

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)

на тему Улучшение эксплуатационных характеристик КамАЗ-4326 путем
модернизации раздаточной коробки

Обучающийся

Н.С. Калишкин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Консультанты

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

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

доцент И.В. Дерябин

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

канд. экон. наук, доцент О.М. Сярдова

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

О.А. Головач

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

Тольятти 2022

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Улучшение эксплуатационных характеристик КамАЗ-4326 путем модернизации раздаточной коробки».

Цель дипломного проекта – модернизация раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик.

Пояснительная записка содержит шесть разделов, введение и заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложения, всего 119 страниц с приложениями.

Графическая часть содержит 10 листов формата А1, выполненных в автоматизированной системе разработки и оформления конструкторской и проектной документации КОМПАС-График. Выполненный дипломный проект полностью соответствует утвержденному заданию.

В первом разделе рассмотрен принцип работы и некоторые конструктивные особенности раздаточных коробок, изучена их классификация.

Во втором разделе проведен тягово-динамический расчет автомобиля КамАЗ 4326.

В третьем разделе проведен обзор и анализ исходных данных и существующих решений, выполнено описание принципа работы проектируемой раздаточной коробки, сделаны расчеты зубчатых колес, валов, подшипников, шлицевых соединений, межосевого дифференциала.

В четвертом разделе выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326.

В пятом разделе рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта.

В шестом разделе определена эффективность модернизации раздаточной коробки КамАЗ-4326 с экономической стороны.

Abstract

The topic of the given graduation work is: «Improving the performance characteristics of the «KamAZ-4326» vehicle by upgrading the transfer case».

The aim of the project is to modernize the transfer case of the «KamAZ-4326» vehicle in order to improve the performance characteristics.

The graduation work may be divided into several logically connected parts: introduction, 6 main chapters, which discuss the various of existing transfer cases, describe the development of a modernized transfer case for the «KamAZ 4326» vehicle, calculate its main characteristics and determine the economic efficiency of the project; and the conclusion about the work done.

We first study the principle of operation and some design features of transfer cases are considered, their classification. Next we calculate the vehicle traction-dynamic properties of the «KamAZ-4326» vehicle.

The main part of the project gives details about the existing solutions in the topic under study. We describe operating principle of the designed transfer case, and calculate the technical characteristics of gears, shafts, bearings, splined joints, center differential. Also, the technological process of assembling the modernized transfer case of the «KamAZ-4326» vehicle is developed.

The safety and environmental issues have an important role in the graduation project. We investigate the compliance of the upgraded transfer case with accepted standards.

We also report the results of the economic efficiency calculation of the upgrading the transfer case of the «KamAZ-4326» vehicle.

In conclusion we'd like to point out that the proposed modernization of the transfer case can be widely used, because on a road with good coverage the driver will be able to turn off the front axle of the «KamAZ» vehicle, which will reduce a fuel consumption by up to 10%.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	7
1.1 Принцип работы и некоторые конструктивные особенности.....	8
1.2 Классификация раздаточных коробок	9
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	13
3 Конструкторская часть	26
3.1 Обзор и анализ исходных данных и существующих решений	26
3.2 Обоснование и выбор принципиальных решений.....	32
3.3 Описание принципа работы проектируемой раздаточной коробки	33
3.4 Расчет зубчатых колес	34
3.5 Расчет валов	47
3.6 Расчет подшипников.....	55
3.7 Расчет шлицевых соединений.....	57
3.8 Расчет межосевого дифференциала	63
4 Технологический раздел.....	69
4.1 Обоснование выбора технологического процесса.....	69
4.2 Определение трудоемкости сборки.....	74
4.3 Составление технологического процесса сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326	75
5 Безопасность и экологичность технического объекта	86
5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ	86
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	87
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	88
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	94

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ.....	96
6 Экономическая эффективность проекта.....	99
Заключение	107
Список используемой литературы и используемых источников.....	108
Приложение А. Спецификации.....	115

Введение

«В настоящее время расширяется сеть автомобильных грузовых и пассажирских транспортных перевозок, осуществляемых как в рамках единой транспортной системы страны, так и в пределах региональных, ведомственных и производственных транспортных структур. Наиболее рациональным решением проблемы повышения эффективности автомобильного транспорта является совершенствование конструкций автомобильного транспорта и созданием специализированного подвижного состава. Как в первом, так и во втором случае стремятся обеспечить максимальное соответствие конструкций автомобилей условиям эксплуатации и требованиям, вытекающим из их конкретного назначения» [5].

«В нашей стране необходимы полноприводные грузовики, для доставки грузов по дорогам всех категорий, в труднодоступные районы. Для повышения проходимости в автомобилях после коробки передач дополнительно устанавливаются раздаточные коробки передач. Раздаточная коробка передает крутящий момент к переднему и заднему ведущим мостам. Задачей дипломного проекта является модернизация раздаточной коробки. В проекте разработано устройство для включения и выключения переднего моста, а также дифференциал с блокировкой. Если автомобиль работает без нагрузок и передвигается в основном по дорогам с асфальтобетонным покрытием, то передний мост включать нежелательно, так как при этом повышается расход топлива и увеличивается износ агрегатов трансмиссии. В раздаточной коробке имеется дополнительная понижающая передача, позволяющая значительно увеличить крутящий момент на колесах автомобиля. Это необходимо при движении автомобиля в трудных дорожных условиях» [6].

1 Состояние вопроса

«Множество автомобилей выпускается с так называемым полным приводом, где крутящий момент передается на все оси, как заднюю, так и переднюю. Это существенно повышает проходимость автомобиля, позволяя машине преодолевать достаточно серьезное бездорожье, а также повышает устойчивость авто в движении при разных дорожных условиях. И все это благодаря наличию в трансмиссии дополнительного элемента – раздаточной коробки. Без этого узла ни обходится ни один полноприводный автомобиль.

Основная задача раздаточной коробки – отобрать часть крутящего момента, который идет от вторичного вала КПП и передать его на приводной вал переднего моста. При этом на заднюю ось вращение идет постоянно. Но это классическая схема, в которой основным ведущим мостом является задний. В целом существуют различные типы раздаточных коробок по положению переключения ведущих мостов, об этом ниже.

Устройство раздаточной коробки самой простой конструкции включает в себя всего несколько составных элементов:

- ведущий вал (им выступает вторичный вал КПП),
- ведомый (по нему вращение передается на задний мост),
- промежуточный вал,
- вал привода передней оси,
- механизм управления (присутствует не всегда),
- корпус» [9].

Между собой в простой коробке взаимодействие валов происходит благодаря шестерням.

Позже в конструкцию добавили еще один элемент – дифференциал, который получил название межосевого (он же – межмостовой).

Отметим, что это только одна из видов конструкций раздаточной коробки, на автомобилях применяются разные типы раздаточных коробок по

конструкции, поэтому есть даже небольшая классификация их по ряду характеристик.

1.1 Принцип работы и некоторые конструктивные особенности

«Принцип работы раздаточной коробки описанной выше конструкции достаточно прост. Вращение поступает от КПП на ведущий вал и передается шестернями на промежуточный. Одна из шестерен промежуточного вала имеет постоянное зацепление с шестеренкой ведомого вала, поэтому вращение сразу же передается на заднюю ось.

На промежуточном валу также имеется еще одна шестеренка – подвижная, которая при надобности вводится в зацепление с шестерней, установленной на валу привода переднего моста. Перемещение ее осуществляется посредством механизма управления.

То есть, в авто одна ось является ведущей постоянно, вторая же – подключается при надобности. Водителю всего лишь необходимо задействовать механизм управления для ввода в зацепление шестерни, чтобы вращение стало дополнительно передаваться и на передний мост.

В целом, этот принцип работы используется во всех типах раздаточной коробки, но вот конструктивное исполнение их может быть самым разным.

Описанная схема – самая простая, в ней немало недостатков. Одним из них является наличие паразитного момента скручивания, который приводит к значительным нагрузкам на раздатку и сложности ее управления. Поэтому в конструкцию и добавили дифференциал» [15].

«В задачу дифференциала входит распределение крутящего момента между осями в определенном соотношении. То есть, при одном из отключенных мостов, на второй подается весь момент. Но как только задействуется второй мост, происходит распределение (соотношение обычно составляет 50/50 или 40/60).

Одним из недостатков межосевого дифференциала планетарного типа (самого распространенного) при включенных двух мостах является то, что в случае потери сопротивления колес на одной из осей (к примеру, она вывешена), автомобиль останавливается. Для устранения этого недостатка в конструкцию раздаточной коробки может входить также и блокировка дифференциала.

Также некоторые производители вместо шестеренчатой передачи на передний мост, используют цепь» [5].

1.2 Классификация раздаточных коробок

«В целом, конструктивных исполнений раздаточных коробок – множество, поэтому и используется классификация их. Она разделяет все существующие виды раздаточных коробок по таким критериям как:

- способ распределения мощности,
- число передач,
- тип механизма управления,
- расположение валов.

Распределение мощности.

Способ распределения мощности – один из основных критериев, по которым разделяются раздаточной коробки. Он характеризует, как именно осуществляется передача вращения между осями.

По этой классификации коробки делятся на обеспечивающие (рисунок 1):

- постоянный привод на обе оси без возможности отключения какого-либо мостов;
- возможность отключения переднего или заднего моста (он в этой компоновке трансмиссии является вспомогательным);

- «равноправное» отключение. Такая раздаточная коробка позволяет отключать любой из мостов (позволяет на авто сделать любой тип привода – передний, задний, полный)» [12].

