14$$

– при прямолинейном движении и RY влево, левый ряд:

$$\begin{aligned} R_{Z1}^{PL} &= \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan 0,5^\circ + 1,07 \cdot \cos 0,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 4297 \cdot \cos 0,5^\circ = \\ &= 2919,15 \end{aligned}$$

Правый ряд:

$$R_{Z2}^{PL} = 4297 \cdot \cos 0,5^\circ - 2919,15 = 1377,46$$

– при повороте направо, правый ряд:

$$R_{Z1}^P = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan 2,5^\circ - 6,89 \cdot \cos 2,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 4297 \cdot \cos 2,5^\circ =$$

$$= 1773,3$$

Левый ряд:

$$R_{Z2}^P = 4297 \cdot \cos 2,5^\circ - 1773,3 = 2519,39$$

– при повороте налево:

$$R_{Z1}^L = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan(-1,5^\circ) + 4,06 \cdot \cos(-1,5^\circ) + 15}{73,4} \cdot 4297 \cdot$$

$$\cdot \cos(-1,5^\circ) = 3770,07$$

$$R_{Z2}^L = 4297 \cdot \cos(-1,5^\circ) - 3770,07 = 2519,3$$

#### **2.2.5.4 Радиальные реакции от действия боковой силы $R_{Y1}$ , $R_{Y2}$ для левого и правого ряда шариков**

Формула радиальные реакции от действия боковой силы  $R_{Y1}$ ,  $R_{Y2}$  для левого и правого ряда шариков:

$$R_y = - \frac{0,5 \cdot L_R - r_k \cdot \tan \varphi - \Delta y_T \cdot \sin \varphi + L_S}{L_R} \cdot R_Y \cdot \sin \varphi, \quad (54)$$

$$R_z = R_{y1} \cdot \sin \varphi - R_{y2}. \quad (55)$$

– при прямолинейном движении и  $R_Y$  вправо, левый ряд:

$$R_{Y1}^{PP} = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan -1,5^\circ + 4,06 \cdot \sin 0,5^\circ + 15}{73,4} \cdot -214,839 \cdot \sin 0,5^\circ$$

$$= -1,87$$

Правый ряд:

$$R_{Y2}^{PP} = -214,839 \cdot \sin -1,5^\circ - 1,87 = 0$$

– при прямолинейном движении и RY влево, левый ряд:

$$R_{Y1}^{PL} = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan 0,5^\circ + 1,07 \cdot \sin 0,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 214,839 \cdot \sin 0,5^\circ = 0$$

Правый ряд:

$$R_{Y2}^{PL} = 214,839 \cdot \sin 0,5^\circ - 0 = 1,87$$

– при движении направо, левый ряд:

$$R_{Y1}^P = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan 2,5^\circ - 6,89 \cdot \sin 2,5^\circ + 15}{73,4} \cdot -1378,62 \cdot \sin 2,5^\circ =$$

$$= -60,13$$

Правый ряд:

$$R_{Y2}^P = 1378,62 \cdot \sin 2,5^\circ - 60,13 = 0$$

– при движении налево, левый ряд:

$$R_{Y1}^L = -\frac{0,5 \cdot 73,4 - 332 \cdot \tan -1,5^\circ + 4,06 \cdot \sin -1,5^\circ}{73,4} \cdot 811,38 \cdot \sin -1,5^\circ = 0$$

Правый ряд:

$$R_{Y2}^L = 811,38 \cdot \sin -1,5^\circ = 35,4$$

### 2.2.5.5 Радиальные реакции от воздействия изгибающего момента $R_{И1}$ , $R_{И2}$ для левого и правого ряда шариков

По формулам 56 и 57 определим радиальные реакции от воздействия изгибающего момента от воздействия изгибающего момента  $R_{И1}$ ,  $R_{И2}$  для левого и правого ряда шариков при прямолинейном движении и  $R_Y$  вправо, левый ряд:

$$R_{И1} = -\frac{r_k}{L_R \cdot \cos \varphi} \cdot R_Y, \quad (56)$$

$$R_{И2} = \frac{r_k}{L_R \cdot \cos \varphi} \cdot R_Y. \quad (57)$$

– при прямолинейном движении и  $R_Y$  вправо, левый ряд:

$$R_{И1}^{PP} = -\frac{332}{73,4 \cdot \cos 0,5^\circ} \cdot 214,839 = -971,14.$$

Правый ряд:

$$R_{И2}^{PP} = \frac{332}{73,4 \cdot \cos 0,5^\circ} \cdot 214,839 = 971,14.$$

– при прямолинейном движении и  $R_Y$  влево, левый ряд:

$$R_{И1}^{PI} = \frac{332}{73,4 \cdot \cos 0,5^\circ} \cdot 214,839 = 971,14.$$

Правый ряд:

$$R_{И2}^{PI} = -\frac{332}{73,4 \cdot \cos 0,5^\circ} \cdot -214,839 = -971,14.$$

– при движении направо, левый ряд:

$$R_{И1}^P = -\frac{332}{73,4 \cdot \cos 2,5^\circ} \cdot 1378,62 = -6226,08.$$

Правый ряд:

$$R_{И2}^P = \frac{332}{73,4 \cdot \cos 2,5^\circ} \cdot 1378,62 = 6226,08.$$

– при движении налево, левый ряд:

$$R_{И1}^L = -\frac{332}{73,4 \cdot \cos -1,5^\circ} \cdot -811,38 = 3666,55.$$

Правый ряд:

$$R_{И2}^L = \frac{332}{73,4 \cdot \cos -1,5^\circ} \cdot -811,38 = -3666,55$$



### 2.2.5.6 Радиальные реакции от действия тяговых сил $R_{T1}$ , $R_{T2}$ для левого и правого ряда шариков

Рассчитаем радиальные реакции от действия тяговых сил  $R_{T1}$ ,  $R_{T2}$  для левого и правого ряда шариков, формула 58 и 59:

$$R_{T1} = \frac{0,5 \cdot L_R + L_S - \Delta y_T \cdot \cos \varphi}{L_R} \cdot P_x^{eq}, \quad (58)$$

$$R_{T2} = P_x^{eq} - R_{T1}. \quad (59)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо, левый ряд:

$$R_{T1}^{PP} = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 1,07 \cdot \cos 0,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 321 = 221,7.$$

Правый ряд:

$$R_{T2}^{PP} = 321 - 221,7 = 99,79.$$

– при прямолинейном движении и RY влево, левый ряд:

$$R_{T1}^{PL} = \frac{0,5 \cdot 73,4 + 1,07 \cdot \cos 0,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 321 = 231,1.$$

Правый ряд:

$$R_{T2}^{PL} = 321 - 231,1 = 99,8.$$

– при повороте направо, левый ряд:

$$R_{T1}^P = \frac{0,5 \cdot 73,4 - 6,89 \cdot \cos 2,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 321 = 196,19$$

Правый ряд:

$$R_{T2}^P = 321 - 196,19 = 125,29.$$

– при повороте налево, левый ряд:

$$R_{T1}^L = \frac{0,5 \cdot 73,4 + 4,06 \cdot \cos -1,5^\circ + 15}{73,4} \cdot 321 = 244,14.$$

Правый ряд:

$$R_{T2}^L = 321 - 244,14 = 77,36.$$

### **2.2.5.7 Радиальные реакции от действия стабилизирующего момента шины $R_{X1}$ , $R_{X2}$ для левого и правого ряда шариков**

Радиальные реакции от действия стабилизирующего момента шины  $R_{X1}$ ,  $R_{X2}$  для левого и правого ряда шариков, Н:

$$R_{X1} = -\frac{e_{CT}}{L_R} \cdot R_Y, \quad (60)$$

$$R_{X2} = \frac{e_{CT}}{L_R} \cdot R_Y, \quad (61)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо, левый ряд:

$$R_{X1}^{PP} = -\frac{35}{73,4} \cdot -214,839 = 102,44.$$

Правый ряд:

$$R_{X2}^{PP} = \frac{35}{73,4} \cdot -214,839 = -102,44.$$

– при прямолинейном движении и RY вправо, левый ряд:

$$R_{X1}^{PL} = -\frac{35}{73,4} \cdot 214,839 = -102,44.$$

Правый ряд:

$$R_{X2}^{PL} = \frac{35}{73,4} \cdot 214,839 = 102,44.$$

– при повороте направо, левый ряд:

$$R_{X1}^P = -\frac{35}{73,4} \cdot 1378,62 = -657,38.$$

Правый ряд:

$$R_{X2}^P = \frac{35}{73,4} \cdot 1378,62 = 657,38$$

– при повороте налево, левый ряд:

$$R_{X1}^L = -\frac{35}{73,4} \cdot -811,38 = 386,9.$$

Правый ряд:

$$R_{X2}^L = \frac{35}{73,4} \cdot -811,38 = -386,99.$$

### 2.2.5.8 Суммарные реакции $R_1, R_2$ для левого и правого ряда шариков

Суммарные реакции  $R_1, R_2$  для левого и правого ряда шариков, Н:

$$R_{PP1} = \sqrt{(R_{T1} + R_{X1})^2 + (R_{Z1} + R_{Y1} + R_{И1})^2}, \quad (62)$$

$$R_{PP2} = \sqrt{(R_{T2} + R_{X2})^2 + (R_{Z2} + R_{Y2} + R_{И2})^2}, \quad (63)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо:

$$R_{PP1} = \sqrt{(221,7 + 102,44)^2 + (2793,47 - 1,87 - 971,14)^2} = 1849,09,$$

$$R_{PP2} = \sqrt{(99,79 - 102,44)^2 + (1503,14 + 0 + 971,14)^2} = 2474,28.$$

– при прямолинейном движении и RY влево:

$$R_{PL1} = \sqrt{(231,1 - 102,44)^2 + (2919,15 + 0 + 971,14)^2} = 3890,29,$$

$$R_{PL2} = \sqrt{(99,8 + 102,44)^2 + (1377,46 + 1,87 - 971,14)^2} = 1617,29.$$

– при повороте направо:

$$R_{P1} = \sqrt{(196,19 - 657,38)^2 + (1773,3 - 60,13 - 6226,1)^2} = 4536,43,$$

$$R_{P2} = \sqrt{(125,29 + 657,38)^2 + (2519,39 + 0 + 6226,1)^2} = 8780,44.$$

– при повороте налево:

$$R_{L1} = \sqrt{(244,14 + 386,9)^2 + (3770,07 - 0 + 3666,55)^2} = 7463,35,$$

$$R_{L2} = \sqrt{(77,36 - 386,9)^2 + (2519,39 + 35,4 - 3666,55)^2} = 1154,05.$$

## 2.2.6 Осевые реакции подшипника

### 2.2.6.1 Параметр $e$ для расчета $S_1, S_2$

Коэффициент осевого нагружения -  $e$ . Значение радиально-упорных шарикоподшипников с углом контакта  $\alpha = 18 \dots 40^\circ$  определяется по рисунку 6.

| Угол контакта $\alpha$ , град | Коэффициент $e$ |
|-------------------------------|-----------------|
| 18, 19, 20                    | 0,57            |
| 24, 25, 26                    | 0,68            |
| 30                            | 0,80            |
| 35, 36                        | 0,95            |
| 40                            | 1,14            |

Рисунок 6 – Коэффициент осевого нагружения подшипника

Принимаем  $e = 1,14$ .

### 2.2.6.2 Осевые составляющие для реализации радиальных реакций $S_1, S_2$ для левого и правого ряда шариков

Осевые составляющие для реализации радиальных реакций  $S_1, S_2$  для левого и правого ряда шариков, Н:

$$S_1 = -e \cdot R_{PP1}, \quad (64)$$

$$S_2 = -e \cdot R_{PP2}. \quad (65)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо:

$$S_1^{PP} = -1,14 \cdot 1849,09 = -2107,96$$

$$S_2^{PP} = 1,14 \cdot 2474,28 = 2820,68$$

– при прямолинейном движении и RY влево:

$$S_1^{PL} = -1,14 \cdot 3890,29 = -4434,93$$

$$S_2^{PL} = 1,14 \cdot 1617,29 = 1843,71$$

– при повороте направо:

$$S_1^P = -1,14 \cdot 4536,43 = -5171,53$$

$$S_2^P = 1,14 \cdot 8780,44 = 10009,7$$

– при повороте налево:

$$S_1^L = -1,14 \cdot 7463,35 = -8508,22$$

$$S_2^L = -1,14 \cdot 1154,05 = 1315,62.$$

### 2.2.6.3 Осевые реакции $R_{A1}$ , $R_{A2}$ для левого и правого ряда шариков, Н

– Для боковой силы, направленной вправо:

$$\text{при } |S_{R1}| \leq S_{R2} + R_Y, \text{ то } R_{A1} = -S_{R2} - R_Y, R_{A2} = S_{R2}; \quad (66)$$

$$\text{при } |S_{R1}| > S_{R2} + R_Y, \text{ то } R_{A1} = S_{R2}, R_{A2} = -S_{R2} - R_Y; \quad (67)$$

– для боковой силы, направленной влево:

$$\text{при } S_{R2} \leq |S_{R1} + R_Y|, \text{ то } R_{A1} = S_{R1}, R_{A2} = -S_{R2} - R_Y; \quad (68)$$

$$\text{при } S_{R2} > |S_{R1} + R_Y|, \text{ то } R_{A1} = -S_{R2} - R_Y, R_{A2} = S_{R2}; \quad (69)$$