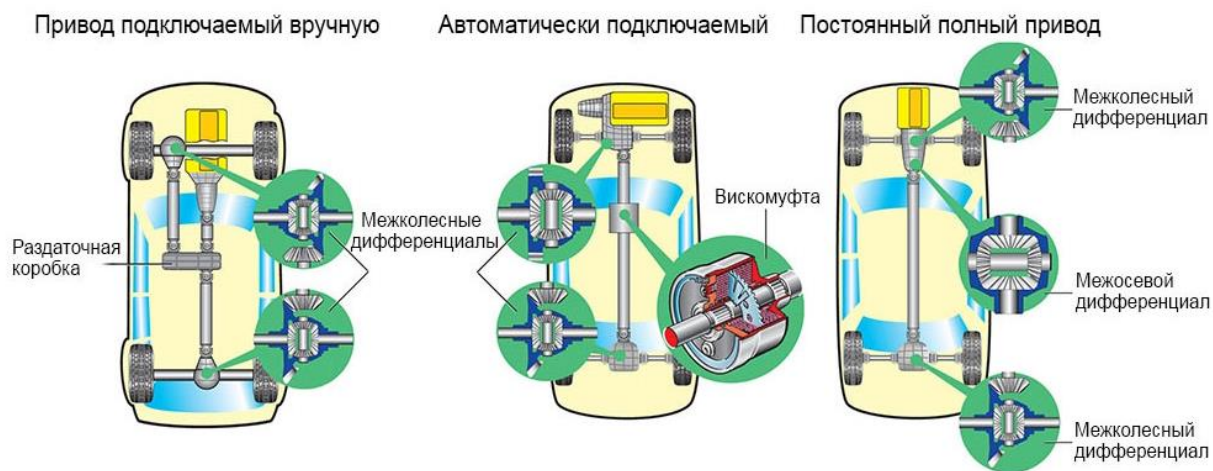


Рисунок 1 – Схема видов полного привода

«Трансмиссия с постоянным приводом используется как на легковых авто, так и некоторых внедорожниках. В раздаточной коробке таких трансмиссий отсутствует механизм управления, и ведущими являются постоянно все колеса.

Отметим, что в современных конструкциях раздаточных коробок полноприводных трансмиссий дифференциал не используется, вместо него устанавливаются разного рода муфты (электромеханические, фрикционные, магнитные). Их особенность заключается в том, что они могут обеспечивать меняющееся соотношение распределения вращения. Управление этими муфтами осуществляется электроникой, что позволяет системе привода быстро реагировать на дорожные условия и направлять больший момент на требуемую ось» [12].

«Раздаточные коробки с отключаемым одним из мостов – самая распространенная компоновка для кроссоверов. Ее особенность заключается в том, что водитель самостоятельно решает, когда нужен полный привод. В такой конструкции также нередко используются муфты в качестве

межосевого дифференциала. Управление коробкой может быть, как полностью механическим, так и электроприводным.

Равноправное отключение мостов встречается нечасто. Обусловлено это более сложной конструкцией самой коробки» [16].

«Количество ступеней.

По количеству передач существующие типы коробок передач делятся на одно-, двух- и трехступенчатые. На легковых автомобилях и кроссоверах обычно используется одноступенчатая передача. Это означает, что передаточное число раздаточной коробки равно 1, то есть она его не изменяет и на колеса передается тот момент, который задан КПП.

На внедорожниках же часто встречается двухступенчатая раздаточная коробка. В ней имеется две передачи, у которых передаточное число равно 1 и 2. Нередко такую коробку еще называют «раздаточной коробкой с делителем». Наличие двух передач позволяет при надобности на этом узле изменить передаточное число, повысив тяговое усилие на колесах. Но при этом автомобиль движется вдвое медленнее. В обычной коробке это делается всего лишь наличием дополнительной пары шестерен.

Трехступенчатые раздаточные коробки на автотранспорте обычно не встречаются, их используют на спец. технике» [3].

«Механизм управления.

Что касается типа механизма управления, то он бывает ручным, полуавтоматическим и полностью автоматическим. Первый вариант – самый надежный, поскольку в конструкции отсутствует какая-либо электроника. В такой раздаточной коробке водитель самостоятельно, при помощи системы рычагов вводит в зацепление шестерни, включая дополнительный мост.

В полуавтоматическом механизме задействование дополнительного моста осуществляется механизмом управления с электронным приводом. То есть, включение и выключение дополнительного моста проходит без участия водителя. Но такая система управления позволяет и самому водителю включать полный привод.

Ручной и полуавтоматический механизм управления раздаточной коробкой.

Автоматическое же управление подразумевает, что работу раздаточной коробки полностью контролирует электроника. Она на основе показаний датчиков определяет момент, когда нужен полный привод и задействует его» [19].

«Положение валов.

Последний критерий, по которым делятся раздаточные коробки – положение валов. Оно бывает соосным и несоосным. Первый вариант указывает на то, что ведомый и вал привода переднего моста расположены на одной оси. Ведущий же вал располагается параллельно им.

В несоосной конструкции на одной оси располагаются ведущий и ведомый валы, а вал переднего моста установлен параллельно» [11].

Выводы по разделу:

В разделе «Состояние вопроса» рассмотрен принцип работы и некоторые конструктивные особенности раздаточных коробок, изучена их классификация.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Внешний вид автомобиля КамАЗ 4326 представлен на рисунке 2.

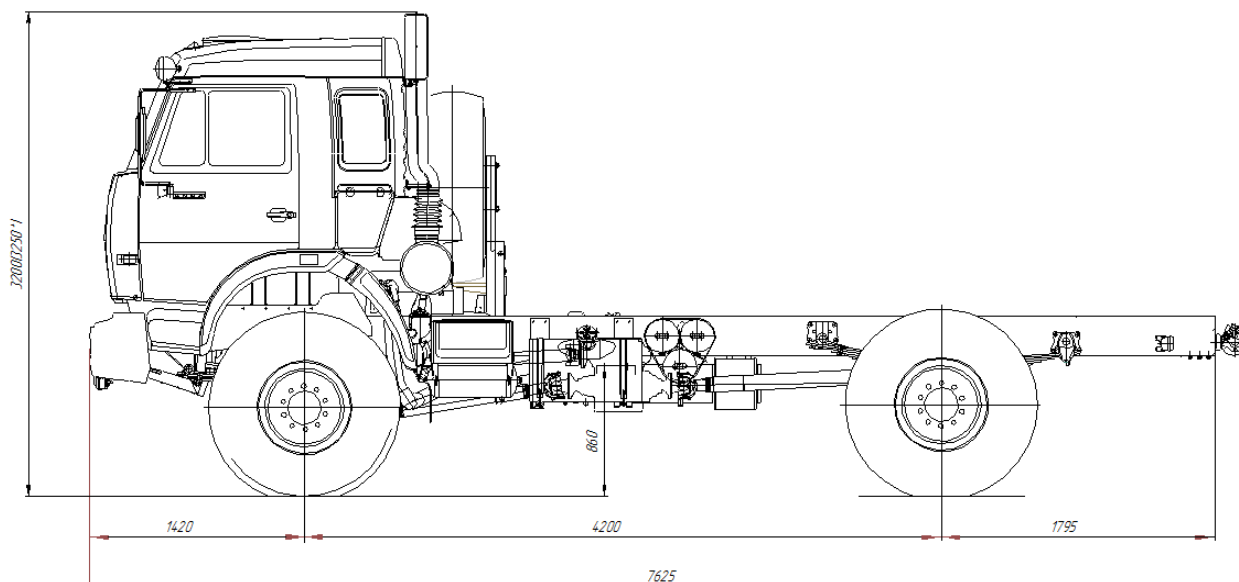


Рисунок 2 – Внешний вид автомобиля КамАЗ 4326

Техническая характеристика автомобиля:

Грузоподъёмность, кг.....4000.

Максимальная нагрузка, кг:

– на переднюю ось.....5300;

– на заднюю ось.....7400.

Габаритные размеры, мм:

– длина.....7625;

– ширина.....2900;

– высота.....3200;

– база автомобиля.....4200;

– колея передних колёс2050;

– колея задних колёс.....2050;

Двигатель

– тип..... четырехтактный, дизельный;

- расположение и число цилиндров V-образное, 8;
- диаметр цилиндра/ход поршня, мм..... 120/120;
- рабочий объём цилиндров, л.....10,85;
- номинальная мощность, кВт.....165;
- максимальный крутящий момент (при 1100-1500об/мин), Н·м.....760.

Передаточные числа в КПП:

- 1 передача.....7,82;
- 2 передача.....4,03;
- 3 передача.....2,5;
- 4 передача.....1,53;
- 5 передача.....1;
- з.х.7,38;
- передаточное число главной передачи.....6,53.

Передаточные числа раздаточной коробки:

- пониженная передача.....1,9;
- повышенная передача0,93.

Сцепление: сухое, однодисковое, с центральной нажимной пружиной диафрагменного типа.

Привод выключения сцепления: пневмогидравлический.

Коробка передач: механическая, пятиступенчатая, с синхронизаторами инерционного типа;

Раздаточная коробка: механическая, двухступенчатая, для включения переднего моста и блокировки дифференциала используются электропневматические клапаны;

Карданная передача: открытого типа, состоит из трёх валов (основного между коробкой передач и раздаточной коробкой, привода заднего моста между раздаточной коробкой и главной передачей заднего моста, привода переднего моста между раздаточной коробкой и главной передачей переднего моста). Карданные шарниры на игольчатых подшипниках;

Тип мостов: задний – ведущий, передний мост – управляемый и ведущий;

Главные передачи: одноступенчатые, состоящие из пары конических шестерён со спиральными зубьями.

Дифференциал мостов: конический, симметричный.

Выполним тяговый расчет АТС.

Расчет потребной мощности двигателя

«Потребная мощность рассчитывается по формуле:

$$N_e = \frac{P_k \cdot v_{max} \cdot 10^{-3}}{\eta_{mp}}, \quad (1)$$

где P_k – касательная сила тяги на движителе, необходимая для преодоления суммарной силы сопротивления движению, Н;

v_{max} – максимальная скорость движения АТС, м/с;

η_{mp} – КПД трансмиссии» [28].

«Касательная сила тяги определяется по выражению:

$$P_k = (G + Q) \cdot (f \cos \alpha + \sin \alpha) + k \cdot F \cdot v^2, \quad (2)$$

где G – собственный вес автомобиля;

Q – вес пассажиров и груза;

f – коэффициент сопротивления качению автомобиля;

η_{mp} – КПД трансмиссии, с отключенным передним мостом равен 0,834, для полного привода 0,8

α – уклон дороги, град.;

k – коэффициент обтекаемости;

F – лобовая площадь автомобиля» [28].

«Сила сцепления колеса с грунтом определяется по выражению:

$$P_{\varphi} = G_{cy} \cdot \varphi, \text{ Н}, \quad (3)$$

где G_{cy} – сцепной вес автомобиля;

φ – коэффициент сцепления движителя с грунтом.

Необходимо соблюдение условия $P_k < P_{\varphi}$.

Ведется для следующих скоростей движения:

- минимальная скорость с максимальной нагрузкой при худших дорожных условиях равна 5 км/ч или 1,4 м/с, коэффициент сопротивления качению автомобиля – 0,2, коэффициент сцепления движителя с грунтом – 0,3, а угол уклона дороги – 0 град.;
- рабочая скорость с грузом при хороших дорожных условиях равна 50 км/ч или 13,9 м/с, коэффициент сопротивления качению автомобиля – 0,02, коэффициент сцепления движителя с грунтом – 0,7, а угол уклона дороги – 3 град.;
- максимальная скорость с грузом при хороших дорожных условиях равна 90 км/ч или 25 м/с, коэффициент сопротивления качению автомобиля – 0,015, коэффициент сцепления движителя с грунтом – 0,7, а угол уклона дороги – 0 град.» [28].

При минимальной скорости с максимальной нагрузкой при худших дорожных условиях:

$$P_k = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,2 + 0,61 \cdot 5,5 \cdot 1,4^2 = 25406,6 \text{ Н},$$

$$N_e = \frac{25406,6 \cdot 1,4}{0,80} = 44,5 \text{ кВт},$$

$$P_{\varphi} = G_{cy} \cdot \varphi = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,3 = 38100 \text{ Н}.$$

При рабочей скорости с грузом при хороших дорожных условиях:

$$P_k = 127 \cdot 10^3 \cdot (0,02 \cdot \cos 3^\circ + \sin 3^\circ) + 0,61 \cdot 5,5 \cdot 13,9^2 = 9828,0 \text{ Н},$$

$$F = \alpha_n \cdot B \cdot H = 0,8 \cdot 2,9 \cdot 3,1 = 5,5 \text{ м}^2,$$

$$\kappa = 0,61;$$

$$N_e = \frac{9828,0 \cdot 13,9}{0,80} = 170,8 \text{ кВт},$$

$$P_\varphi = G_{cy} \cdot \varphi = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 88900 \text{ Н}.$$

При максимальной скорости с грузом при хороших дорожных условиях.

$$P_k = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,015 + 0,61 \cdot 5,5 \cdot 25^2 = 4001,9 \text{ Н},$$

$$N_e = \frac{4001,9 \cdot 25 \cdot}{0,80} = 125,1 \text{ кВт},$$

$$P_\varphi = G_{cy} \cdot \varphi = 127 \cdot 10^3 \cdot 0,7 = 88900 \text{ Н}.$$

По рассчитанному максимальному значению мощности выбран двигатель КамАЗ-740.31-240.

Техническая характеристика:

- дизельный, V-образный, 8 -цилиндровый;
- максимальная мощность 165 кВт (400 л.с.);
- максимальный крутящий момент 760 Н·м при 1100 - 1500 мин⁻¹;
- рабочий объём цилиндров 10,5 л.

Скоростная характеристика поршневого двигателя внутреннего сгорания отображает взаимосвязь таких его важнейших выходных параметров как частота вращения n_e коленчатого вала двигателя, мощность N_e , крутящий момент M_e , удельный расход топлива g_e и часовой расход топлива G_T .

Данный двигатель серийно устанавливался на автомобили Камаз 4326 заводом изготовителем. Для построения внешней скоростной характеристики воспользуемся следующими формулами:

Мощность двигателя, кВт:

$$N_e = N_e \cdot \left[a \cdot \left(\frac{n_{ei}}{n_{en}} \right) + b \cdot \left(\frac{n_{ei}}{n_{en}} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{n_{ei}}{n_{en}} \right)^3 \right], \quad (4)$$

где N_e – номинальная мощность двигателя;

n_{ei} – текущее значение числа оборотов коленчатого вала;

n_{en} – число оборотов коленчатого вала при номинальной мощности;

$a=0,5$, $b=1,5$, $c=0$.

Крутящий момент двигателя (Н·м):

$$M_e = 9546 \frac{N_e}{n_e}. \quad (5)$$

Удельный расход топлива (г/кВт·ч):

$$g_e = g_{e \max} \left(A_0 - B_0 \frac{n_e}{n_{eN}} + C_0 \frac{n_e^2}{n_{eN}^2} \right), \quad (6)$$

где $A_0=1,55$;

$B_0=1,55$;

$C_0=1$.

$g_{e \max}$ – средний удельный расход топлива, $g_{e \max} = 175$ г/кВт·ч.;

Часовой расход топлива (кг/ч):

$$G_T = \frac{(g_e \cdot N_e)}{1000}. \quad (7)$$

Пример расчета при $n_e = 600 \frac{\text{об}}{\text{мин}}$:

$$N_{ei} = 165 \cdot \left[0,5 \cdot \left(\frac{600}{2200} \right) + 1,5 \cdot \left(\frac{600}{2200} \right)^2 - \left(\frac{600}{2200} \right)^3 \right] = 37,56 \text{ кВт},$$

$$M_e = 9546 \cdot \frac{37,56}{600} = 597,58 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$g_e = 175 \cdot \left(1,55 - 1,55 \cdot \frac{600}{2200} + \frac{600^2}{2200^2} \right) = 210,29 \frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

$$G_T = \frac{37,56 \cdot 210,29}{1000} = 7,90 \frac{\text{кг}}{\text{ч}}.$$

Подставляя значения оборотов двигателя в приведенные выше формулы, получим данные для построения ВСХ и занесем их в таблицу 1. На рисунке 3 показана ВСХ, полученная для данного двигателя.

Таблица 1 – Значения показателей ВСХ

n_e , об/мин	N_e , кВт	M_e , Н·м	g_e , г/(кВт·ч)	G_m , кг/ч
150	6,72	427,87	253,57	1,70
300	15,43	491,11	237,52	3,67
450	25,82	547,69	223,09	5,76
600	37,56	597,61	210,29	7,90
750	50,35	640,88	199,12	10,03
900	63,87	677,49	189,57	12,11
1050	77,81	707,44	181,65	14,14
1200	91,86	730,74	175,36	16,11
1350	105,70	747,38	170,70	18,04
1500	119,01	757,37	167,66	19,95
1650	131,48	760,70	166,25	21,86
1800	142,81	757,37	166,47	23,77
1950	152,67	747,38	168,31	25,70
2100	160,75	730,74	171,78	27,61
2200	165	707,44	176,88	29,49

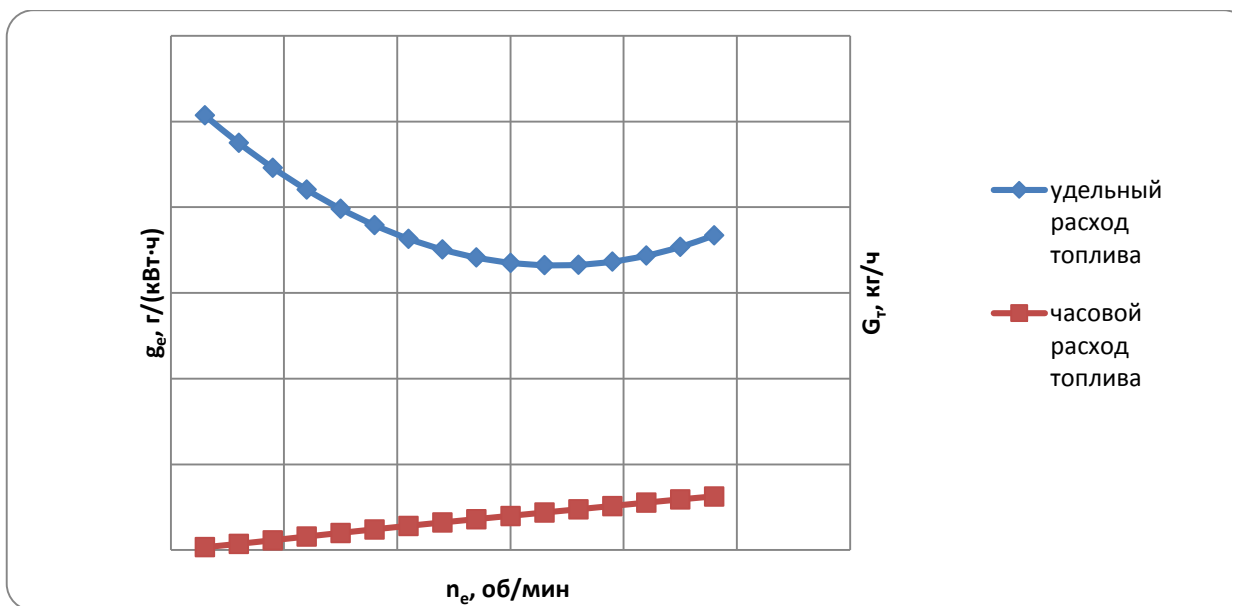
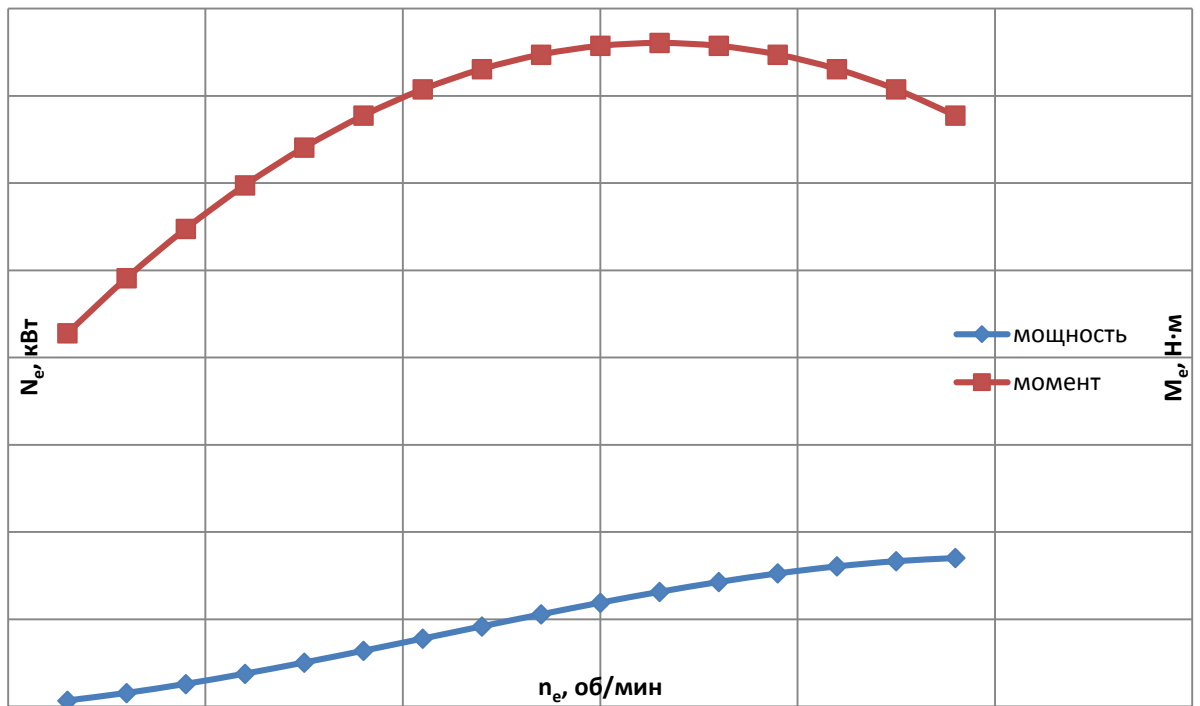