– при прямолинейном движении и  $R_Y$  вправо при:

$$|S_1^{PP}| \leq S_2^{PP} + R_Y \rightarrow |2107,96| \leq 2820,68 + 214,84$$

левый ряд:

$$R_{A1}^{PP} = -S_2^{PP} - R_Y = -2820,68 - 214,84 = -3035,52$$

правый ряд:

$$R_{A2}^{PP} = S_2^{PP} = 2820,68$$

– при прямолинейном движении и  $R_Y$  влево при:

$$S_2^{PL} \leq |S_1^{PL} + R_Y| \rightarrow 1843,71 \leq |4434,93 + 214,84|$$

Левый ряд:

$$R_{A1}^{PL} = S_1^{PL} = 1843,71$$

Правый ряд:

$$R_{A2}^{PL} = -S_1^{PL} - R_Y = 4434,93 + 214,84 = 4649,77$$

– при повороте направо:

$$|S_1^P| \leq S_2^P + R_Y \rightarrow |5171,53| \leq 10009,7 + 1378,62$$

Левый ряд:

$$R_{A1}^P = -S_2^P - R_Y = -10009,7 - 1378,62 = -11388,32$$

Правый ряд:

$$R_{A2}^P = S_2^P = 10009,7$$

– при повороте налево при:

$$S_2^L \leq |S_1^L + R_Y| \rightarrow 1315,62 \leq |8508,22 + 811,38|$$

Левый ряд:

$$R_{A1}^L = S_1^L = -8508,22$$



– правый ряд:

$$R_{A2}^L = -S_1^L - R_Y = 8508,22 + 811,38 = 9319,6$$

## 2.2.7 Эквивалентные динамические нагрузки на подшипник

### 2.2.7.1 Коэффициент X и Y для расчета эквивалентных динамических нагрузок

При значении угла контакта  $\alpha = 40^\circ$ , выбираем значение коэффициентов согласно таблице на рисунке 7:

| Угол контакта $\alpha$ , град | Коэффициент X | Коэффициент Y |
|-------------------------------|---------------|---------------|
| 18, 19, 20                    | 0,43          | 1,00          |
| 24, 25, 26                    | 0,41          | 0,87          |
| 30                            | 0,39          | 0,76          |
| 35, 36                        | 0,37          | 0,66          |
| 40                            | 0,35          | 0,57          |

Рисунок 7 – Коэффициенты радиальной и осевой нагрузок для двухрядного радиально-упорного подшипника

Принимаем  $X = 0,35$ ,  $Y = 0,57$

### 2.2.7.2 Эквивалентные динамические нагрузки $P_{eq1}$ , $P_{eq2}$ для левого и правого ряда шариков, Н:

Эквивалентные динамические нагрузки  $P_{eq1}$ ,  $P_{eq2}$  для левого и правого ряда шариков, Н:

$$P_{eq1(2)} = X \cdot R_{PP1(2)} + Y \cdot |R_{A1(2)}|. \quad (70)$$

– при прямолинейном движении и RY вправо, левый и правый ряд:

$$P_{eq1}^{PP} = 0,35 \cdot 1849,09 + 0,57 \cdot 3035,52 = 2377,42$$

$$P_{eq2}^{PP} = 0,35 \cdot 2474,28 + 0,57 \cdot 2820,68 = 2473,79$$

– при прямолинейном движении и RY влево, левый и правый ряд:

$$P_{eq1}^{PL} = 0,35 \cdot 3890,29 + 0,57 \cdot 1843,71 = 2412,52$$

$$P_{eq2}^{PL} = 0,35 \cdot 1617,29 + 0,57 \cdot 4649,77 = 3216,42$$

– при повороте направо, левый и правый ряд:

$$P_{eq1}^P = 0,35 \cdot 4536,43 + 0,57 \cdot 11388,32 = 8079,09$$

$$P_{eq2}^P = 0,35 \cdot 8780,44 + 0,57 \cdot 10009,7 = 8778,68$$

– при повороте налево, левый и правый ряд:

$$P_{eq1}^L = 0,35 \cdot 7463,35 + 0,57 \cdot 8508,22 = 7461,86$$

$$P_{eq2}^L = 0,35 \cdot 1154,05 + 0,57 \cdot 9319,6 = 5716,09$$

## **2.2.8 Эквивалентные суммарные динамические нагрузки на подшипник**

«Суммарные эквивалентные динамические нагрузки на подшипник рассчитываются с учетом распределения общего пробега автомобиля:

- Прямолинейное движение с боковой силой вправо – 45%;
- Прямолинейное движение с боковой силой влево – 45%;
- Движение с правым поворотом – 5%;

- Движение с левым поворотом – 5%.» [11]

$$P_{\Sigma 1} = \sqrt[3]{\frac{45 \cdot (P_{eq1(2)}^{PP})^3 + 45 \cdot (P_{eq1(2)}^{PL})^3 + 5 \cdot (P_{eq1(2)}^P)^3 + 5 \cdot (P_{eq1(2)}^L)^3}{100}}; \quad (71)$$

Левый и правый ряд:

$$\begin{aligned} & P_{\Sigma 1} \\ = & \sqrt[3]{\frac{45 \cdot (2377,42)^3 + 45 \cdot (2412,52)^3 + 5 \cdot (8079,09)^3 + 5 \cdot (7461,86)^3}{100}} = \\ = & 3904,09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\Sigma 2} &= \sqrt[3]{\frac{45 \cdot (2473,79)^3 + 45 \cdot (3216,42)^3 + 5 \cdot (8778,68)^3 + 5 \cdot (5716,09)^3}{100}} \\ &= 4019,72 \end{aligned}$$

## 2.2.9 Ресурсный расчёт подшипника

Расчетная долговечность подшипника, км:

$$L_{S90} = \left( \frac{C_{DI}}{R_{\Sigma^2}^{eq} \cdot K_{\sigma}} \right)^3 \cdot 2000 \cdot \pi \cdot r_k, \quad (72)$$

где  $K_{\sigma}$  – коэффициент безопасности;

$R_{\Sigma}^{eq}$  – эквивалентная динамическая нагрузка самого нагруженного ряда;

$C_{DI}$  – динамическая грузоподъемность одного ряда шариков подшипника.

$$L_{S90} = \left( \frac{36934,3}{4019,72 \cdot 1,65} \right)^3 \cdot 2000 \cdot \pi \cdot 0,332 = 360220$$

## Вывод

«Тягово-скоростные свойства определяют динамичность автомобиля – способность перевозить грузы с максимально возможной средней скоростью. Чем выше динамичность автомобиля, тем больше производительность.» [11]

Определив результаты тягово-скоростных свойств, рассчитав долговечность предлагаемой конструкции ступичного узла автомобиля Lada Niva Travel. Также была рассмотрена топливная экономичность автомобиля, определён его расход топлива. Можно сделать вывод, о том, что данное решение хорошо себя зарекомендует на данном автомобиле, значительно повышая его эксплуатационные свойства, а также избавит покупателя от частого планового обслуживания. При этом увеличивается ресурс, а показатели топливной экономичности не превышают значений до внесения изменений в конструкции.

### 3 Технологическая часть

Ступица переднего колеса (далее ступица) предназначена для установки и закрепления на ней диска колеса.

Принцип работы узла заключается в следующем: ступица устанавливается на ось какого-либо изделия, на ступицу крепится диск колеса с шиной. При передвижении изделия колесо и корпус ступицы вращаются на подшипниках, а вал ступицы остается неподвижным.

#### 3.1 Выбор организационной формы сборки

Ступичный узел для автомобиля Lada Niva Travel имеют статус массового производства, поэтому для технологии сборки в принимается годовая программа выпуска  $N = 90000$  штук в год.

На основании программы выпуска и габаритных размеров узла принимаем стационарную не поточную сборку с одним рабочим местом. Главное условие сборки – обеспечение взаимозаменяемости готовых узлов и отдельных деталей.

Такт выпуска изделий:

$$T_d = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (73)$$

где  $F_d$  – годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену ( $F_d = 4015$  шт.);

$m$  – число смен ( $m = 2$ );

$N$  – объем выпуска в год ( $N = 90000$  шт.)

$$T_d = \frac{4015 \cdot 60}{90000} = 2,68 \text{ мин.}$$

### 3.2 Составление перечня сборочных работ

Перечень сборочных работ приведен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень сборочных работ

| Перечень основных и переходных работ                             | Время,<br>$t_{оп}$ , мин |
|--|--------------------------|
| <b>Узловая сборка переднего тормоза<br/>с поворотным кулаком</b> |                          |
| Взять кулак поворотный   | 0,01                     |
| Осмотреть кулак поворотный                                       | 0,09                     |
| Установить кулак поворотный на рабочее место                     | 0,03                     |
| Зафиксировать поворотный кулак фиксатором                        | 0,01                     |
| Взять стопорное кольцо   | 0,01                     |
| Взять щипцы для сжатия стопорных колец                           | 0,01                     |
| Сжать стопорное кольцо   | 0,04                     |
| Поместить в кулак поворотный стопорное кольцо                    | 0,08                     |
| Убрать щипцы   | 0,01                     |
| Убрать фиксатор, развернуть кулак поворотный на 180°             | 0,07                     |
| Зафиксировать поворотный кулак фиксатором                        | 0,04                     |
| Взять ступичный подшипник  | 0,01                     |
| Осуществить смазку подшипника маслом                             | 0,07                     |
| Расположить ступичный подшипник в оправу                         | 0,04                     |
| Запрессовать ступичный подшипник в кулак поворотный              | 0,16                     |
| Достать стопорное кольцо   | 0,01                     |
| Поднять щипцы для сжатия стопорных колец                         | 0,01                     |
| Сжать стопорное кольцо   | 0,03                     |
| Установить стопорное кольцо в кулак поворотный                   | 0,04                     |
| Положить щипцы   | 0,01                     |

Продолжение таблицы 12

| Перечень основных и переходных работ   | Время,<br>$t_{оп}$ , мин |
|--|--------------------------|
| Взять кожух защитный переднего тормоза в сборе                                 | 0,01                     |
| Установить кожух защитный диска тормозного на кулак поворотный                 | 0,1                      |
| Взять болт крепления рычага рулевой трапеции 2 шт.                             | 0,01                     |
| Установить болты на место крепления защитного кожуха с поворотным кулаком      | 0,05                     |
| Взять болт М6х25   | 0,01                     |
| Наживить болт М6х25 на 2–3 витка   | 0,20                     |
| Взять пневмогайковерт  | 0,01                     |
| Завернуть болт М6х25 пневмогайковертом с заданным моментом затяжки 7,9 Нм      | 0,09                     |
| Убрать пневмогайковерт   | 0,01                     |
| Взять рычаг поворотный рулевой трапеции и установить болты на место крепления  | 0,01                     |
| Взять пластину стопорную болтов  | 0,01                     |
| Взять гайку М12х1,25 2 шт.   | 0,09                     |
| Наживить гайки на 2–3 витка  | 0,36                     |
| Взять пневмогайковерт  | 0,01                     |
| Завернуть гайки М12х1,25 пневмогайковертом с заданным моментом затяжки 78,4 Нм | 0,01                     |
| Отложить пневмогайковерт   | 0,01                     |
| Взять пассатижи  | 0,02                     |
| Застопорить гайки М12х1,25   | 0,15                     |
| Убрать пассатижи   | 0,01                     |
| Взять кронштейн датчика скорости переднего колеса в сборе                      | 0,01                     |
| Установить болт М6х25 на место крепления кронштейн датчика скорости            | 0,16                     |
| Взять пневмогайковерт  | 0,01                     |
| Пневмогайковертом завернуть болт с моментом затяжки 14 Нм                      | 0,09                     |

Продолжение таблицы 12

| Перечень основных и переходных работ   | Время,<br>$t_{оп}$ , мин |
|--|--------------------------|
| Убрать пневмогайковерт   | 0,01                     |
| Достать тормозной диск и ступицу переднего колеса                              | 0,01                     |
| Поместить диск переднего тормоза на ступицу колеса                             | 0,06                     |
| Взять болты крепления тормозного диска 2 шт                                    | 0,01                     |
| Взять пневмогайковерт  | 0,01                     |
| Завернуть болты пневмогайковертом с моментом затяжки 14.7 Нм                   | 0,09                     |
| Убрать пневмогайковерт   | 0,01                     |
| Совместить отверстия ступицы колеса и тормозного диска                         | 0,04                     |
| Взять болты крепления колеса 5 шт  | 0,02                     |
| Установить болты крепления колеса в месте крепления тормозного диска и ступицы | 0,1                      |
| Запрессовать болты   | 0,16                     |
| Набить смазку между сальником и подшипником                                    | 0,09                     |
| Запрессовать ступицу колеса  | 0,17                     |
| Снять фиксатор, развернуть кулак поворотный на 180° в плоскости                | 0,03                     |
| Зафиксировать кулак поворотный фиксатором                                      | 0,02                     |
| Взять тормоз передний в сборе  | 0,01                     |
| Осмотреть тормоз передний в сборе  | 0,09                     |
| Установить тормоз передний в сборе на кулак поворотный                         | 0,02                     |
| Взять болт М10х1,25 2 шт.  | 0,01                     |
| Наживить болт М10х1,25 2 шт. на 2–3 витка                                      | 0,18                     |
| Взять пневмогайковерт  | 0,01                     |
| Затянуть болты М10х1,25 2 шт. с заданным моментом затяжки 58,6 Нм              | 0,07                     |
| Отложить пневмогайковерт   | 0,01                     |
| Снять фиксатор приспособления  | 0,02                     |
| Снять с приспособления кулак поворотный в сборе                                | 0,02                     |



Продолжение таблицы 12

| Перечень основных и переходных работ                | Время,<br>$t_{оп}$ , мин |
|---|--------------------------|
| Отправить кулак поворотный в сборе в тару конвейера | 0,02                     |
| <i>Всего</i> $\sum t_{оп}$                          | 3,51                     |

### 3.3 Определение трудоёмкости сборки

Общее оперативное время на все виды выполняемых работ:

$$t_{оп}^{общ} = \sum t_{оп} = 3,51 \text{ мин.}$$

Определим суммарную трудоёмкость сборки изделия:

$$t_{шт}^{общ} = t_{оп}^{общ} + t_{оп}^{общ} \cdot \left( \frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (74)$$

где  $\alpha$  – промежуток времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места, принимаем  $\alpha = 3\%$ ;

$\beta$  – промежуток времени на перерыв и отдых, принимаем  $\beta = 5\%$

$$t_{шт}^{общ} = 3,51 + 3,51 \cdot \left( \frac{3 + 5}{100} \right) = 3,79 \text{ мин}$$

### 3.4 Технологический процесс сборки переднего тормоза с поворотным кулаком

Таблица 13 – Технологический процесс сборки переднего тормоза с поворотным кулаком

| № операции  | Операц. | Содержание работ и переходов                        | Инструменты, оборудование, приспособления  | Время<br>Т <sub>шт.</sub> , мин |
|---|---------|---|--|---------------------------------|
| Общая сборка переднего тормоза с поворотным кулаком |         |   |  |                                 |
| 1.  | Сбороч. | Достать поворотный кулак                            | Пневматический гайковерт.<br>Щипцы для сжатия стопорных колец.<br>Пассатижи.<br>Установочно-зажимное устройство. | 3,79                            |
|   |         | Осмотреть кулак                                     |  |                                 |
|   |         | Установить кулак поворотный на устройство           |  |                                 |
|   |         | Зафиксировать поворотный кулак фиксатором           |  |                                 |
|   |         | Взять стопорное кольцо                              |  |                                 |
|   |         | Достать щипцы для сжатия стопорных колец            |  |                                 |
|   |         | Сжать стопорное кольцо                              |  |                                 |
|   |         | Пометить стопорное кольцо в кулак поворотный        |  |                                 |
|   |         | Убрать щипцы для сжатия стопорных колец             |  |                                 |
|   |         | Убрать фиксатор, развернуть кулак на 180°           |  |                                 |
|   |         | Зафиксировать поворотный кулак фиксатором           |  |                                 |
|   |         | Взять подшипник                                     |  |                                 |
|   |         | Осуществить смазку подшипника                       |  |                                 |
|   |         | Поместить подшипник в оправу                        |  |                                 |
|   |         | Запрессовать подшипник в кулак поворотный           |  |                                 |
|   |         | Достать стопорное кольцо                            |  |                                 |
|   |         | Поднять щипцы для сжатия стопорных колец            |  |                                 |
|   |         | Сжать стопорное кольцо                              |  |                                 |
|   |         | Установить стопорное кольцо в кулак поворотный      |  |                                 |
|   |         | Положить щипцы                                      |  |                                 |
|   |         | Взять кожух защитный переднего тормоза в сборе      |  |                                 |
|   |         | Установить кожух защитный диска на кулак поворотный |  |                                 |

Продолжение таблицы 13

| № операц | Опера-ция | Содержание работ и переходов  | Инструменты, оборудование, приспособления | Время<br>Т <sub>шт.</sub> ,<br>МИН |
|----------|-----------|---|---|------------------------------------|
|          |           | Взять болты рычага рулевой трапеции 2 шт.                                     |   |                                    |
|          |           | Установить болты на место крепления защитного кожуха с поворотным кулаком     |   |                                    |
|          |           | Взять болт М6х25  |   |                                    |
|          |           | Наживить болт М6х25 на 2–3 витка  |   |                                    |
|          |           | Достать пневмогайковерт   |   |                                    |
|          |           | Завернуть болт М6х25 пневмогайковертом контролируемым моментом затяжки 7,9 Нм |   |                                    |
|          |           | Убрать пневмогайковерт  |   |                                    |
|          |           | Взять рычаг поворотный рулевой трапеции и установить болты на место крепления |   |                                    |
|          |           | Взять пластину стопорную болтов   |   |                                    |
|          |           | Взять гайки М12х1,25 2 шт.  |   |                                    |
|          |           | Наживить гайки на 2–3 витка   |   |                                    |
|          |           | Взять пневмогайковерт   |   |                                    |
|          |           | Затянуть гайки М12х1,25 моментом затяжки 78,4 Нм                              |   |                                    |
|          |           | Убрать пневмогайковерт  |   |                                    |
|          |           | Взять пассатижи   |   |                                    |
|          |           | Застопорить гайки М12х1,25  |   |                                    |
|          |           | Отложить пассатижи  |   |                                    |
|          |           | Взять кронштейн датчика скорости переднего колеса в сборе                     |   |                                    |
|          |           | Установить болт М6х25 на место крепления кронштейн датчика скорости           |   |                                    |
|          |           | Взять пневмогайковерт   |   |                                    |
|          |           | Завернуть болт М6х25 заданным моментом затяжки 14.7 Нм                        |   |                                    |
|          |           | Убрать пневмогайковерт  |   |                                    |
|          |           | Достать тормозной диск и ступицу переднего колеса                             |   |                                    |
|          |           | Установить диск переднего тормоза на ступицу колеса                           |   |                                    |
|          |           | Взять болты крепления тормозного диска 2 шт.                                  |   |                                    |

Продолжение таблицы 13

| № операц | Операц. | Содержание работ и переходов   | Инструменты, оборудование, приспособления   | Время<br>Т <sub>шт</sub> ,<br>мин |
|----------|---------|--|---|-----------------------------------|
|          |         | Взять пневмогайковерт с рабочего места   |   |                                   |
|          |         | Завернуть болты пневмогайковертом с моментом затяжки 14.7 Нм                   |   |                                   |
|          |         | Отложить пневмогайковерт   | Установочно-зажимное устройство.<br>Пневматический гайковерт.<br>Смазка<br>BERUTOXFE 18 EP TTM. |                                   |
|          |         | Совместить отверстия ступицы колеса и диск переднего тормоза                   |   |                                   |
|          |         | Взять болты крепления колеса 5 шт  |   |                                   |
|          |         | Установить болты крепления колеса в месте крепления тормозного диска и ступицы |   |                                   |
|          |         | Запрессовать болты   |   |                                   |
|          |         | Набить смазку между сальником и подшипником                                    |   |                                   |
|          |         | Запрессовать ступицу колеса  |   |                                   |
|          |         | Убрать фиксатор, развернуть кулак поворотный на 180° в плоскости               |   |                                   |
|          |         | Зафиксировать фиксатором кулак поворотный                                      |   |                                   |
|          |         | Взять тормоз передний в сборе  |   |                                   |
|          |         | Осмотреть тормоз передний  |   |                                   |
|          |         | Установить тормоз передний в сборе на кулак поворотный                         |   |                                   |
|          |         | Взять болт М10х1,25 2 шт.  |   |                                   |
|          |         | Наживить болт М10х1,25 2 шт. на 2–3 витка                                      |   |                                   |
|          |         | Взять пневмогайковерт  |   |                                   |
|          |         | Затянуть болты М10х1,25 2 шт. моментом затяжки 58,6 Нм                         |   |                                   |
|          |         | Отложить пневмогайковерт   |   |                                   |
|          |         | Убрать фиксатор приспособления   |   |                                   |
|          |         | Снять с приспособления кулак поворотный в сборе                                |   |                                   |
|          |         | Отправить кулак поворотный в сборе в тару конвейера                            |   |                                   |

## Вывод

«Слесарь механосборочных работ - основное действующее лицо при создании готового изделия. Он осуществляет сборку машин и механизмов из деталей, полученных с других цехов предприятия или с других предприятий. Чтобы собрать готовый механизм, надо сначала изучить чертеж, подготовить детали, затем собрать отдельные узлы, отрегулировать, то есть проверить правильность взаимодействия собранных деталей и узлов, и, наконец, провести испытание собранного изделия. Иногда подготовка деталей требует подгонки их размеров до необходимых.

Соединение деталей в узлы и в дальнейшем в конструкции происходит путем запрессовки, пайки, сварки, а также с помощью болтов, шпонок, резьбы, заклепок и других способов крепления в зависимости от собираемого механизма.» [10]

Итогом данного раздела, можно сделать вывод, что на основе полученной технологической карты, возможен выпуск изделия на предприятии-изготовителе.

#### **4 Безопасность и экологичность объекта**

В данном проекте рассматривается вариант модернизации ступичного узла автомобиля LADA Niva Travel. Наиболее уязвимым в плане безопасности является производственный участок сборки ступичного узла.

Прежде чем автомобиль сможет сойти с конвейера, он должен пройти серию тщательных испытаний, чтобы убедиться, что он соответствует определенному уровню безопасности. Точно так же органы контроля качества способны выявить серьезные проблемы в продукте до того, как они возникнут в дороге - хорошо продуманная программа безопасности может предотвратить травмы на рабочем месте. Несмотря на то, что невозможно спланировать все инциденты на рабочем месте, необходимо предпринять все возможные шаги для защиты сотрудников от них. Однако, как бы мы ни планировали безопасность рабочего места, травмы все равно будут случаться. Важно проанализировать каждый отдельный случай и проследить причину, по которой это произошло в первую очередь.

Ключевым моментом является обеспечение наличия надежных систем безопасности для выявления рисков и управления ими. Лучше всего, если сотрудники смогут видеть данные в режиме реального времени для выявления рисков и для принятия правильных решений.

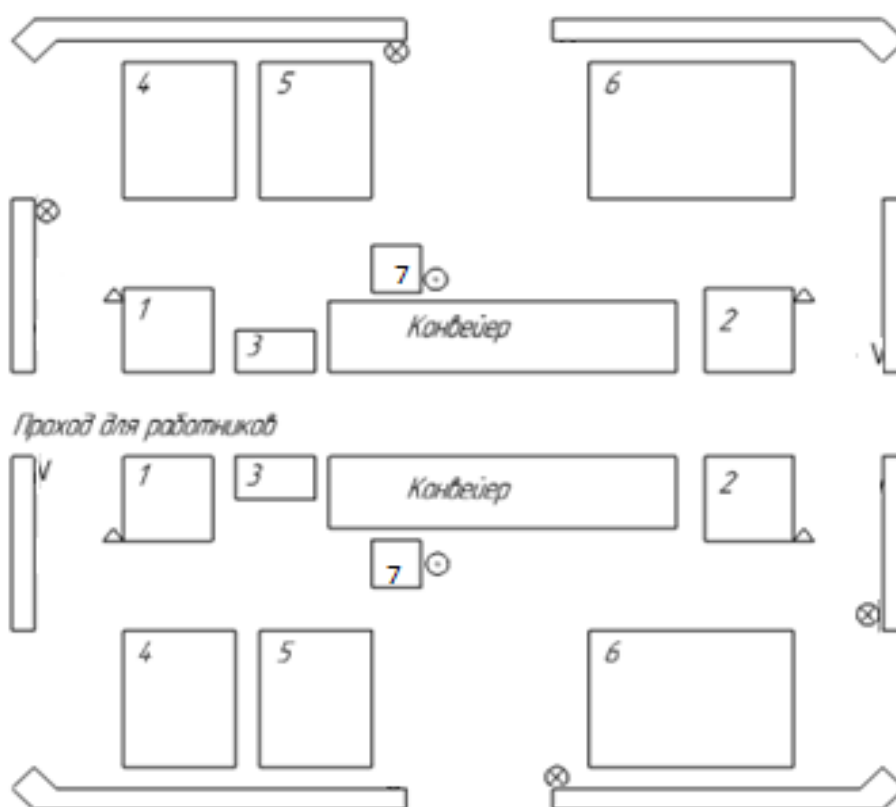
Проведение оценки рисков может помочь точно определить повышенные опасности в определенных областях. С помощью этой информации могут быть реализованы новые меры безопасности. Важно не только постоянно обновлять эти методы, но также полезно продолжать анализировать новые методы, чтобы увидеть, работают ли они, и улучшать их. Таким образом, данное решение - наилучшая возможная система безопасности.

С точки зрения экологичности применяемого ступичного узла, то при его эксплуатации, в результате его работы, нанесение вреда окружающей среде не происходит. Основной материал узла – это металл. Утилизация

деталей ступичного узла происходит следующим образом: каждая металлическая деталь проходит процесс удаления загрязнений, чтобы удалить все токсичные материалы и отправляется на переплавку. Остальные материалы дробятся и отправляются на дальнейшую переработку и использование в других отраслях промышленности.

Сборку модернизированного ступичного узла планируется разместить на мощностях завода ПАО АвтоВАЗ в г. Тольятти. План сборочного участка изображен на рисунке, представляет собой поточную линию с подвесным конвейером и элементами пожаробезопасности.

Детали ступичного узла поступают на производственный участок в виде собранных ранее элементов к месту сборки на подвесном конвейере, остальные изделия и крепежные элементы подвозят непосредственно к месту сборки на тележках. Собранный ступичный узел посредством подвесного конвейера продолжает движение для выполнения дальнейших сборочных операций. Схема планируемого производственного участка представлена на рисунке 8.