Рисунок 3 – Внешняя скоростная и топливная характеристика

Построение тягово-динамической характеристики.

$$i_{\text{тр}} = i_{\text{кл}} \cdot i_{\text{рк}} \cdot i_{\text{зн}} \quad (8)$$

«Передаточные числа трансмиссии на высшей передаче:

$$i_{mp1} = 7,82 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 47,49,$$

$$i_{mp2} = 4,03 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 24,47,$$

$$i_{mp3} = 2,5 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 15,18,$$

$$i_{mp4} = 1,53 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 9,29,$$

$$i_{mp5} = 1 \cdot 0,93 \cdot 6,53 = 6,07.$$

«Значение свободной силы тяги P_a АТС на всех передачах: $P_a = P_k - P_w$

где P_k – касательная сила тяги;

P_w – сила сопротивления воздушной среды» [28].

$$P_k = \frac{M_e \cdot \eta_{mp} \cdot i_{mp}}{r_d}. \quad (9)$$

$$P_w = k \cdot F \cdot V_a, \quad (10)$$

где k – коэффициент обтекания, 0,61;

F – лобовая площадь автомобиля, 5,53» [28].

Скорость движения АТС на всех передачах:

$$V_a = 0,104 \cdot \frac{r_d \cdot n_e}{i_{mp}}. \quad (11)$$

Пример расчёта при 600 об/мин на первой передаче и с отключенным передним мостом:

$$P_k = \frac{597,61 \cdot 0,834 \cdot 47,49}{0,599} = 39514,89 \text{ Н},$$

$$V_a = 0,104 \cdot \frac{0,599 \cdot 600}{47,49} = 0,79 \text{ м/с},$$

$$P_w = 0,61 \cdot 5,53 \cdot 0,79^2 = 2,09 \text{ Н},$$

$$P_a = P_k - P_w = 39514,89 - 2,09 = 39512,81 \text{ Н}$$

Тягово-динамическая характеристика представлена на рисунке 4.

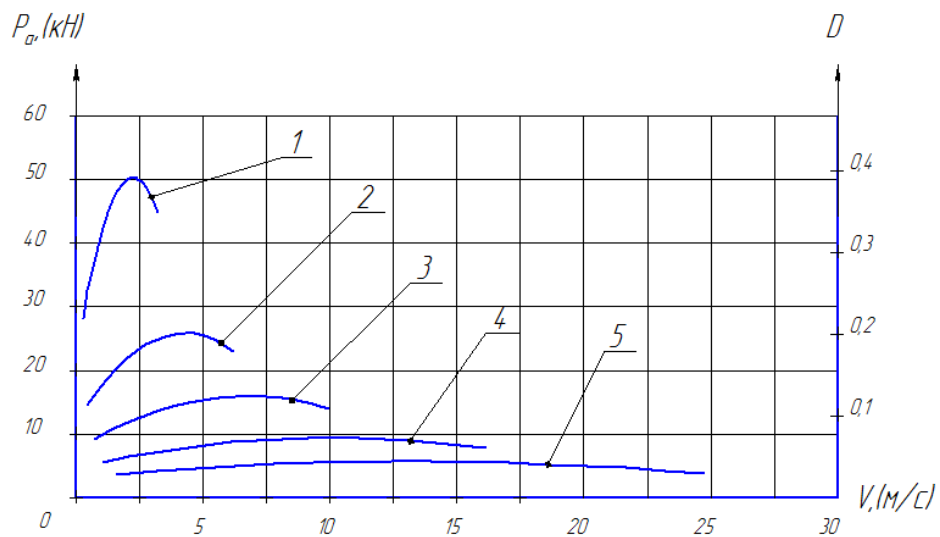
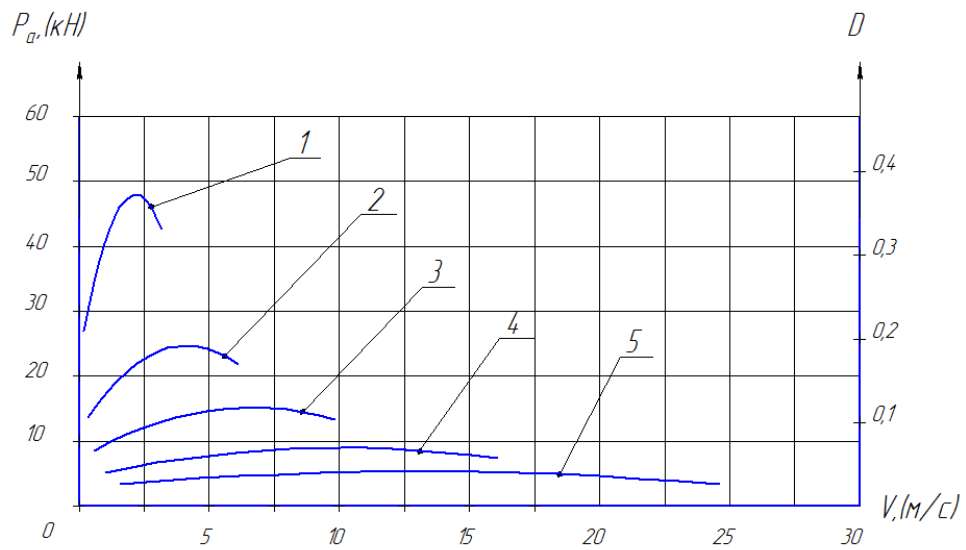


Рисунок 4 – Тягово-динамическая характеристика (4×4 сверху, 4×2 снизу)

Расчет и построение экономической характеристики АТС [4].

Путевой расход топлива в общем случае определяется по формуле:

$$Q_s = \frac{100G_T}{\gamma \cdot V_a}, \quad (12)$$

где γ – удельная масса топлива 0,86кг/л.

$$Q_s = \frac{100 g_e N_e}{3,6 \cdot 10^3 \gamma \cdot V_a} \quad (13)$$

Мощность, развиваемая двигателем, определяется как

$$N_e = \frac{(\psi(G_a + G_{zp}) + P_w) V_a}{10^3 \eta_{mp}} \quad (14)$$

$$g_e = k' k'' g_{e.n.}, \quad (15)$$

где k' и k'' – коэффициенты учитывающие влияние на удельный расход топлива соответственно скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя.

Коэффициенты дорожного сопротивления $\Psi_1=0,02$, $\Psi_2=0,03$.

Пример расчета при: $n_e=600$ об/мин, $\psi=0,02$.

$$N_e = \frac{[0,02 \cdot 12700 \cdot 9,81 + 127,67] \cdot 6,15}{834} = 19,33 \text{ кВт.}$$

Определяем коэффициенты k' и k'' для рассматриваемого случая, равен 1,03 и 0,8 соответственно.

$$g_e = 0,96 \cdot 0,9 \cdot 210,29 = 173,28 \frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{ч}},$$

$$Q_1 = \frac{173,28 \cdot 19,33 \cdot 100}{10^3 \cdot 0,86 \cdot 6,15 \cdot 3,6} = 17,58 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}},$$

$$Q_s = \frac{100 \cdot 210,29 \cdot 37,56}{3,6 \cdot 10^3 \cdot 860 \cdot 6,15} = 41,45 \frac{\text{л}}{100 \text{ км}}.$$

Результаты расчетов для прямой передачи при полной нагрузке (4×2) в таблице 2.

Таблица 2 – Данные для построения топливной характеристики (4×2)

n_e , об/мин	g_{en} , г/(кВт·ч)	Q_1 , л/100км	Q_2 , л/100км	Q_s , л/100км
150	253,57	21,73	39,06	35,79
300	237,52	19,67	35,26	38,48
450	223,09	18,18	31,99	40,30
600	210,29	17,58	27,88	41,45
750	199,12	16,77	24,53	42,09
900	189,57	16,00	23,17	42,36
1050	181,65	15,34	22,54	42,39
1200	175,36	15,11	21,93	42,27
1350	170,70	14,82	21,79	42,08
1500	167,66	15,06	23,53	41,88
1650	166,25	15,86	25,89	41,71
1800	166,47	16,90	27,22	41,59
1950	168,31	19,43	28,94	41,49
2100	171,78	23,77	31,43	41,41
2250	176,88	26,70	34,45	41,27
2400	183,61	31,05	39,58	41,03

Результаты расчетов для прямой передачи при полной нагрузке (4×4) в таблице 3.

Таблица 3 – Данные для построения топливной характеристики(4×4)

n_e , об/мин	g_{en} , г/(кВт·ч)	Q_1 , л/100км	Q_2 , л/100км	Q_s , л/100км
150	253,57	24,16	40,72	35,79
300	237,52	20,51	36,76	38,48
450	223,09	19,20	33,35	40,30
600	210,29	18,10	30,42	41,45
750	199,12	17,48	27,17	42,09
900	189,57	16,68	24,76	42,36
1050	181,65	16,41	23,50	42,39
1200	175,36	15,95	23,43	42,27
1350	170,70	15,86	24,14	42,08
1500	167,66	15,70	25,97	41,88
1650	166,25	16,53	26,99	41,71
1800	166,47	18,09	28,38	41,59
1950	168,31	20,25	30,17	41,49
2100	171,78	25,06	32,76	41,41
2250	176,88	27,83	35,92	41,27
2400	183,61	32,37	41,26	41,03

На рисунке 5 представлена топливная характеристика.