1 – пресс для запрессовки подшипников; 2 – рабочее место с установочно-зажимным приспособлением; 3 – место промежуточного контроля; 4 – коробки с передними тормозными механизмами в сборе; 5 – коробки со ступицами; 6 – коробки с поворотными кулаками; 7 – ящик с собранными деталями ступичного узла; ⊗ - звуковая пожарная сигнализация; ⊙ - пожарный инструмент; v – пожарный кран; Δ – огнетушитель

Рисунок 8 – Схема производственного участка.

#### 4.1 Технологический паспорт сборки ступичного узла

Для выявления и разбора опасных факторов, необходимо оформить технологический паспорт ступичного узла в соответствии с существующим технологическим процессом его сборки. Технологический паспорт сборки ступичного узла на участке планируемого производственного участка представлены в таблице 14.



Таблица 14 – Технологический паспорт сборки ступичного узла

| «Технологический процесс»                   | Технологическая операция  | Наименование должности работника | Оборудование, техническое устройство | Материалы, вещества» [3] |
|---|---|----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------|
| Запрессовка ступичного подшипника           | Установка поворотного кулака на оснастку запрессовка и переднего ступичного подшипника в него | Слесарь сборочных работ          | Пресс NORDBERG N3650F, рабочий стол  | Металл                   |
|   | Запрессовка ступичного подшипника с заданным усилием  |                                  |                                      |                          |
| Установка болтов крепления колеса переднего | Установка и запрессовка болтов на посадочные места  | Слесарь сборочных работ          | Пресс NORDBERG N3650F, рабочий стол  | Металл                   |
|   | Затяжка установленных болтов  |                                  | Пневматический гайковёрт             |                          |

#### 4.2 Опасные факторы на сборочном участке

Все рабочие места, независимо от того, с каким видом деятельности они связаны, имеют ряд профессиональных рисков. Это риски, которые могут привести к травмам, заболеваниям или даже смерти, если вовремя не обнаружить и не принять меры к их устранению.

Защита здоровья и безопасности сотрудников сегодня имеет первостепенную задачу для успешного предприятия. Каждый работодатель должен выявлять опасности, связанные рабочим местом работников, оценивать их, расставлять приоритеты и, наконец, внедрять меры безопасности на рабочем месте для предотвращения или смягчения этих

опасностей. Опасные факторы на участке планируемого производственного участка представлены в таблице 15.

Таблица 15 - Опасные факторы на производственном участке

| Наименование опасного фактора  | Виды работ, где имеет место данный фактор                 |
|--|---|
| Напряжение в электрической цепи  | Конвейер и прочие подключенные электроприборы.            |
| Монотонный труд  | Работа на сборочной линии и прочие места на производстве. |
| Высокий уровень шумового загрязнения                                   | Работа на сборочной линии и прочие места на производстве. |
| Острые края на поверхности деталей, заусенцы.                          | Работа на сборочной линии и прочие места на производстве. |
| Подвижные объекты и их органы управления, а также возимые ими предметы | Сборочная линия.  |
| Воздействие химических веществ   | Работы по смазке подшипника.                              |

Выше мы определили возможные опасные факторы, которые встречаются на производственном участке. Далее рассмотрим методы их полного или частичного устранения – таблица 16.

Таблица 16 – Методы устранения опасного фактора на производстве

| «Опасный и / или вредный производственный фактор» | Организационно-технические методы и технические средства защиты, частичного снижения, полного устранения опасного и / или вредного производственного фактора | Средства индивидуальной защиты работника» [3] |
|---|--|---|
| 1   | 2  | 3   |
| Монотонный труд                                   | Регламент времени с перерывами на отдых  |   |

Продолжение таблицы 16

| 1  | 2  | 3                                    |
|--|--|--------------------------------------|
| Напряжение в электрической цепи  | Соблюдение техники безопасности  |                                      |
| Высокий уровень шумового загрязнения                                   | Определить места с повышенным уровнем шума, применить в них индивидуальные средства защиты органов слуха | Наушники                             |
| Острые края на поверхности деталей, заусенцы                           | Соблюдение техники безопасности, использование специальной одежды из плотной ткани                       | Спецодежда                           |
| Подвижные объекты и их органы управления, а также возимые ими предметы | Проведение инструктажа по технике безопасности и соблюдение требований безопасности                      | Каска защитная; рукавицы; спецодежда |
| Воздействие химических веществ   | Использование индивидуальных средств защиты в случае необходимости                                       | Рукавицы                             |

#### 4.3 Пожарная безопасность на участке сборки узла

Производственные мощности по производству и сборке автомобилей сложны и состоят из множества помещений с различным уровнем пожарной опасности, от производственных линий до покрасочных цехов и помещений для хранения легковоспламеняющихся жидкостей, а также офисов и серверных. Крайне важно, чтобы на предприятии по производству автомобилей была установлена надежная и безопасная система пожаротушения, которая быстро срабатывает в случае пожара, создаёт противопожарную защиту для людей и оборудования.

Весь присутствующий персонал должен быть полностью обучен процедурам работы с легковоспламеняющимися материалами, а также информации о правильных действиях в случае получения травмы или пожара в результате неправильного использования.

Обозначьте зоны, используемые для хранения легковоспламеняющихся материалов, как зоны “без искр” или “без воспламенения”, указывая, что

персонал не может использовать этот тип оборудования (или курить) в этих зонах.

Тщательное внимание к деталям жизненно важно в опасных условиях, связанных с автомобильной промышленностью. Это относится как к подходу организации к уборке, техническому обслуживанию и методам работы, так и к поведению персонала, работающего в помещениях. Важно проводить регулярные проверки степени пожарного риска для выявления угроз безопасности, уделяя особое внимание сокращению числа потенциальных пожароопасных ситуаций, которые могут оставаться незамеченными в течение длительного времени.

Работодатель должен регулярно проводить информирование, а также инструктажи работников по пожарной безопасности, для получения качественных знаний и алгоритма действий при пожаре. Обучение пожарной безопасности должно научить работников находить и определять степень опасности пожара, оценить возможные риски и принять меры для предотвращения пожара на рабочем месте, а также незамедлительно реагировать в случае возникновения пожара. Работники должны знать, что делать в случае возникновения пожара и как действовать сообща, чтобы эффективно остановить распространение пожара.

Ряд требований, которые предъявляются к оборудованию на участке по сборке ступичного узла:

- конвейеры должны быть оснащены предохраняющими устройствами;
- в рабочем помещении необходимо оснастить системами подавления;
- пыли, иметь рабочую вентиляцию, экранами тепловой защитой;
- наличие тепловых датчиков с блокировкой механизма в случае воспламенения.

Необходимо предвидеть всевозможные опасные факторы при возникновении пожара – таблица 17.

Таблица 17 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

| «Участок, подразделение» | Оборудование  | Класс пожара | Опасные факторы пожара        | Сопутствующие проявления факторов пожара» [3]   |
|--------------------------|---|--------------|-------------------------------|---|
| Сборочный цех            | Пресс NORDBERG N3650F, рабочий стол, пневматический гайковёрт, конвейер | Класс А      | Пламя и искры, тепловой поток | «Осколки, части разрушившихся зданий, сооружений, транспортных средств, технологических установок, оборудования, агрегатов, изделий и иного имущества» [10] |

В таблицу 18 внесены предусмотренные средства пожаротушения для обеспечения пожарной безопасности.

Таблица 18 – Технические средства обеспечения пожарной безопасности

| «Первичные средства пожаротушения» | Мобильные средства пожаротушения | Стационарные установки системы пожаротушения | Средства пожарной автоматики | Пожарное оборудование | Средства индивидуальной защиты при пожаре | Пожарный инструмент (механизированный и немеханизированный) | Пожарные сигнализация, связь и оповещение» [3] |
|------------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------|-----------------------|---|---|--|
| Пожарный кран, вода, песок,        | Автомобиль для пожаротушения     | Гидрант                                      | Пожарная сигнализация        | Огнетушители          | СИЗ органов дыхания                       | Пожарные топор, лом, лопата, ведро                          | Звуковые системы оповещения                    |

Любая ситуация, в которой используются средства с открытым пламенем, должна контролироваться, чтобы избежать крупного возгорания и печальных последствий - чайники, искры от работы инструментов, обогреватели помещений являются потенциальными источниками возгорания. Некоторые из них, такие как открытое пламя и свечи в закрытых помещениях, требуют дополнительных разрешений. Другие имеют особые требования к соблюдению безопасности - существуют разумные альтернативы устройствам с открытым пламенем или безопасные способы замены

технологии обработки более безопасным, к примеру, электрические тепловые пушки гораздо безопаснее горелок и так далее.

Возможность поджога также следует рассматривать как возможное происшествие на производственном участке. Большинство из преднамеренных пожаров происходит, используя материалы, найденные поблизости, например, различный мусор на рабочих местах или вовремя неубранные изделия и материалы. Превентивные меры безопасности, такие как, защита хранящихся материалов, могут многое сделать для уменьшения риска последствий данной проблемы.

Организационные мероприятия по требованиям пожарной безопасности на участке представлены в таблице 19.

Таблица 19 – Пожарная безопасность на участке планируемого производства

| Наименования процесса   | Реализуемые мероприятия и их виды   | Требования по обеспечению пожарной безопасности   |
|-------------------------|---|---|
| Запрессовка подшипников | Установление противопожарного режима  | Установление допустимого количества одновременно находящихся в помещении работников; обесточивание; действия работников; порядок и время прохождения противопожарного инструктажа |
|                         | Составление списка лиц, которые несут ответственность за пожарную безопасность  | Ведение необходимой документации, выполнение требований по противопожарной безопасности   |
|                         | Мероприятия по технике безопасности во время пожара, а также при его устранении | Необходимый минимум для работников по обеспечению пожарной безопасности, а также знание алгоритма действий при возникновении пожарной ситуации                                    |
|                         | Проверка противопожарного оборудования  | Проверка работоспособности противопожарного оборудования  |

#### 4.4 Экологическая безопасность объекта

«Экологически-безопасные риски – совокупность организационно-технических факторов, связанных исключительно с сопровождающимися негативными загрязнениями окружающей среды» [3] .

Крайне важно распространять информацию об экологических опасностях на производстве среди работников и проживающего в близости населения. Они должны быть осведомлены о долгосрочных пагубных последствиях для окружающей среды, в которой они находятся, и о том, какие меры предосторожности могут быть приняты для смягчения этих последствий. Осознание этого зачастую отсутствует даже у работников отраслей промышленности в странах с развивающейся экономикой. Но безопасность не может ограничиваться только созданием путей осведомления населения – это должно сопровождаться и обучением действия населения и работников предприятия в ходе аварий и прочих нештатных происшествий. Особую роль в этом играют средства индивидуальной защиты.

Экологичность применяемого ступичного узла, места его сборки и эксплуатации, а также в результате его работы, нанесение вреда окружающей среде не происходит. Рабочие места производства и сборки узла оснащены средствами безопасности, призванными предвидеть и предотвращать обстоятельства, которые могут привести к профессиональному травматизму, ухудшению здоровья или неблагоприятному воздействию на окружающую среду. Основным материалом узла – это металл. Утилизация деталей ступичного узла происходит следующим образом: каждая металлическая деталь проходит процесс удаления загрязнений, чтобы удалить все токсичные материалы и отправляется на переплавку. Остальные материалы дробятся и отправляются на дальнейшую переработку и использование в других отраслях промышленности. К примеру, моторное масло улавливает различные опасные загрязнения при использовании в двигателях и трансмиссиях. Эти загрязняющие вещества включают свинец, кадмий, хром, мышьяк, бензол и

другие опасные соединения. Если отработанное моторное масло и содержащиеся в нем загрязняющие вещества утилизируются ненадлежащим образом и попадают в окружающую среду, они могут нанести вред людям, растениям, животным, рыбе и моллюскам.

Идентификация негативных экологических факторов, с которыми сталкиваются в рамках реализации проектной работы, представлены в таблице 20.

Таблица 20 – Идентификация негативных экологических факторов

| Наименование технологического процесса  | Структурные составляющие технического объекта | Негативное экологическое воздействие на атмосферу   | Негативное экологическое воздействие на гидросферу | Негативное экологическое воздействие технического объекта на литосферу |
|---|---|---|--|--|
| Смазка подшипника                       | Подшипник                                     | Пары в ходе работы узла загрязняют атмосферу  | Проникая в водоёмы, загрязняют их                  | Загрязнение литоферы продуктами работы узла                            |
| Запрессовка подшипников ступичного узла | Подшипник, ступица, поворотный кулак          | При утилизации подшипника, с соблюдением всех требований экологической безопасности, негативные воздействия на литосферу, атмосферу, гидросферу и незначительны |  |  |

Для снижения негативного влияния, необходимо разработать и выполнить мероприятия, представленные в таблице 21.

Таблица 21 – Мероприятия для снижения негативного влияния обнаруженных опасных экологических факторов

| Наименование объекта  | Сборочный цех   |
|---|---|
| «Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на атмосферу»     | Применение воздушных фильтров в вентиляционных установках                                     |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на гидросферу      | Очистка используемой технической воды   |
| Мероприятия по снижению негативного антропогенного воздействия на литосферу» [10] | Утилизация отходов производства и мусора в специальные контейнеры для последующей переработки |



## Вывод

В текущем разделе дипломного проекта проведен анализ характеристик сборки ступичного узла. В результате был найден ряд профессиональных рисков, связанных со сборкой данного узла и разработан перечень мероприятия, снижающих данные риски. Для снижения негативного влияния обнаруженных опасных экологических факторов, необходимо разработать и выполнить описанные мероприятия. Выполнен подбор средств защиты для работников, составлен перечень мероприятий по повышению пожарной безопасности, а также выявлены негативные экологические факторы.

По полученным результатам анализа можно судить о том, что принимая во внимания, выявленные выше риски, а также меры по их устранению, возможно безопасное и экологичное применение данного ступичного в конструкции новых автомобилей.

## **5 Экономическая эффективность проекта**

В условиях значительного повышения стоимости автомобилей и нестабильной экономической ситуацией в России, наиболее привлекательными становятся автомобили, которые обладают надежностью и невысокой конечной стоимостью. Поэтому экономическая эффективность дипломного проекта сейчас становится определяющим фактором для внедрения в производство рассматриваемого решения для автомобиля LADA NIVA Travel. В экономике концепция эффективности производства сосредоточена вокруг определения границы производственных возможностей.

Экономическая эффективность - это широкий термин, обычно используемый в микроэкономике для обозначения состояния наилучшего возможного функционирования рынка товаров или услуг. Экономическая эффективность предполагает минимальные затраты на производство товара, производительность и максимальную прибыль от функционирования рынка. Экономисты, как правило, учитывают и другие финансовые факторы, такие как загрузка производственных мощностей и рентабельность, при изучении экономической эффективности. В целом, экономическая эффективность производства относится к уровню максимальной производительности, при котором ресурсы полностью используются для получения максимально экономичного продукта. При максимальной эффективности производства завод не может производить никаких дополнительных единиц без кардинальных изменений в производственном процессе. Компания будет стремиться получить дополнительные производственные мощности за счет сокращения производства другого продукта.

В данном разделе дипломной работы будет рассмотрен анализ варианта модернизации ступичного узла автомобиля LADA NIVA Travel на предмет вероятности внедрения его в массовое производство.

## 5.1 Расчёт себестоимости проектируемого узла

Исходные данные для выполнения расчёта размещены в таблице 22.

Таблица 22 – Исходные данные для выполнения расчёта

| «Наименование                                     | Обозначение         | Ед. изм. | Значение   |
|---|---------------------|----------|------------|
| Годовая программа выпуска изделия                 | $V_{\text{год}}$    | Шт.      | 90000      |
| Коэффициент страховых взносов в ФСС, ПФР, ФОМС    | $E_{\text{соц.н.}}$ | %        | 30         |
| Коэффициент общезаводских расходов                | $E_{\text{обзав}}$  | %        | 195        |
| Коэффициент транспортно-заготовительных расходов  | $E_{\text{тзр.}}$   | %        | 1,44       |
| Коэффициент внепроизводственных расходов          | $E_{\text{ком.}}$   | %        | 0,3        |
| Коэффициент расходов на эксплуатацию и содержание | $E_{\text{обор.}}$  | %        | 195        |
| Коэффициент расходов на оснастку и инструмент     | $E_{\text{инс.}}$   | %        | 3          |
| Коэффициент расходов в цеху                       | $E_{\text{цех.}}$   | %        | 174        |
| Коэффициент выплат не связанных с производством   | $K_{\text{вып.}}$   | %        | 13         |
| Коэффициент рентабельности                        | $K_{\text{рент.}}$  | %        | 28         |
| Коэффициент возвратных отходов                    | $K_{\text{воз.}}$   | %        | 1          |
| Коэффициент премий                                | $K_{\text{прем.}}$  | %        | 12         |
| Часовая тарифная ставка 5-го разряда              | $Ср5$               | руб.     | 100,12     |
| Часовая тарифная ставка 6-го разряда              | $Ср6$               | руб.     | 104,34     |
| Часовая тарифная ставка 7-го разряда              | $Ср7$               | руб.     | 108,66     |
| Коэффициент инвестиций                            | $E_{\text{инв.}}$   | %        | 0,15.» [7] |

Рассчитаем «Сырьё и материалы» по следующей формуле:

$$\sum M = \sum Ц_{m_i} \cdot Q_{m_i} + (E_{\text{тзр.}}/100 - K_{\text{воз.}}/100), \quad (75)$$

где:  $Ц_{m_i}$  – оптовая цена  $i$ го материала в руб. ;

$Q_{m_i}$  – норма расхода  $i$ го материала, кг.

Перечень затрат на материалы и сырьё внесем в таблицу 23.

Таблица 23 – Затраты на материалы и сырьё

| Наименование материалов              | Норма расхода,<br>кг, м <sup>3</sup> | Средняя цена<br>за ед., руб. | Сумма, руб. » [9] |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|-------------------|
| Литьё СЧ-25                          | 1,75                                 | 162,12                       | 283,71            |
| Сталь ШХ-15                          | 1,54                                 | 65,32                        | 100,59            |
| Поковка 20ХГНМ                       | 1,69                                 | 127,12                       | 214,83            |
| Бронза (отходы)                      | 1,2                                  | 5,1                          | 6,12              |
| Сталь 3                              | 1,48                                 | 141,9                        | 210,01            |
| Чёрные металлы                       | 2,9                                  | 7,7                          | 22,33             |
| ИТОГО:                               |                                      | 837,59                       |                   |
| Транспортно-заготовительные расходы: |                                      |                              | 12,06             |
| Возвратные отходы:                   |                                      |                              | 8,38              |
|                                      |                                      | ВСЕГО:                       | 858,03            |

$M = 858,03$  руб.

«Расчет статьи затрат "Покупные изделия" производится по формуле:»[8]

$$\sum P_i = \sum C_i \cdot n_i + K_{зтр}/100), \quad (76)$$

где  $C_i$  – оптовая цена  $i$ го изделия в руб. ;

$n_i$  – количество единиц  $i$ го покупного изделия, шт.

Заработная плата рабочих на производстве соответствует формуле:

$$Z_o = Z_T(1 + K_{прем}/100), \quad (77)$$

где:  $Z_T$  – тарифная заработная плата в руб.

Перечень покупных изделий, используемых на производстве, внесем в таблицу 24.

Таблица 24 – Покупные изделия

| Наименование изделия               | Количество, шт. | Средняя цена за 1 шт, руб. | Сумма, руб.» [9] |
|------------------------------------|-----------------|----------------------------|------------------|
| Подшипник ступицы переднего колеса | 2               | 2340,14                    | 4680,28          |
| Ступица переднего колеса           | 2               | 1440,55                    | 2811,1           |
| Диск переднего тормоза             | 2               | 1520,26                    | 3040,52          |
| Кулак поворотный                   | 2               | 4681,93                    | 9363,86          |
| Кожух защитный                     | 2               | 720,11                     | 1440,22          |
| Болт крепления тормозного диска    | 4               | 44,47                      | 177,88           |
| ИТОГО:                             |                 |                            | 21513,86         |
| $E_{\text{тзр}}$                   |                 | 1,44                       | 309,8            |
| ВСЕГО:                             |                 |                            | 21823,66         |

«Определим тарифную заработная плата по формуле:» [7]

$$Z_{\text{т}} = C_{\text{pi}} \cdot T_i, \quad (78)$$

где:  $C_{\text{pi}}$  – ставка часовая, руб.,

$T_i$  – трудоёмкость операции, час.

$K_{\text{прем}}$  – коэффициент премий, %.

Далее находим дополнительные выплаты персонала согласно формуле:

$$Z_{\text{доп}} = Z_0 \cdot K_{\text{вып}}, \quad (79)$$

где:  $K_{\text{вып}}$  – коэффициент выплат не связанных с производством, %.

$$Z_{\text{доп}} = 696,24 \cdot 0,13 = 90,51 \text{ руб.}$$

Перечень расчёт затрат на выполнение операций, занесем в таблицу 25

Таблица 25 – Расчёт затрат на выполнение операций

| Виды операций                  | Разряд работы | Трудоемкость | Часовая тарифная ставка, руб. | Тарифная зарплата, руб.» [7] |
|--------------------------------|---------------|--------------|-------------------------------|------------------------------|
| Заготовительная                | 5             | 0,61         | 105,32                        | 64,25                        |
| Шлифовальная                   | 5             | 0,48         | 105,32                        | 50,55                        |
| Токарная                       | 6             | 0,59         | 109,64                        | 64,69                        |
| Сборочная                      | 7             | 2,20         | 102,35                        | 225,17                       |
| Контрольная                    | 7             | 1,90         | 114,20                        | 216,98                       |
| ИТОГО:                         |               |              |                               | 621,64                       |
| Премииальные $K_{\text{прем}}$ |               | 12           |                               | 74,6                         |
| Основная з/п                   |               |              |                               | 696,24                       |

Расчёт страховых отчислений в ФСС, ПФР, ФОМС:

$$C_{\text{соц}} = (Z_o + Z_{\text{доп}}) \cdot E_{\text{соц.н.}} / 100 \quad (80)$$

где:  $E_{\text{соц.н.}}$  – коэффициент страховых взносов в ФСС, ПФР, ФОМС, %.

$$C_{\text{соц}} = (696,24 + 90,51) \cdot 0,3 = 236,03 \text{ руб.}$$

«Расчет статьи затрат на содержание и эксплуатацию оборудования производится по формуле:» [7]

$$C_{\text{обор}} = Z_o \cdot E_{\text{обор}} / 100 \quad (81)$$

где:  $E_{\text{обор}}$  – коэффициент затрат на эксплуатацию и содержание, %.

$$C_{\text{обор}} = 696,24 \cdot \frac{195}{100} = 1357,67 \text{ руб.}$$

Расходу в цеху определяют следующим образом:

$$C_{\text{цех}} = Z_o \cdot E_{\text{цех}}/100, \quad (82)$$

где:  $E_{\text{цех}}$  – коэффициент цеховых затрат, %.

$$C_{\text{цех}} = 696,24 \cdot \frac{174}{100} = 1211,46 \text{ руб.}$$

«Затраты на оснастку и инструмент ищут по следующей формуле:» [7]

$$C_{\text{инс}} = Z_o \cdot E_{\text{инс}}/100, \quad (83)$$

где:  $E_{\text{инс}}$  – коэффициент расходов на оборудование, %.

$$C_{\text{инс}} = 696,24 \cdot \frac{3}{100} = 20,89 \text{ руб.}$$

Найдём себестоимость данного цеха:

$$C_{\text{цех.с.с.}} = M + \Pi_{\text{и}} + Z_o + C_{\text{соц}} + Z_{\text{доп}} + C_{\text{обор}} + C_{\text{цех}} + C_{\text{инс}}, \quad (84)$$

где:  $E_{\text{цех}}$  – коэффициент цеховых затрат, %.

$$C_{\text{цех.с.с.}} = 858,03 + 21823,66 + 696,24 + 236,03 + 90,51 + 1357,67 + \\ + 1211,46 + 20,89 = 26294,49 \text{ руб.}$$

Расчёт общезаводских затрат:

$$C_{\text{обзав}} = Z_0 \cdot E_{\text{обзав}}/100, \quad (85)$$

где:  $E_{\text{обзав}}$  – коэффициент общезаводских затрат, %.

$$C_{\text{обзав}} = 696,24 \cdot \frac{195}{100} = 1357,67 \text{ руб.}$$

Расчёт себестоимости общезаводской:

$$C_{\text{об.зав.с.с.}} = C_{\text{обзав}} + C_{\text{цех.с.с.}}, \quad (86)$$

$$C_{\text{об.зав.с.с.}} = 1357,67 + 26294,49 = 27652,16 \text{ руб.}$$

Расходы на коммерцию вычисляют по формуле:

$$C_{\text{ком}} = C_{\text{об.зав.с.с.}} \cdot E_{\text{ком}}/100, \quad (87)$$

где:  $E_{\text{ком}}$  – коэффициент внепроизводственных расходов, %.

$$C_{\text{ком}} = 26294,49 \cdot \frac{0,3}{100} = 78,88 \text{ руб.}$$

Полная себестоимость производства:

$$C_{\text{полн.с.с.}} = C_{\text{об.зав.с.с.}} + C_{\text{ком}}, \quad (88)$$



$$C_{\text{полн.с.с.}} = 27652,16 + 78,88 = 27731,04 \text{ руб.}$$

Отпускная цена изделий – для базового и проектируемого:

$$C_{\text{отп.б.}} = C_{\text{полн.с.с.}} \cdot (1 + K_{\text{рент}}/100), \quad (89)$$

где  $K_{\text{рент}}$  – коэффициент рентабельности, %.

$$C_{\text{отп.б.}} = 27731,04 \cdot (1 + 28/100) = 35495,73 \text{ руб.}$$

В таблице 26 обозначены результаты для сравнения стоимости проектного и базового изделий.