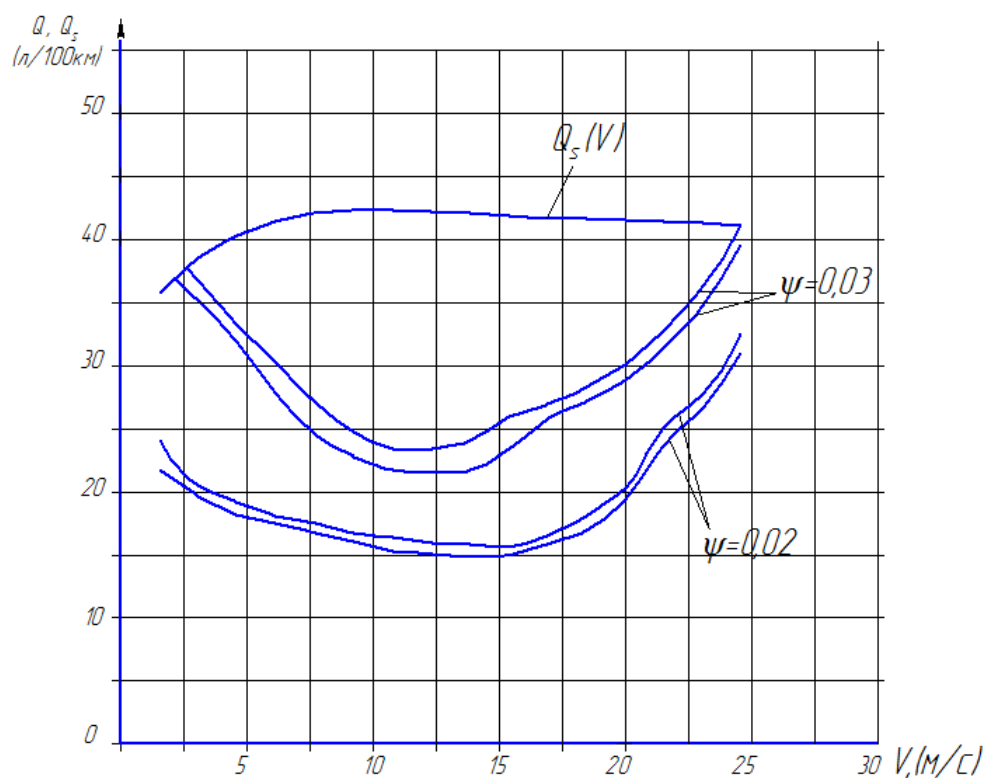


Рисунок 5 – Топливная характеристика

Выводы по разделу.

В данном разделе проведен тягово-динамический расчет автомобиля и построены соответствующие графики (внешне-скоростная характеристика, динамический фактор, топливной экономичности и так далее), которые представлены в графической части работы на листах формата А1.

Далее предлагается провести обзор и анализ принципиальных схем раздаточных коробок передач, предложить пути её модернизации, описать принцип работы модернизированного узла и провести конструкторский расчет основных элементов раздаточной коробки передач, а именно:

- зубчатых колес,
- валов,
- подшипников,
- шлицевых соединений,
- межосевого дифференциала.

3 Конструкторская часть

3.1 Обзор и анализ исходных данных и существующих решений

«Передача крутящего момента от двигателя к нескольким ведущим мостам автомобиля осуществляется через раздаточную коробку, которая в большинстве случаев также увеличивает число передач в трансмиссии. Раздаточные коробки предназначены для выполнения следующих функций:

- распределять крутящий момент между ведущими мостами таким образом, чтобы обеспечивалась наилучшая проходимость автомобиля без возникновения негативного явления – «циркуляции мощности» в трансмиссии;
- увеличивать крутящий момент на ведущих колесах в пределах, необходимых для преодоления сопротивления качению колес при движении по плохим дорогам и бездорожью, а также на крутых подъемах;
- обеспечивать устойчивое движение автомобиля с малой скоростью при работе двигателя в режиме максимального крутящего момента.

Раздаточные коробки выполняют по схемам с блокированным, дифференциальным или со смешанным приводом» [2].

«Особенностью коробки с блокированным приводом (рисунок 6) является то, что она обеспечивает синхронное вращение колес разных мостов, а крутящие моменты распределяются пропорционально силам сопротивления качению. Так, если задний мост имеет весовую нагрузку 60% от общей массы автомобиля с колесной формулой 4×4, а на передний приходится 40%, то силы сопротивления качению колес заднего и переднего мостов будут относиться друг к другу как 60:40. В таком же соотношении на ровном шоссе будут находиться и моменты, приложенные к валам. На практике из-за неровностей дороги и непрямолинейности движения колеса разных осей проходят разное расстояние, и синхронность их вращения

провоцирует возникновение «циркуляции мощности» в трансмиссии, при которой дополнительно нагружаются зубчатые передачи, подшипники, валы, что в итоге приводит к их повышенному износу при параллельном увеличении потребления топлива. Шины, частично снижающие остроту негативных явлений при «циркуляции мощности», подвергаются повышенному нагреву и износу.

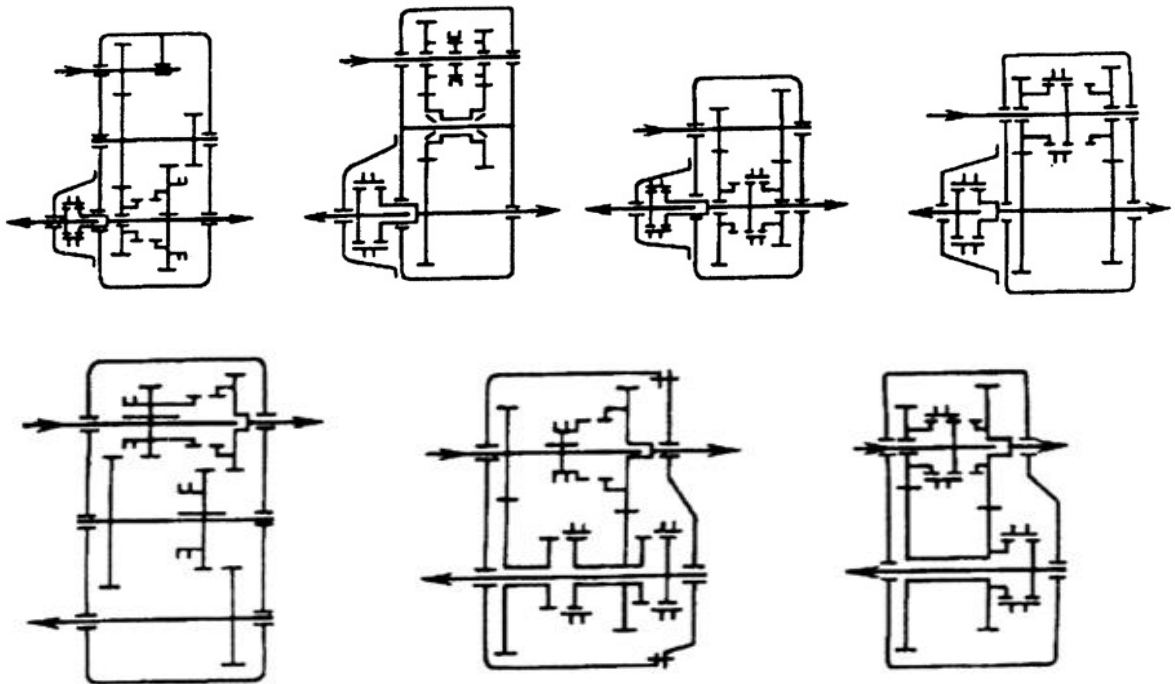


Рисунок 6 – Схемы двухступенчатых раздаточных коробок с заблокированным приводом и соосным (сверху) и несоосными (снизу) ведомыми валами

У раздаточных коробок с дифференциальным приводом (рисунок 7) крутящий момент передается от ведущего вала к ведомым через дифференциал. Поэтому выходные (ведомые) валы такой раздаточной коробки могут вращаться с неодинаковыми угловыми скоростями. Распределение моментов между ведущими осями автомобиля определяются конструкцией дифференциала и местом его положения в кинематической схеме.

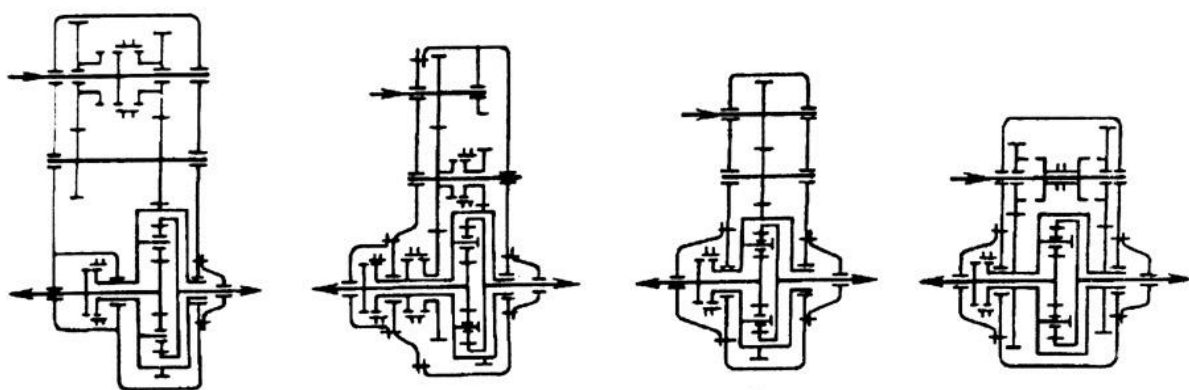


Рисунок 7 – Схемы раздаточных коробок с дифференциальным приводом

Дифференциал, размещенный в раздаточной коробке, называют межосевым в отличие от межколесного, установленного в ведущем мосту. При повороте автомобиля с раздаточной коробкой, оснащенной дифференциалом, колеса управляемого моста вращаются быстрее колес неуправляемых мостов, поскольку проходят больший путь. Разность в скоростях компенсирует межосевой дифференциал. Следует заметить, что соотношение между крутящими моментами на валах дифференциала остается постоянным и равным внутреннему передаточному числу дифференциала. Поскольку силовой поток через дифференциал передаваться не может, «циркуляция мощности» полностью исключена» [12].

«В раздаточных коробках со смешанным приводом одни ведомые валы связаны между собой так, что имеют одинаковую угловую скорость, а другие соединены через дифференциал.

К смешанным (рисунок 8) можно отнести и коробки с блокируемым дифференциалом, или с устройствами, повышающими трение в дифференциале. Силовой поток, подводимый от основной коробки передач или гидромеханической трансмиссии, может распределяться раздаточной коробкой на один передний и один или два задних моста автомобиля (4×4 или 6×6), на два передних и два задних моста – на тележки (8×8), на ведущие колеса одного из бортов, на правый и левый борт автомобиля. В

соответствии с этим раздаточные коробки называются: межосевые, межтележечные, межколесные, межбортовые.