Таблица 26 – Сравнительный анализ себестоимости базового и проектируемого узла

| «Наименование показателей                                | Обозначение              | Затраты на единицу изделия (база) | Затраты на единицу изделия (проект) |
|--|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| Стоимость основных материалов                            | М                        | 912,23                            | 858,03                              |
| Стоимость комплектующих изделий                          | П <sub>и</sub>           | 21823,66                          | 21823,66                            |
| Основная заработная плата производственных рабочих       | З <sub>о</sub>           | 696,24                            | 696,24                              |
| Дополнительная заработная плата производственных рабочих | З <sub>доп</sub>         | 90,51                             | 90,51                               |
| Страховые взносы в ПФРФ, ФССРФ, ФФОМС                    | С <sub>соц</sub>         | 236,03                            | 236,03                              |
| Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования        | С <sub>обор</sub>        | 1357,67                           | 1357,67                             |
| Цеховые расходы  | С <sub>цех</sub>         | 1211,46                           | 1211,46                             |
| Расходы на инструмент и оснастку                         | С <sub>инст</sub>        | 20,89                             | 20,89                               |
| Цеховая себестоимость                                    | С <sub>цех с.с.</sub>    | 26338,54                          | 26294,49                            |
| Общезаводские расходы                                    | С <sub>обзав</sub>       | 1357,67                           | 1357,67                             |
| Общезаводская себестоимость                              | С <sub>об.зав.с.с.</sub> | 27698,47                          | 27652,16                            |
| Коммерческие расходы                                     | С <sub>ком</sub>         | 79,02                             | 78,88                               |
| Полная себестоимость                                     | С <sub>полн.с.с.</sub>   | 27836,54                          | 27731,04                            |
| Расчетная цена   | С <sub>отп.</sub>        | 35495,73                          | 35495,73» [7]                       |

## 5.2 Расчет точки безубыточности

Расчёт переменных затрат:

- единица товара:

$$Z_{\text{перем.уд.б.}} = M + \Pi_{\text{и}} + Z_{\text{о}} + C_{\text{соц}} + Z_{\text{доп}}, \quad (90)$$

$$Z_{\text{перем.уд.пр.}} = M + \Pi_{\text{и}} + Z_{\text{о}} + C_{\text{соц}} + Z_{\text{доп}}. \quad (91)$$

$$Z_{\text{перем.уд.б.}} = 912,23 + 21823,66 + 696,24 + 236,03 + 90,51 = 23758,67 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{перем.уд.пр.}} = 858,03 + 21823,66 + 696,24 + 236,03 + 90,51 = 23704,47 \text{ руб}$$

- на год выпуска:

$$Z_{\text{перем.б.}} = Z_{\text{перем.уд.б.}} \cdot V_{\text{год}}, \quad (92)$$

$$Z_{\text{перем.пр.}} = Z_{\text{перем.уд.пр.}} \cdot V_{\text{год}}, \quad (93)$$

где:  $V_{\text{год}}$  – объём производства, шт.

$$Z_{\text{перем.б.}} = 23758,67 \cdot 90000 = 2138280300 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.пр.}} = 23704,47 \cdot 90000 = 2133402300 \text{ руб.}$$

Постоянные затраты (для базы и проекта):

-на единицу товара:

$$Z_{\text{пост.уд.б.}} = C_{\text{обор}} + C_{\text{инс}} + C_{\text{цех}} + C_{\text{обзав}} + C_{\text{ком}} \quad (94)$$

$$Z_{\text{пост.уд.пр.}} = C_{\text{обор}} + C_{\text{инс}} + C_{\text{цех}} + C_{\text{обзав}} + C_{\text{ком}} \quad (95)$$

$$Z_{\text{пост.уд.б.}} = 1357,67 + 20,89 + 1211,46 + 1357,67 + 79,02 = 4026,71 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{пост.уд.пр.}} = 1357,67 + 20,89 + 1211,46 + 1357,67 + 78,88 = 4026,57 \text{ руб.}$$

-на год:

$$Z_{\text{пост.б.}} = Z_{\text{пост.уд.б.}} \cdot V_{\text{год}}, \quad (96)$$

$$Z_{\text{пост.пр.}} = Z_{\text{пост.уд.пр.}} \cdot V_{\text{год}}. \quad (97)$$

где:  $V_{\text{год}}$  – объём производства, шт.

$$Z_{\text{пост.б.}} = 4026,71 \cdot 90000 = 362403900 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{пост.пр.}} = 4026,57 \cdot 90000 = 362391300 \text{ руб.}$$

Вычисление амортизационных затрат:

$$A_{\text{м.уд.}} = (C_{\text{обор}} + C_{\text{инс}}) \cdot N_A / 100 \quad (98)$$

где:  $N_A = 13\%$  – коэффициент отчислений для амортизации.

$$A_{\text{м.уд.}} = (1357,67 + 20,89) \cdot \frac{13}{100} = 179,21 \text{ руб.}$$

«Полная себестоимость узла по годовой программе выпуска рассчитывается:» [7]

$$C_{\text{полн.год.пр.}} = C_{\text{полн.с.с.}} \cdot V_{\text{год}} \quad (99)$$

$$C_{\text{полн.год.пр.}} = 27731,04 \cdot 90000 = 2495793600 \text{ руб.}$$

«Выручка от реализации узла рассчитывается: :» [7]

$$\text{Выручка} = C_{\text{отп.пр.}} \cdot V_{\text{год}} \quad (100)$$

$$\text{Выручка} = 35495,73 \cdot 90000 = 3194615700 \text{ руб.}$$

«Определим маржинальную прибыль: :» [7]

$$D_{\text{марж}} = \text{Выручка} - Z_{\text{перем.пр.}} \quad (101)$$

$$D_{\text{марж}} = 3194615700 - 2133402300 = 1061213400 \text{ руб.}$$

Вычислим критический объём продаж по формуле:

$$A_{\text{крит.}} = Z_{\text{постпр.}} / (C_{\text{отп.пр.}} - Z_{\text{перем.уд.пр.}}) \quad (102)$$

$$A_{\text{крит.}} = 362391300 / (35495,73 - 23704,47) = 30733,89 \text{ руб.}$$

«График точки безубыточности продаж проектного ступичного узла изображен на рисунке 9. :» [7]

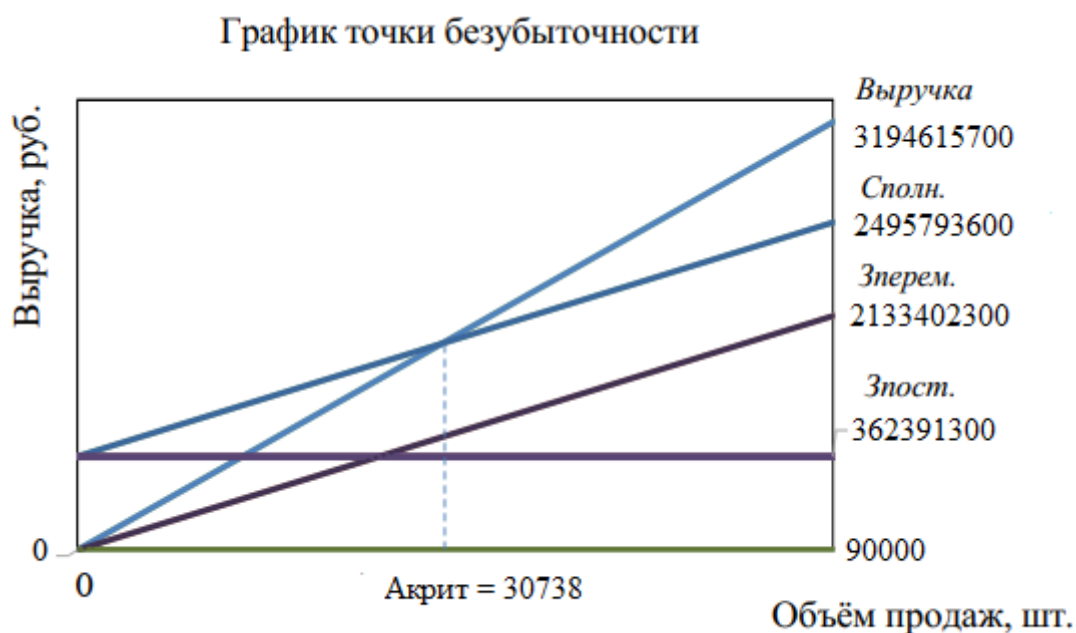


Рисунок 9 – График точки безубыточности

### 5.3 Коммерческая эффективность выполняемого проекта

Эксплуатировать изделие планируется в срок до 5 лет. Вычислим объём увеличивающийся с каждым годом изделий за год:

$$\Delta = (V_{\text{год}} \cdot A_{\text{крит}}) / (n - 1) \quad (103)$$

где:  $n$  – Трудоёмкость операции, час.

$$\Delta = (90000 \cdot 30733,89) / (6 - 1) = 11854 \text{ шт}$$

Объём реализуемых единиц продукции по годам:

$$V_{\text{прод.}i} = A_{\text{крит}} + i \cdot \Delta \quad (104)$$

где:  $V_{\text{прод.}i}$  – объём продаж в  $i$  году, шт.

$$V_{\text{прод.}1} = 30733,89 + 1 \cdot 11854 = 42588 \text{ шт.}$$

$$V_{\text{прод.}2} = 30733,89 + 2 \cdot 11854 = 54442 \text{ шт.}$$

$$V_{\text{прод.}3} = 30733,89 + 3 \cdot 11854 = 66295 \text{ шт.}$$

$$V_{\text{прод.}4} = 30733,89 + 4 \cdot 11854 = 78150 \text{ шт.}$$

$$V_{\text{прод.}5} = 30733,89 + 5 \cdot 11854 = 90000 \text{ шт.}$$

Получаемая выручка предприятия по годам:

$$\text{Выручка}_i = \text{Ц}_{\text{отп.пр.}} \cdot V_{\text{прод.}i} \quad (105)$$

$$\text{Выручка}_1 = 35495,73 \cdot 42588 = 1511692149,24 \text{ руб.}$$

$$\text{Выручка}_2 = 35495,73 \cdot 54442 = 1932458532,66 \text{ руб.}$$

$$\text{Выручка}_3 = 35495,73 \cdot 66295 = 2353189420,35 \text{ руб.}$$

$$\text{Выручка}_4 = 35495,73 \cdot 78150 = 2773991299,50 \text{ руб.}$$

$$\text{Выручка}_5 = 35495,73 \cdot 90000 = 3194615700 \text{ руб.}$$

Расчёт переменных затрат:

– базового узла:

$$Z_{\text{перем.б.}i} = Z_{\text{перем.уд.б.}} \cdot V_{\text{прод.}i}, \quad (106)$$

$$Z_{\text{перем.б.}1} = 23758,67 \cdot 42588 = 1011834237,19 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.б.}2} = 23758,67 \cdot 54442 = 1293469512,14 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.б.}3} = 23758,67 \cdot 66295 = 1575081027,23 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.б.}4} = 23758,67 \cdot 78150 = 1856740060,50 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.б.5}} = 23758,67 \cdot 90000 = 2138280300 \text{ руб.}$$

– проектного узла:

$$Z_{\text{перем.пр.}i} = Z_{\text{перем.уд.пр.}} \cdot V_{\text{прод.}i}, \quad (107)$$

$$Z_{\text{перем.пр.1}} = 23704,47 \cdot 42588 = 1009525968,36 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.пр.2}} = 23704,47 \cdot 54442 = 1290518755,74 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.пр.3}} = 23704,47 \cdot 66295 = 1571487838,65 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.пр.4}} = 23704,47 \cdot 78150 = 1852504330,50 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{перем.пр.5}} = 23704,47 \cdot 90000 = 2133402300 \text{ руб.}$$

Найдём амортизацию для проектного узла:

$$A_{\text{м.}} = A_{\text{м.уд.}} \cdot V_{\text{год}}, \quad (108)$$

$$A_{\text{м.}} = 179,21 \cdot 90000 = 16128900 \text{ руб.}$$



Рассчитаем полную себестоимость по годам:

– для базового узла:

$$C_{\text{полн.б.}i} = Z_{\text{перем.б.}i} + Z_{\text{пост.б.}}, \quad (109)$$

$$C_{\text{полн.б.}1} = 1011834237,19 + 362403900 = 1374238137,19 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.б.}2} = 1293469512,14 + 362403900 = 1655873412,14 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.б.}3} = 1575081027,23 + 362403900 = 1937484927,23 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.б.}4} = 1856740060,50 + 362403900 = 2219143960,5 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.б.}5} = 2138280300 + 362403900 = 2500684200 \text{ руб.}$$

– для проектируемого узла:

$$C_{\text{полн.пр.}i} = Z_{\text{перем.пр.}i} + Z_{\text{пост.пр.}}, \quad (110)$$

$$C_{\text{полн.пр.}1} = 1009525968,36 + 362391300 = 1371917268,36 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.пр.}2} = 1290518755,74 + 362391300 = 1652910055,74 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.пр.}3} = 1571487838,65 + 362391300 = 1933879138,65 \text{ руб.}$$

$$C_{\text{полн.пр.4}} = 1852504330,50 + 362391300 = 2214895630,5 \text{руб.}$$

$$C_{\text{полн.пр.5}} = 2133402300 + 362391300 = 2495793600 \text{руб.}$$

Прибыль, облагаемая налогами, по годам:

$$\text{Пр}_{\text{обл.}i} = (\text{Выручка} - C_{\text{полн.пр.}i}) - (\text{Выручка} - C_{\text{полн.б.}i}), \quad (111)$$

$$\begin{aligned} \text{Пр}_{\text{обл.1}} &= (1511692149,24 - 1371917268,36) - \\ &- (1511692149,24 - 1374238137,19) = 2\,320\,868,83 \text{руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Пр}_{\text{обл.2}} &= (1932458532,66 - 1652910055,74) - \\ &- (1932458532,66 - 1655873412,14) = 2\,963\,356,4 \text{руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Пр}_{\text{обл.3}} &= (2353189420,35 - 1933879138,65) - \\ &- (2353189420,35 - 1937484927,23) = 3\,605\,788,59 \text{руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Пр}_{\text{обл.4}} &= (2773991299,50 - 2214895630,5) - \\ &- (2773991299,50 - 2219143960,5) = 4\,248\,330 \text{руб.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Пр}_{\text{обл.5}} &= (3194615700 - 2495793600) - \\ &- (3194615700 - 2500684200) = 4\,890\,600 \text{руб} \end{aligned}$$