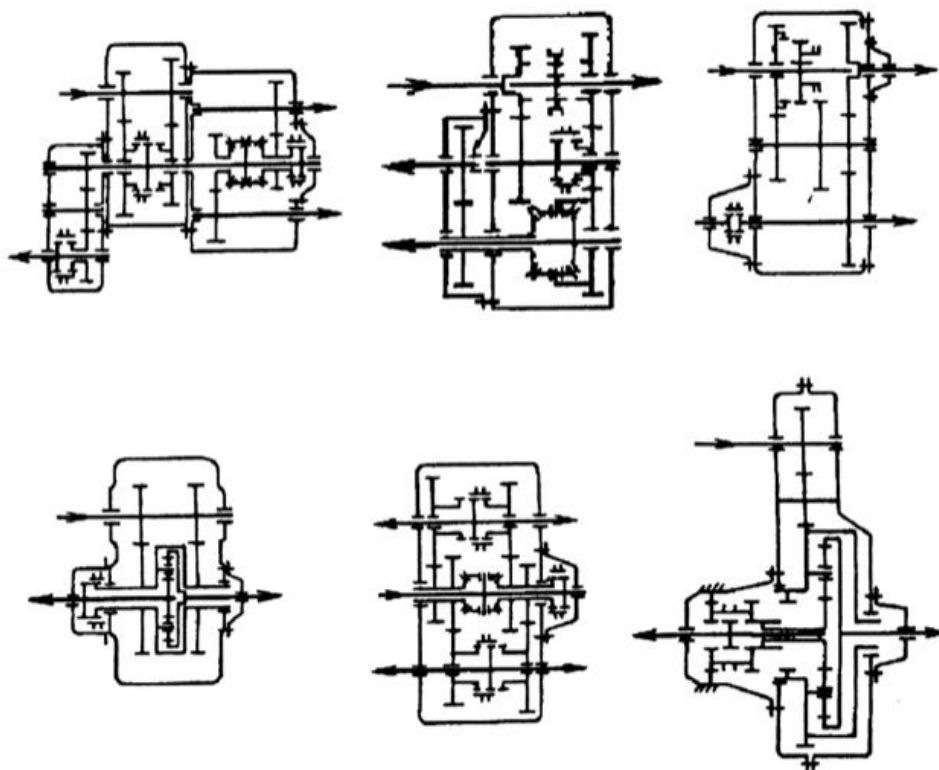


Рисунок 8 – Схемы раздаточных коробок со смешанным приводом

Существует две схемы полного привода: с постоянным подводом мощности к передним колесам и с отключаемым передним мостом. В последнем случае при движении по хорошей дороге передний мост отключают от трансмиссии, что сказывается на повышении топливной экономичности автомобиля» [8].

«Следует иметь в виду, что отключать передний мост на дорогах плохого качества не всегда целесообразно, так как потери в отключенном приводе переднего моста могут оказаться весьма значительными, что скажется на общем сопротивлении движению автомобиля и, следовательно, на его топливной экономичности. Пример тому из отечественной автомобильной истории: на автомобиле 6×6 «Урал»-375 вначале устанавливали муфту отключения переднего моста, а затем от нее отказались. Если в раздаточной коробке нет необходимости иметь две

передачи, то она выпускается с одной прямой передачей, имеющей передаточное число равное единице, или с одной понижающей передачей. Коробки первого типа применялись на американских военных автомобилях «Виллис», немецких Unimog S 404, отечественных ГАЗ-67 и -67Б; коробки второго типа ставились на армейские автомобили ЗИЛ» [1].

«Раздаточные коробки, как правило, изготавливаются в виде отдельного агрегата, который крепится самостоятельно на раме или непосредственно на картере коробки передач. Реже раздаточные коробки и коробки передач объединяет общий картер. Чаще всего раздаточные коробки выпускаются с двумя передачами, прямой и понижающей, представляя собой четырехвальный демультипликатор, смонтированный в едином корпусе. Раздаточная коробка автомобиля ГАЗ-63, к примеру, соединялась с основной коробкой карданным валом, имела специальную зубчатую муфту включения переднего моста. В этом случае устранялась возможность появления «циркуляции мощности» при прямолинейном движении автомобиля.

При создании коробки передач следующего поколения для автомобиля ГАЗ-66 удалось отказаться от зубчатой муфты, осуществив включение моста передвижением каретки, сидящей на промежуточном валу. Общий вес агрегата стал меньше на 5 кг при упрощении конструкции деталей. В коробке передач автомобилей УАЗ с двумя понижающими передачами введена блокировка валов, связанных с передним и задним ведущими мостами автомобиля. В случае возникновения «циркуляции мощности» между мостами силовой поток не будет проходить через зубчатые колеса, а пойдет непосредственно по заблокированным валам. Это уменьшает износ деталей коробки и увеличивает ее КПД» [3].

«В раздаточной коробке автомобиля ЗИЛ-157К две понижающие ступени. Передачи переключаются верхней кареткой. Передний мост отключается зубчатой муфтой. При включенной муфте передний и средний мосты соединены напрямую. Между этими мостами циркулирующая мощность имеет наибольшую величину, так как передний мост управляемый.

Между средним и задним мостами величина циркулирующей мощности невелика, так как они неуправляемые и близко расположены один к другому. В США, странах Западной Европы и у нас в настоящее время на трехосных автомобилях широко применяется тандемный привод, при котором крутящий момент к заднему мосту передается сквозным валом через средний мост. Раздаточная коробка при трех ведущих мостах имеет в этом случае два выходных вала. Пример такой конструкции – раздаточная коробка автомобиля ЗИЛ-131. В ней на прямой передаче силовой поток на средний и задний мосты передаются без потерь, а на передний – через один полюс зацепления при включении нижней правой зубчатой муфты. На первой ступени силовой поток передается на средний и задний мосты через два полюса (включена нижняя левая муфта), а на передний мост – через один полюс. При такой схеме коробка имеет высокий КПД и конструктивно получается простой» [16].

«Раздаточная коробка автомобилей Урал-375 первых образцов так же, как и коробка вездехода МАЗ-502 имеет две понижающие передачи и планетарный несимметричный дифференциал. С помощью зубчатой муфты, установленной на нижнем валу, можно выполнять три операции: муфта в крайнем правом положении – передний мост включен, силовой поток по мостам распределяется через дифференциал. В настоящее время в коробках этого типа муфта блокирует только дифференциал, вал же от раздаточной коробки на передний мост целый. В раздаточной коробке четырехосных автомобилей МАЗ с симметричным дифференциалом, установленным между двумя передними и задними ведущими мостами, силовой поток к ним подводится через два нижних выходных вала коробки, которые соединяются с дополнительными раздаточными редукторами. От этих редукторов привод идет к ведущим мостам. Коробка имеет прямую и понижающую передачи и выполнена по схеме с промежуточным валом. Передачи включаются верхней муфтой, а блокируется дифференциал нижней муфтой с помощью пневмопривода» [16,19, 21].

3.2 Обоснование и выбор принципиальных решений

В качестве прототипа был выбран автомобиль КамАЗ 4326. На этом автомобиле устанавливается двухступенчатая раздаточная коробка с межосевым цилиндрическим блокируемым дифференциалом. Вместо цилиндрического дифференциала предлагается установить конический симметричный дифференциал с блокировкой, а также дополнительно установить муфту отключения переднего привода. Автомобиль имеет колесную формулу 4×4, односкатные шины на переднем и заднем мосту, в снаряженном состоянии масса на переднюю и заднюю ось распределяется в отношении 56:44. С помощью расчетов можно найти точку приложения центра тяжести перевозимого груза или установленного оборудования так, чтобы нагрузки на переднюю и заднюю ось распределялись в отношении 50:50. Примеры таких точек представлены на рисунке 9. Поэтому теоретически можно использовать в данной конструкции конический симметричный дифференциал.

Блокировка дифференциала будет осуществляться с помощью торцевой зубчатой муфты, а отключение переднего моста будет осуществляться с помощью шлицевой муфты. Обе муфты имеют пневматические механизмы включения, использующие сжатый воздух пневмосистемы грузовика.

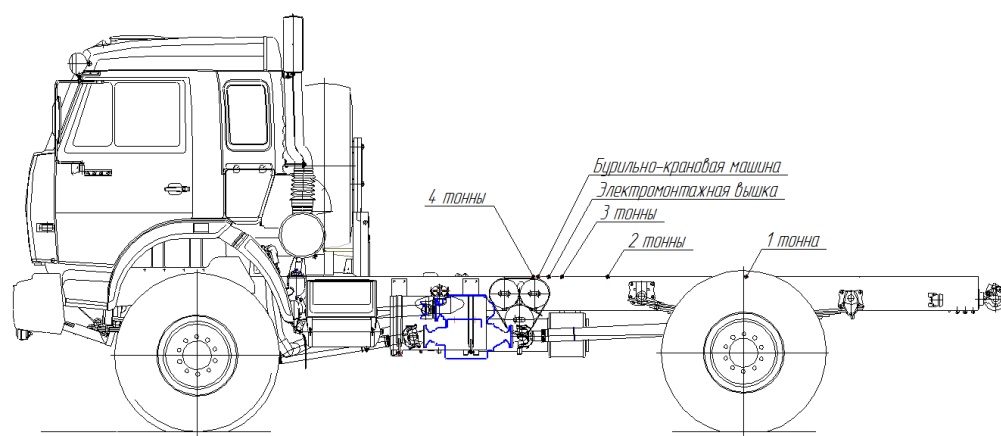


Рисунок 9 – Центры тяжести различных грузов

3.3 Описание принципа работы проектируемой раздаточной коробки

Кинематическая схема проектируемой раздаточной коробки представлена на рисунке 10.

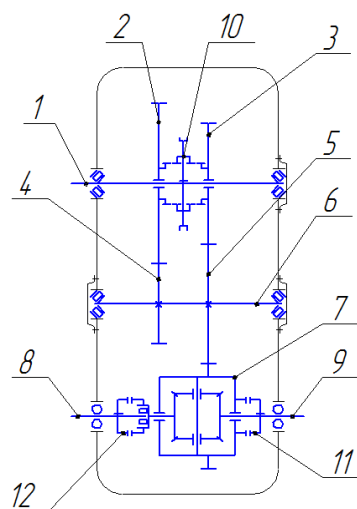


Рисунок 10 – Кинематическая схема

От коробки передач крутящий момент через карданный вал передается на входной вал 1 раздаточной коробки. Далее через зубчатое зацепление колес 2,4 или 3,5 момент передается на промежуточный вал 6. Зубчатое колесо 5 вращает корпус дифференциала 7 и затем момент распределяется между выходными валами 8 и 9.