Налог на прибыль составляет 20% на данный момент. Определим налогооблагаемую прибыль на каждый год:

$$H_{\text{пр.}i} = \text{Пр}_{\text{обл.}i} \cdot 0,20, \quad (112)$$

$$H_{\text{пр.}1} = 2\,320\,868,83 \cdot 0,20 = 474\,173,77 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр.}2} = 2\,963\,356,4 \cdot 0,20 = 592\,671,28 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр.}3} = 3\,605\,788,59 \cdot 0,20 = 721\,157,72 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр.}4} = 4\,248\,330 \cdot 0,20 = 849\,666 \text{ руб.}$$

$$H_{\text{пр.}5} = 4\,890\,600 \cdot 0,20 = 978\,120 \text{ руб.}$$

Чистая прибыль:

$$\text{Пр}_{\text{ч.}i} = \text{Пр}_{\text{обл.}i} - H_{\text{пр.}i}, \quad (113)$$

$$\text{Пр}_{\text{ч.}1} = 2\,320\,868,83 - 474\,173,77 = 1\,846\,695,06 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч.}2} = 2\,963\,356,4 - 592\,671,28 = 2\,370\,685,12 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч.}3} = 3\,605\,788,59 - 721\,157,72 = 2\,884\,630,87 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч.}4} = 4\,248\,330 - 849\,666 = 3\,398\,664 \text{ руб.}$$

$$\text{Пр}_{\text{ч.5}} = 4\,890\,600 - 978\,120 = 3\,912\,480.$$

Экономия от возросшей долговечности проектируемого узла:

$$\text{Пр}_{\text{ож.д.}} = \text{Ц}_{\text{отп.}} \cdot \text{Д}_2 / \text{Д}_1 - \text{Ц}_{\text{отп}} \quad (114)$$

где:  $\text{Д}_1$  и  $\text{Д}_2$  - долговечность узлов, циклов.

$$\text{Д}_1 = 90\,000 \text{ циклов}$$

$$\text{Д}_2 = 120\,000 \text{ циклов}$$

$$\text{Пр}_{\text{ож.д.}} = 35\,495,73 \cdot 120\,000 / 90\,000 - 35\,495,73 = 11\,831,91 \text{ руб.}$$

Получается, что чистый доход составит:

$$\text{Ч}_{\text{д.}i} = \text{Пр}_{\text{ч.}i} + \text{А}_{\text{м.}} + \text{Пр}_{\text{ож.д.}} \cdot \text{V}_{\text{прод.}i} \quad (115)$$

$$\text{Ч}_{\text{д.1}} = 184\,6695,06 + 161\,28900 + 11\,831,91 \cdot 42\,588 = 521\,872\,978,14 \text{ руб.}$$

$$\text{Ч}_{\text{д.2}} = 237\,0685,12 + 161\,28900 + 11\,831,91 \cdot 54\,442 = 662\,652\,429,34 \text{ руб.}$$

$$\text{Ч}_{\text{д.3}} = 288\,4630,87 + 161\,28900 + 11\,831,91 \cdot 66\,295 = 803\,410\,004,32 \text{ руб.}$$

$$\text{Ч}_{\text{д.4}} = 339\,8664 + 161\,28900 + 11\,831,91 \cdot 78\,150 = 994\,191\,330,5 \text{ руб.}$$

$$\text{Ч}_{\text{д.5}} = 391\,2480 + 161\,28900 + 11\,831,91 \cdot 90\,000 = 1\,084\,913\,280 \text{ руб.}$$

Найдём дисконтирование денежного потока по формуле:

$$\alpha_{t,i} = 1/(1 + E_{\text{ст},i})^t \quad (116)$$

где:  $E_{\text{ст.}} = 5\%$  – процентная ставка капитала

$t$  – год приведения затрат

$$\alpha_{t1} = 0,952; \alpha_{t2} = 0,907; \alpha_{t3} = 0,864; \alpha_{t4} = 0,823; \alpha_{t5} = 0,783$$

Для оценки эффективности проектного узла для расчетного периода текущий чистый дисконтированный доход:

$$\text{ДСП}_i = \text{Ч}_{\text{д},i} \cdot \alpha_{t,i} \quad (117)$$

$$\text{ДСП}_1 = 521\,872\,978,14 \cdot 0,952 = 496\,823\,075,19 \text{ руб.}$$

$$\text{ДСП}_2 = 662\,652\,429,34 \cdot 0,907 = 601\,025\,753,41 \text{ руб.}$$

$$\text{ДСП}_3 = 803\,410\,004,32 \cdot 0,864 = 694\,146\,243,73 \text{ руб.}$$

$$\text{ДСП}_4 = 994\,191\,330,5 \cdot 0,823 = 818\,219\,465 \text{ руб.}$$

$$\text{ДСП}_5 = 1\,084\,913\,280 \cdot 0,783 = 849\,487\,098,24 \text{ руб.}$$

Суммарный чистый дисконтированный доход:

$$\sum \text{ДСП} = \sum \text{ДСП}_i \quad (118)$$

$$\sum \text{ДСП} = 496823075,19 + 601025753,41 + 1933879138,65 + 818219465 + 849487098,24 = 3\,459\,701\,635,57 \text{ руб.}$$

Необходимость капиталобразующих инвестиций составляет:

$$J_0 = E_{\text{инв}} \cdot \sum C_{\text{полн.пр.}i} \quad (119)$$

где:  $E_{\text{инв}}$  – коэффициент капиталобразующих инвестиций

$$J_0 = 0,15 \cdot \sum (1371917268,36 + 1652910055,74 + 1933879138,65 + 2214895630,5 + 2495793600) = 1\,450\,409\,353,99 \text{ руб.}$$

Рассчитаем чистый дисконтированный доход:

$$\text{ЧДД} = \sum \text{ДСП} - J_0 \quad (120)$$

$$\text{ЧДД} = 3\,459\,701\,635,57 - 1\,450\,409\,353,99 = 2\,009\,292\,281,58 \text{ руб.}$$

Находим индекс доходности:

$$JD = \text{ЧДД}/J_0 \quad (121)$$

$$JD = 2\,009\,292\,281,58 / 1\,450\,409\,353,99 = 1,39$$

Рассчитаем за какой период изделие окупится по формуле:

$$T_{\text{окуп}} = J_0 / \text{ЧДД} \quad (122)$$

$$T_{\text{окуп}} = 1\,450\,409\,353,99 / 2\,009\,292\,281,58 = 0,72$$

Зависимость налогооблагаемой прибыли от объема продаж проектного ступичного узла показан на рисунке 10.

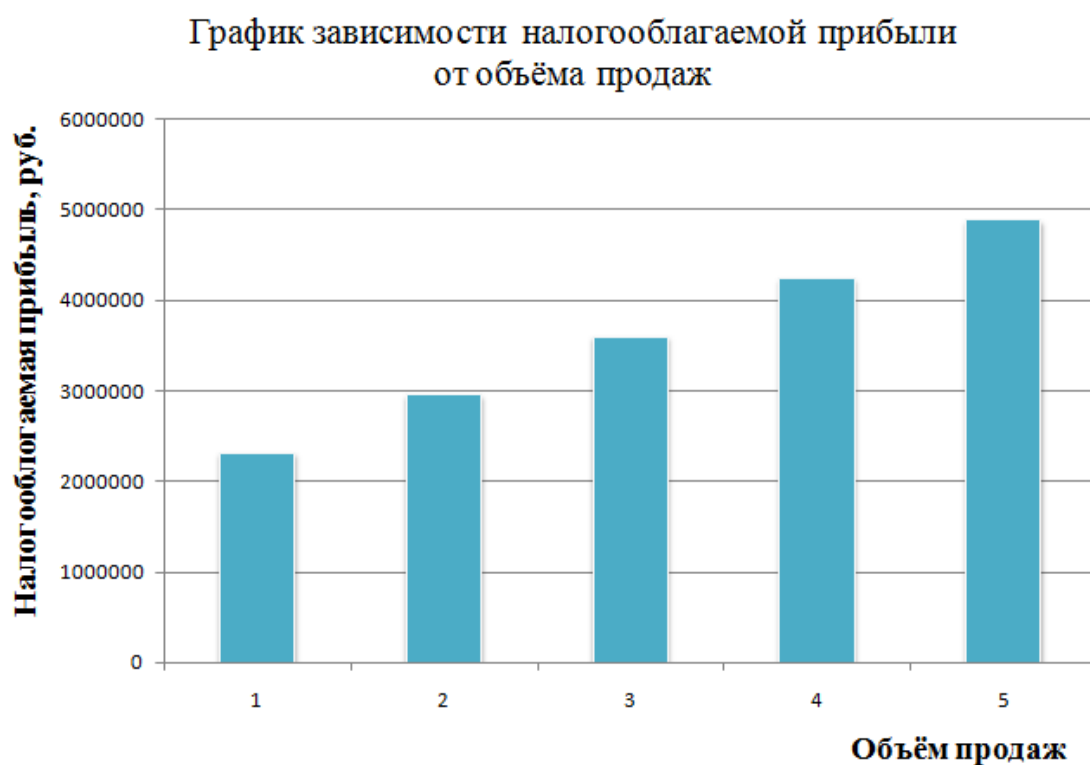


Рисунок 10 – График зависимости налогооблагаемой прибыли от объема продаж

Показатели коммерческой эффективности проекта продемонстрированы в таблице 27.

Таблица 27 – Показатели коммерческой эффективности проекта

| Наименование                                       | Годы    |           |         |         |         |         |
|--|---------|-----------|---------|---------|---------|---------|
|  | 0       | 1         | 2       | 3       | 4       | 5       |
| 1  | 2       | 3         | 4       | 5       | 6       | 7       |
| Объём продаж $V_{\text{прод.}i}$ , шт.             |         | 42588     | 54442   | 66295   | 78150   | 90000   |
| Отпускная цена $C_{\text{отп}}$ , руб.             |         | 35495,73  |         |         |         |         |
| Выручка, тыс. руб.                                 |         | 1511692   | 1932458 | 2353189 | 2773991 | 3194615 |
| Переменные затраты $Z_{\text{пере.б.}}$ , тыс. руб |         | 1011834   | 1293469 | 1575081 | 1856740 | 2138280 |
| $Z_{\text{перем.пр.}}$ , тыс. руб.                 |         | 1009525   | 1290518 | 1571487 | 1852504 | 2133402 |
| Аморт., $A_m$ , руб.                               |         | 16128900  |         |         |         |         |
| Постоянные затраты $Z_{\text{пост.б.}}$ , руб.     |         | 362403900 |         |         |         |         |
| $Z_{\text{пост.н.}}$ , руб.                        |         | 362391300 |         |         |         |         |
| Полн. себестоимость $C_{\text{пол.б.}}$ , тыс. руб |         | 1374238   | 1655873 | 1937484 | 2219143 | 2500684 |
| $C_{\text{пол.н.}}$ , тыс. руб.                    |         | 1371917   | 1652910 | 1933879 | 2214895 | 2495793 |
| Налогооблагаемая прибыль, б, тыс. руб.             |         | 137454    | 276585  | 415704  | 554847  | 693932  |
| Налогооблагаемая прибыль пр, тыс. руб.             |         | 139774    | 279548  | 419310  | 559096  | 698822  |
| Налог на прибыль б., тыс. руб.                     |         | 27491     | 55317   | 83141   | 110969  | 138786  |
| Налог на прибыль, пр., тыс. руб.                   |         | 27955     | 55910   | 83862   | 111819  | 139764  |
| Прибыль чистая, б., тыс. руб.                      |         | 109963    | 223268  | 332563  | 443878  | 555146  |
| Прибыль чистая, пр., тыс. руб.                     |         | 111819    | 223638  | 335448  | 547277  | 559058  |
| Текущий чистый доход, тыс. руб.                    |         | 496823    | 601025  | 694146  | 818219  | 849487  |
| Коэффициент дисконтирования                        |         | 0,952     | 0,907   | 0,864   | 0,823   | 0,783   |
| Капиталообразующ. инвестиции,                      | 1450409 |           |         |         |         |         |
| Чистый дисконтированный доход, тыс. руб.           |         | 2009292   |         |         |         |         |
| Индекс доходности инвестиций $JD$                  |         | 1,39      |         |         |         |         |
| Срок окупаемости проекта, год                      |         | 0,72      |         |         |         |         |



## Вывод

В рамках проекта выполнен анализ экономической эффективности варианта модернизации ступичного узла автомобиля Lada Niva Travel. Конечным итогом данного анализа является положительно возросший показатель  $JD = 1,39$ . Также при выполнении экономического расчёта было установлено то, что стоимость базовой конструкции окажется дороже при внедрении в массовое производство модернизированного узла. При этом долговечность и надёжность у проектного узла превосходит показатели базового решения.

Нельзя не отметить и то, что при внедрении проекта в производство у водителей также отпадёт необходимость постоянной регулировки узла, что, несомненно, повысит покупательную привлекательность автомобиля, упростит его эксплуатацию, повысит комфорт, а в конечном итоге и продажи автомобиля

В ходе проведения анализа экономической эффективности также была найдена прибыль, которая ожидает автопроизводителя при внедрении проекта в производство - чистый дисконтированный доход составит 2 009 292 281,58 рублей, а срок окупаемости данного проекта - 0,72 года. Это говорит о том, что проект обладает минимальными рисками.

По результатам экономического анализа можно сделать вывод о том, что его применение в производстве новых автомобилей Lada Niva Travel будет носить положительный характер.

## Заключение

Сейчас, когда пандемия серьезно сократила поездки не только в России, а по всему миру, в разгар закрытия заводов, резкого падения продаж автомобилей и массовых увольнений, естественно задаваться таким вопросом, как: “что же ждёт нашу автомобильную промышленность?”. За последние несколько месяцев мы стали свидетелями появления первых признаков этого автомобильного будущего, а самые большие изменения в отрасли еще впереди. Однако, преодолевая данный кризис, лидеры автомобильной отрасли могут получить преимущество, переосмыслив свои организационные структуры и операции, и данный проект может отчасти помочь в этом – сделать небольшой шаг в данном направлении.

В рамках дипломного проекта выполнен конструирование и расчёт ступичного узла автомобиля LADA NIVA Travel. Данная конструкция, с одной стороны, обеспечивает высокий уровень эксплуатационных свойств и, одновременно, приводит к уменьшению проблем с обслуживанием, а также снизит производственные затраты и количество компонентов сборки. Проведённый расчёт показал, что подшипник, который применяется в настоящее время в Lada Niva Legend, в автомобиле Lada Niva Travel имеет 90% ресурс свыше 360000 км.

Произведен подбор информации по конструкции отдельных деталей механизма, определены наиболее критические с точки зрения конструкции места. В графической части работы представлен разрабатываемый узел. Выполнена разработка технологического процесса узловой сборки переднего тормоза с поворотным кулаком.

Таким образом, разработанный материал даёт возможность правильно спланировать стоимость трудовых затрат при проектировании ступичного узла автомобиля LADA NIVA Travel, а также контролировать и поддерживать в правильную сборку узла передний тормоз с поворотным кулаком при массовом изготовлении.

## Список используемой литературы и источников

1. Александров, В.А. Автотранспортные средства: Учебное пособие / В.А. Александров, Н.Р. Шоль. - СПб.: Лань П, 2016
2. Галимзянов Р.К. Тяговый расчет автомобиля с механической трансмиссией: Учебное пособие. – Челябинск: изд. ЮУрГУ, 1998 г – 42 с.
3. Горина Л.Н., Фесина М.И.. Раздел выпускной квалификационной работы «Безопасность и экологичность объекта»: электронное учебно-методическое пособие. Тольятти: ТГУ. 2018 г–7 с.
4. Графкина, М. В. Охрана труда. Автомобильный транспорт / М. В. Графкина. — М., 2014. — 175, [1] с.
5. Гришкевич А.И. Автомобили: Теория: Учебник для вузов. – Мн.: Выш.шк., 1986 г – 208 с.
6. Иванов А. М., Солнцев А. Н., Гаевский В. В. «Основы конструкции автомобиля»,. и др. Учебник для ВУЗов. — М.: ООО «За рулём», 2005
7. Капрова, В.Г. Методические указания по технико-экономическому обоснованию дипломного проекта конструкторского и исследовательского направлений для студентов специальности 150100 – “Автомобиле и тракторостроение”. / В.Г.Капрова;. Тольятти: ТГУ. 2003. – 37 с.
8. Клепиков, В.В. Основы технологии машиностроения: Учебник / В.В. Клепиков, А.Г. Схиртладзе, В.Ф. Солдатов. - М.: Инфра-М, 2018. - 218 с.
9. Лаптев Автомобильная энциклопедия / Лаптев, Т.И. и. - М.: Минск: Харвест, 2008. - 784 с.
10. Лата, В.Н. Конструирование и расчет автомобиля. Ходовая часть и системы управления. Курс лекций, 2020.
11. Лата В.Н., Расчет двухрядного радиально-упорного шарикоподшипника передней ступицы переднеприводного автомобиля: Учебное пособие. – Тольятти: 2007г–6 с.
12. Литвинов А.С., Фаробин Я.Е. Автомобиль: Теория эксплуатационных свойств: Учебник для вузов по специальности «

Автомобили и автомобильное хозяйство ». – М.: Машиностроение, 1989 г. – 240 с.

13. Сердюкова А. Ф., Барабанщиков Д. А.. Влияние автотранспорта на окружающую среду: статья – Молодой учёный №25 (211) июнь 2018 г. –31 с.

14. Проскурин А. И. Теория автомобиля [Текст] : примеры и задачи : учеб. пособие для вузов / А. И. Проскурин. - Гриф МО. - Ростов-на-Дону : Феникс, 2006. - 201 с.

15. Черепанов Л.А. Расчет тяговой динамики и топливной экономичности автомобиля. Тольятти: ТолПИ, 2016. – 40с.

16. Aurelio Nervo, Davide Antonio Olivieri, Laura Sguotti. Hub for a motor vehicle wheel. Patent No.: 9.457,619 B2, Oct. 4, 2016. — United States Patent, 2016. –13с.

17. Davide Tavernini, Matteo Massaro. Minimum time cornering: the effect of road surface and car transmission layout: Article / «Vehicle System Dynamics» International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility. Volume 51, 2013. – 124с.

18. Luca Ciulla, William Finetti, Philippe Weber. Sensor-carrier cap for a bearing of a wheel hub / Patent No.: US 8,888,372 B2, Nov. 18, 2014. — United States Patent, 2014. – 5 с.

19. Thomas, D.G. Fundamentals of Vehicle Dynamics [Text] / D.G. Thomas. – Michigan : University of Michigan, 1992. – 151 p.

20. Vince J. Austin, Glenn Kochan, Raymond C. Rapisardi. Method for producing a vehicle hub, bearing and brake disc assembly / Patent No.: US 6,247.219 B1, Jun. 19, 2001 — United States Patent, 2001.– 12 с.

Приложение А  
Спецификации

| Инв. № подл.                  | Изм. | Лист | № докум. | Подп. | Дата | Инв. № | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Справ. № | Перв. примен. | Формат | Зона | Поз. | Обозначение               | Наименование  | Кол. | Примечание |
|-------------------------------|------|------|----------|-------|------|--------|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|--------|------|------|---------------------------|---|------|------------|
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           |   |      |            |
| <i>Документация</i>           |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           |   |      |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               | A1     |      |      | 22.ДП.ПиЭА.139.3501010 СБ | Сборочный чертёж  | 1    |            |
| <i>Сборочные единицы</i>      |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           |   |      |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 1    | 22.ДП.ПиЭА.139.3103020    | Подшипник ступицы переднего колеса в сборе                | 1    |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 2    | 21214-3501013             | Тормоз передний в сборе                                   | 1    |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 3    | 22.ДП.ПиЭА.139.3501144    | Кожух защитный переднего тормоза левый в сборе            | 1    |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 4    | 8450083189                | Кронштейн датчика скорости переднего колеса левый в сборе | 1    |            |
| <i>Детали</i>                 |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           |   |      |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 5    | 22.ДП.ПиЭА.139.3001014    | Кулак поворотный левый                                    | 1    |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 6    | 2123-3001031              | Рычаг поворотный тяги рулевой трапеции левый              | 1    |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 7    | 2121-3001037              | Болт крепления рычага рулевой трапеции                    | 2    |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      | 8    | 2121-3001040              | Пластина стопорная болтов поворотного кулака              | 1    |            |
| <b>22.ДП.ПиЭА.139.3501010</b> |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           |   |      |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           | Лит.  | Лист | Листов     |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           | 1   | 2    | 2          |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           | ТГУ, ИМ,<br>гр. АТС-1701а                                 |      |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           | Копировал   |      |            |
|                               |      |      |          |       |      |        |              |              |              |          |               |        |      |      |                           | Формат А4   |      |            |

Рисунок А.1 – Спецификация тормоза переднего с поворотным кулаком и ступицей в сборе



Продолжение Приложения А

| Формат                 | Знак            | Поз.       | Обозначение               | Наименование   | Кол. | Примечание   | Перв. примен. |      |        |
|------------------------|-----------------|------------|---------------------------|--|------|--|---------------|------|--------|
|                        |                 |            |                           |  |      |  | Инд. №        | Дата |        |
|                        |                 |            |                           | <u>Документация</u>  |      |  |               |      |        |
| A1                     |                 |            | 22.ДП.ПуЭА.139.2901016 СБ | Сборочный чертёж   | 1    |  |               |      |        |
|                        |                 |            |                           | <u>Сборочные единицы</u>   |      |  |               |      |        |
|                        |                 | 1          | 21217-2300010             | Мост передний с карданном валами и приводом передних колёс в сборе | 1    |  |               |      |        |
|                        |                 | 2          | 21214-2901021             | Рычаги передней подвески с тормозом в сборе левые                  | 1    |  |               |      |        |
|                        |                 | 3          | 21217-2904200             | Поперечина передней подвески с кронштейнами в сборе                | 1    |  |               |      |        |
|                        |                 |            |                           | <u>Детали</u>  |      |  |               |      |        |
|                        |                 | 4          | 21214-2904032             | Ось нижнего рычага передней подвески                               | 2    |  |               |      |        |
|                        |                 | 5          | 21214-2904035             | Шайба упорная втулки нижнего рычага передней подвески              | 8    |  |               |      |        |
|                        |                 | 6          | 21214-2904036             | Шайба регулировочная крепления нижнего рычага передненй            | 16   |  |               |      |        |
| 22.ДП.ПуЭА.139.2901016 |                 |            |                           |  |      |  |               |      |        |
| Инд. № подл.           | Изм.            | Лист       | № докум.                  | Подп.  | Дата | Поперечина передней подвески с рычагами, тормозами и передним мостом в сборе | Лист          | Лист | Листов |
|                        | Разраб.         | Белов В.С. |                           |  |      |  |               | 1    | 2      |
|                        | Пров.           | Лата В.Н.  |                           |  |      |  |               |      |        |
|                        | Руковод.        | Лата В.Н.  |                           |  |      |  |               |      |        |
|                        | Н.контр.        | Лата В.Н.  |                           |  |      |  |               |      |        |
| Утв.                   | Бодровский А.В. |            |                           |  |      |  |               |      |        |
| Копировал              |                 |            |                           |  |      |  | Формат А4     |      |        |

Рисунок А.3 – Спецификация поперечины передней подвески с рычагами, тормозами и передним мостом в сборе 21214





Продолжение Приложения А

| Формат                        | Зона            | Поз.     | Обозначение               | Наименование  | Кол.   | Примечание |        |
|-------------------------------|-----------------|----------|---------------------------|---|--|------------|--------|
|                               |                 |          |                           |   |  |            |        |
| <i>Документация</i>           |                 |          |                           |   |  |            |        |
| A1                            |                 |          | 22.ДП.ПчЭА.139.2901016 СБ | Сборочный чертёж  | 1  |            |        |
| <i>Сборочные единицы</i>      |                 |          |                           |   |  |            |        |
|                               | 1               |          | 21217-2300010             | Мост передний с карданом валами и приводом передних колёс в сборе | 1  |            |        |
|                               | 2               |          | 21214-2901021             | Рычаги передней подвески в сборе левые                            | 1  |            |        |
|                               | 3               |          | 21217-2904200             | Поперечина передней подвески с кронштейнами в сборе               | 1  |            |        |
|                               | 4               |          | 22.ДП.ПчЭА.139.3103020    | Подшипник ступицы переднего колеса в сборе                        | 2  |            |        |
| <i>Детали</i>                 |                 |          |                           |   |  |            |        |
|                               | 5               |          | 22.ДП.ПчЭА.139.3001014    | Кулак поворотный левый  | 1  |            |        |
|                               | 6               |          | 22.ДП.ПчЭА.139.3501070    | Диск переднего тормоза  | 2  |            |        |
|                               | 7               |          | 22.ДП.ПчЭА.139.3103015    | Ступица переднего колеса  | 16   |            |        |
|                               | 8               |          | 2121-404412               | Гайка М18х1,5 ступицы   | 2  |            |        |
|                               | 9               |          | 22.ДП.ПчЭА.139.3501144    | Кожух защитный переднего  | 2  |            |        |
| <b>22.ДП.ПчЭА.139.2901016</b> |                 |          |                           |   |  |            |        |
| Изм.                          | Лист            | № докум. | Подп.                     | Дата  | Поперечина передней подвески с рычагами, тормозами и передним мостом в сборе |            |        |
| Разраб.                       | Белов В.С.      |          |                           |   |  |            |        |
| Проб.                         | Лата В.Н.       |          |                           |   |  |            |        |
| Руковод.                      | Лата В.Н.       |          |                           |   |  |            |        |
| Н.контр.                      | Лата В.Н.       |          |                           |   |  |            |        |
| Утв.                          | Бобровский А.В. |          |                           |   | Лит.   | Лист       | Листов |
|                               |                 |          |                           |   |  | 1          | 2      |
|                               |                 |          |                           |   | ТГУ, ИМ,<br>гр. АТс-1701а  |            |        |
| <i>Копировал</i>              |                 |          |                           |   | <i>Формат А4</i>   |            |        |

Рисунок А.5 – Спецификация поперечины передней подвески с рычагами, тормозами и передним мостом в сборе