При движении в условиях бездорожья муфта 10 передвигается в правое положение, таким образом, включается пониженная передача. Момент идет через вал 1, зубчатые зацепления 3,5 и 5,7, на валы 8 и 9. При необходимости можно включить муфту блокировки дифференциала 11 и тогда карданные валы переднего и заднего мостов будут вращаться как единое целое.

При движении в благоприятных условиях (асфальтобетонное или гравийное покрытие) в пониженной передаче нет необходимости и поэтому муфту 10 передвигают в левое положение и таким образом включают повышенную передачу. Момент идет через вал 1, зубчатые зацепления 2,4 и

5,7, на валы 8 и 9. Для снижения расхода топлива с помощью муфты 12 можно отключить передний привод. Момент будет передаваться только на вал 9. При этом автоматически должна включаться муфта блокировки дифференциала 11 (если она была выключена).

Муфта 10 переключается с помощью рычага, расположенного в кабине автомобиля, и системы тяг идущих к раздаточной коробке. Муфты 11 и 12 переключаются пневматически. На панели приборов устанавливаются кнопки с индикаторами, при нажатии которых срабатывает электромагнитный клапан на пневмомагистрали. Сжатый воздух поступает к механизму переключения, включая муфту, при этом на панели приборов загорается лампа, сигнализирующая о том, что муфта включена. Отключаются муфты также, нажатием кнопки. Давление в пневмотрубке, идущей к муфте, становится равно атмосферному, и пружина возвращает муфту в исходное положение. Муфты необходимо переключать на неподвижном автомобиле.

3.4 Расчет зубчатых колес

«Раздаточная коробка предназначена для передачи крутящего момента к переднему и заднему мостам и имеет две передачи: повышающую с передаточным числом 0,93 и понижающую с передаточным числом 1,9. Понижающая передача позволяет значительно увеличить тяговое усилие на колесах при тяжелых условиях работы автомобиля (бездорожье, глубокий снег, подъемы). Устройство раздаточной коробки показано в графической части данного проекта. В раздаточной коробке автомобиля КамАЗ 4326 все шестерни постоянного зацепления, цилиндрические, косозубые.

Расчет цилиндрической зубчатой передачи включает в себя определение основных параметров передачи и проверочный расчет деталей раздаточной коробки.

Проверочный расчет цилиндрических зубчатых передач закрытого

типа, применяемых на автомобилях, выполняют на выносливость по контактными напряжениям (во избежание усталостного выкрашивания рабочих поверхностей зубьев) и по напряжениям изгиба (для предотвращения усталостного разрушения зубьев)» [5].

Определение параметров для расчета [7].

Коэффициенты пробегов.

В таблице 4 представлены относительные пробеги γ_i на передачах.

Таблица 4 Относительные пробеги γ_i на передачах:

Значение	Передача				
	1	2	3	4	5
γ_i	0,5	1,5	7	20	71

Расчетная удельная сила на данной передаче

$$\gamma_{Pi} = \frac{P_{K \max i}}{G_A}, \quad (16)$$

$$P_{K \max i} = M_{\max} \cdot i_{KП} \cdot i_0 \cdot \eta_{TP} / r_k. \quad (17)$$

Для примера сделаем расчет на 1 передаче в коробке передач:

$$P_{K \max 1} = 760,7 \cdot 7,82 \cdot 1,9 \cdot 6,53 \cdot 0,834 / 0,599 = 102760,1 \text{ Н.}$$

Так как $P_K > P_\phi$, то колесо будет буксовать, поэтому принимаем, что $P_K = P_\phi = 63500 \text{ Н.}$

Свободная сила тяги на 1 передаче $G_A = 127000 \text{ Н.}$

$$\gamma_{P1} = \frac{P_{K \max 1}}{G_A} = \frac{63500}{127000} = 0,5.$$

Среднее значение удельных окружных сил:

$$\gamma_{CPi} = 1,86 \cdot (\gamma_{\psi CPi} + \gamma_{b CPi}), \quad (18)$$

где 1,86 – коэффициент, учитывающий сопротивление разгону;

$\gamma_{\psi CPi}$ – удельное сопротивление дороги (сопротивление качению),
равен 0,03;

$\gamma_{b CPi}$ – удельное сопротивление воздуха.

$$\gamma_{b CPi} = \frac{0,03V_{cpi}^2}{G_A} \quad (\text{при } V > 40 \text{ км/ч}). \quad (19)$$

Например, на 5-й передаче при скорости 60,93 км/ч $\gamma_{b CP3} = 0,000877$.

По графической зависимости определяем коэффициенты пробега.

$$K_{ПФ}, K_{ПН} = f\left(\frac{\gamma_P}{\gamma_{CP}}\right).$$

Расчетные данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Расчет коэффициентов пробега

№ пер.	1	2	3	4	5
γ_p	0,5	0,415	0,254	0,152	0,096
$\gamma_{\psi CP}$	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
$\gamma_{вср}$	0	0	0	0,00025	0,000585
$\gamma_{ср}$	0,171	0,146	0,097	0,067	0,050
$\gamma_p/\gamma_{ср}$	2,92	2,85	2,61	2,27	1,91
$K_{ПФ}$	0,03	0,035	0,04	0,05	0,06
$K_{ПН}$	0,11	0,13	0,15	0,17	0,20

«Расчет зубчатых колес.

Напряжения изгиба:

$$\sigma_F = \frac{F_t}{b_w \cdot m_n} Y_F \cdot Y_\varepsilon \cdot K_{F\alpha} \cdot K_{F\beta} \cdot K_{FV} \cdot K_{F\mu} \cdot K_{FX} \quad (20)$$

где F_t – окружная сила;

Y_F – единичное напряжение изгиба;

Y_ε – коэффициент, зависящий от суммарной длины контактных линий и величины перекрытия;

$K_{F\alpha}$ – коэффициент, учитывающий распределение напряжений между зубьями;

$K_{F\beta}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения нагрузки по ширине венца;

K_{FV} – коэффициент, учитывающий динамические нагрузки в зацеплении;

$K_{F\mu}$ – коэффициент, учитывающий свойства смазки;

K_{FX} – коэффициент, учитывающий габариты зубчатого колеса

$$F_t = 2 \cdot 10^3 \frac{M_p}{d_w}, \quad (21)$$

где M_p – расчетный момент» [7].

Расчет зубчатого зацепления шестерни промежуточного вала с венцом корпуса дифференциала на пониженной передаче.

Далее индекс «1» означает шестерню, а индекс «2» - колесо.

$$F_{t1} = F_{t2} = 2 \cdot 10^3 \frac{11302}{211} = 107128 \text{ Н.}$$

$$Y_F = Y_F^0 \cdot K_U \cdot K_\alpha \cdot K_\rho \cdot K_\tau, \quad (22)$$

где Y_F^0 – коэффициент напряжения зуба;

«Эквивалентное число зубьев:

$$Z_v = \frac{Z}{\cos^3 \beta}, \quad (23)$$

$$Z_{v1} = \frac{34}{\cos^3 18^\circ} = 39,$$

$$Z_{v2} = \frac{42}{\cos^3 18^\circ} = 49,$$

$$Y_{F1}^0 = 2,70, Y_{F2}^0 = 2,78.$$

K_U – учитывает параметры сопряжения:

$$K_{U1} = 1 + 0,125 \left(\frac{z_{\phi 1}}{z_{v2}} + x_\Sigma - 1 \right), \quad (24)$$

$$K_{U1} = 1 + 0,125 \left(\frac{14}{49} - 1 \right) = 0,911,$$

$$K_{U2} = 1 + 0,125 \left(\frac{z_{\phi 2}}{z_{v1}} + x_\Sigma - 1 \right), \quad (25)$$

$$K_{U2} = 1 + 0,125 \left(\frac{14}{39} - 1 \right) = 0,920.$$

где z_ϕ – число зубьев условного парного колеса передачи, для которой рассчитаны точки на графике,

$$z_{\phi 1,2} = 14 + 20 \cdot x_{1,2},$$

где x_1, x_2 – коэффициенты смещения исходного контура, равны между собой и равны 0;

K_α – зависит от угла профиля исходного контура;

K_ρ – учитывает радиус переходной кривой» [21].

Поскольку исходный контур выбран по ГОСТ 13755–81, $K_\alpha = K_\rho = 1$. K_τ учитывает перераспределение ширины зубьев шестерни и колеса, для цилиндрических передач $K_\tau = 1$.

$$Y_{F1}=2,7 \cdot 0,92 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,48,$$

$$Y_{F2}=2,78 \cdot 0,911 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 2,53.$$

Определяем диаметры основных окружностей (для дальнейшего расчета σ_F).

$$d_e = d \cdot \cos \arctg\left(\frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}\right), \quad (26)$$

$$d_{e1} = 170 \cdot \cos \arctg\left(\frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 18^\circ}\right) = 160,65 \text{ мм},$$

$$d_{e2} = 210 \cdot \cos \arctg\left(\frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 18^\circ}\right) = 198,45 \text{ мм}.$$

Определяем диаметры окружности вершин:

$$d_{a1} = d_1 + 2hm_n, \quad (27)$$

$$d_{a1} = 170 + 2 \cdot 1 \cdot 5 = 180 \text{ мм},$$

$$d_{a2} = 210 + 2 \cdot 1 \cdot 5 = 220 \text{ мм}.$$

Коэффициент торцового перекрытия:

$$\varepsilon_\alpha = \frac{z_1}{2\pi} (\operatorname{tg} \alpha_{ta1} - \operatorname{tg} \alpha_{tw}) + \frac{z_3}{2\pi} (\operatorname{tg} \alpha_{ta3} - \operatorname{tg} \alpha_{tw}). \quad (28)$$

Угол зацепления:

$$\alpha_{tw} = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}, \quad (29)$$

$$\alpha_{nv1} = \alpha_{nv2} = \arctg \frac{\operatorname{tg} 20^\circ}{\cos 18^\circ} = 20^\circ 56',$$

$$\alpha_{\alpha 1} = \arccos \frac{d_{b1}}{d_{a1}}, \quad (30)$$

$$\alpha_{\alpha 1} \arccos \frac{160,65}{180} = 26^{\circ}48',$$

$$\alpha_{\alpha 2} = \arccos \frac{198,45}{220} = 25^{\circ}34'.$$

$$\varepsilon_{\alpha 1,2} = \frac{34}{2\pi} (\operatorname{tg} 26^{\circ}48' - \operatorname{tg} 20^{\circ}56') + \frac{42}{2\pi} (\operatorname{tg} 25^{\circ}34' - \operatorname{tg} 20^{\circ}56') = 1,37.$$

Коэффициент осевого перекрытия:

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b_w}{\pi \cdot m_n} \cdot \sin \beta, \quad (31)$$

$$\varepsilon_{\beta 1} = \frac{46}{3,14 \cdot 5} \cdot \sin 18^{\circ} = 0,91,$$

$$\varepsilon_{\beta 2} = \frac{50}{3,14 \cdot 5} \cdot \sin 18^{\circ} = 0,98.$$

$$Y_{\varepsilon 1} = 0,75, Y_{\varepsilon 2} = 0,74.$$

6-я степень точности изготовления зубчатого колеса, $K_{F\alpha} = 1$.

$$K_{F\beta} = 1 + (K_{\beta 0} - 1) \cdot K_{FW}. \quad (32)$$

где $K_{\beta 0}$ – коэффициент, который учитывает неравномерность распределения нагрузки в начальный период работы. Для нахождения $K_{\beta 0}$ определяем отношение $\Psi_{bd} = b/d$, $\Psi_{bd1} = 0,27$,

$$\Psi_{bd2} = 0,29; K_{\beta 01} = 1,08, K_{\beta 02} = 1,07;$$

K_{FW} – коэффициент, который учитывает влияние приработки зубьев.

$$K_{FW1} = K_{FW2} = 1.$$

$$K_{F\beta 1} = 1 + (1,17 - 1) \cdot 1 = 1,17,$$

$$K_{F\beta 2} = 1 + (1,04 - 1) \cdot 1 = 1,04;$$

$$K_{FV} = K_{V\delta} \cdot K_{VE}, \quad (33)$$

где $K_{V\delta}$ и K_{VE} – коэффициенты, которые учитывают погрешности изготовления зубчатого колеса.

Окружная скорость колес:

$$V_1 = V_2 = \frac{\pi d n}{60}, \quad (34)$$

$$V_1 = V_2 = \frac{3,14 \cdot 0,17 \cdot 111,1}{60} = 1,22 \text{ м/с};$$

$$K_{V\delta 1} = K_{V\delta 2} = 1,02,$$

$$K_{VE 1} = K_{VE 2} = 1,08,$$

$$K_{FV 1} = K_{FV 2} = 1,02 \cdot 1,08 = 1,1$$

где $K_{F\mu 1}$ – для ведущего зубчатого колеса, 1,05;

$K_{F\mu 2}$ – для ведомого зубчатого колеса, 0,95;

K_{FX} зависит от диаметра колеса и модуля, 1,04.

Подставляя значения всех коэффициентов в формулу, получаем значения напряжений изгиба зубьев на 1-й передаче.

Для шестерни:

$$\sigma_{F1} = \frac{107128}{46 \cdot 5} 2,48 \cdot 0,75 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1,1 \cdot 1,05 \cdot 1,04 = 1123 \text{ МПа}$$

Для колеса:

$$\sigma_{F2} = \frac{107128}{50 \cdot 5} 2,53 \cdot 0,74 \cdot 1 \cdot 1,07 \cdot 1,1 \cdot 0,95 \cdot 1,04 = 933 \text{ МПа.}$$

Ресурс по усталости при изгибе, затрачиваемый на 1 км.

Примем во внимание, что на пониженной передаче автомобиль движется 30% времени и учтем это в расчете.

$$R_F = \frac{500 \cdot U_{TP}}{\pi \cdot r_\partial} \left(\sum_{i=1}^{3X} \sigma_{Fi}^{m_F} \cdot \gamma_i \cdot K_{\Pi Fi} \right) \quad (35)$$

где U_{TP} – передаточное число от шестерни до колес;

m_F – показатель кривой усталости, $m_F=9$.

$$R_{F1} = \frac{500 \cdot 97,02}{3,14 \cdot 0,599} 1123^9 \cdot 0,005 \cdot 0,03 \cdot 0,3 = 3,3 \cdot 10^{27};$$

$$R_{F2} = \frac{500 \cdot 97,02}{3,14 \cdot 0,599} \cdot 933^9 \cdot 0,005 \cdot 0,03 \cdot 0,3 = 6,21 \cdot 10^{26}.$$

Предельное напряжение изгиба при базовом числе циклов N_{F0} .

$$\sigma_{FP0} = \sigma_{F \lim b} \cdot Y_R \cdot K_{FC}, \quad (36)$$

где $\sigma_{F \lim b} = 500$ МПа – характеристика выносливости материала, выбираем сталь 20ХНЗА;

Y_R – коэффициент, который учитывает особенности обработки зубьев, $Y_R = 1$;

K_{FC} – коэффициент, который учитывает характер нагружения, $K_{FC} = 1,3$.

$$\sigma_{FP01} = \sigma_{FP02} = 500 \cdot 1 \cdot 1,3 = 650 \text{ МПа}$$

Общий ресурс зубчатого колеса:

$$R_{F \lim} = \sigma_{FP0}^{m_F} \cdot N_{F0}, \quad (37)$$

где N_{F0} – число циклов, $N_{F0} = 5 \cdot 10^6$.

$$R_{F\text{lim}} = 650^9 \cdot 4 \cdot 10^6 = 8,28 \cdot 10^{31}.$$

Пробег автомобиля до усталостной поломки зуба:

$$L_F = \frac{R_{F\text{lim}}}{R_F}, \quad (38)$$

$$L_{F1} = \frac{8,28 \cdot 10^{31}}{3,30 \cdot 10^{27}} = 2,5 \cdot 10^4 \text{ км},$$

$$L_{F2} = \frac{8,28 \cdot 10^{31}}{6,21 \cdot 10^{26}} = 1,3 \cdot 10^5 \text{ км}.$$

Допускаемое напряжение изгиба:

$$\sigma_{FP} = \sigma_{FP0} \cdot K_{FL}, \quad (39)$$

где K_{FL} – коэффициент долговечности.

$$K_{FL} = m_F \sqrt{\frac{N_{F0}}{N_{FE}}}, \quad (40)$$

где N_{FE} – эквивалентное число циклов.

$$N_{FE1} = \frac{R_F \cdot L_0}{\sigma_F^{m_F}}, \quad (41)$$

где $\sigma_F^{m_F}$ – напряжение изгиба на самой нагруженной, в данном случае на 1-й передаче.

$$N_{FE1} = \frac{3,3 \cdot 10^{27} \cdot 2 \cdot 10^4}{1123^9} = 22234,$$

$$N_{FE2} = \frac{6,21 \cdot 10^{26} \cdot 2 \cdot 10^4}{933^9} = 1333,$$

$$K_{FL1} = \sqrt[9]{\frac{4 \cdot 10^6}{22234}} = 1,78,$$

$$K_{FL2} = \sqrt[9]{\frac{4 \cdot 10^6}{1333}} = 2,43.$$

Получаем:

$$\sigma_{FP1} = 1157 \text{ МПа}, \sigma_{FP2} = 1579,5 \text{ МПа}.$$

У обоих колес выполняется условие: $\sigma_{FP} > \sigma_F$.

Контактные напряжения/

Параметр контактного напряжения:

$$\Pi_H = \frac{F_t}{b_w \cdot d_w} Z_H \cdot Z_\varepsilon \cdot K_{H\alpha} \cdot K_{H\beta} \cdot K_{HV} \cdot K_{H\mu} \cdot K_{HX}. \quad (42)$$

Все коэффициенты аналогичны соответствующим коэффициентам для напряжений изгиба.

$$Z_{H1} = Z_{H2} = \frac{2(U+1) \cdot \cos^2 \beta}{i \cdot \sin 2\alpha_w}, \quad (43)$$

$$Z_{H1} = Z_{H2} = \frac{2(1,9+1) \cdot \cos^2 18^\circ}{1,9 \cdot \sin(2 \cdot 20^\circ 56')} = 4,14,$$

$$Z_{\varepsilon 1} = Y_{\varepsilon 1} = 0,75; Z_{\varepsilon 2} = Y_{\varepsilon 2} = 0,74,$$

$$K_{H\alpha 1} = K_{H\alpha 2} = K_{H\psi} \cdot K_{Hj}, \quad (44)$$

где $K_{H\psi}$ – коэффициент, который учитывает повышение интенсивности нагрузки, 1,3;

K_{Hj} – коэффициент, который учитывает неточность распределения нагрузки между зубьями, 1.

$$K_{H\alpha 1} = K_{H\alpha 2} = 1 \cdot 1,3 = 1,3.$$

$$\begin{aligned}
K_{H\beta} &= 1 + (K_{\beta}^0 - 1) \cdot K_{HW} . \\
K_{H\beta 1} &= 1 + (1,08 - 1) \cdot 0,72 = 0,78 , \\
K_{H\beta 2} &= 1 + (1,07 - 1) \cdot 0,72 = 0,77 , \\
K_{HV1,2} &= \sqrt{K_{FV}} = \sqrt{1,1} = 1,05 . \\
K_{H\mu 1,2} &= 1
\end{aligned}
\tag{45}$$

Так как $d_w < 700$ мм, то $K_{HX1,2} = 1$.

Подставляя коэффициенты в формулу 42, получаем значения параметра контактных напряжений для зубчатых колес 1-й передачи.

$$\begin{aligned}
\Pi_{H1} &= \frac{107128}{46 \cdot 170} \cdot 4,14 \cdot 0,75 \cdot 1,3 \cdot 0,78 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 = 45,28 \text{ МПа} \\
\Pi_{H3} &= \frac{107128}{50 \cdot 170} \cdot 4,14 \cdot 0,74 \cdot 1,3 \cdot 0,77 \cdot 1,05 \cdot 1 \cdot 1 = 32,85 \text{ МПа}.
\end{aligned}$$

Ресурс по контактной усталости на 1 км пробега:

$$R_H = \frac{500 \cdot U_{TP}}{\pi \cdot r_o} \left(\sum_{i=1}^{3X} \Pi_{Hii}^{m_H} \cdot \gamma_i \cdot K_{PHi} \right) .
\tag{46}$$

где m – показатель кривой усталости, $m_H = 3$

$$\begin{aligned}
R_{H1} &= \frac{500 \cdot 97,02}{3,14 \cdot 0,599} \cdot 45,28^3 \cdot 0,005 \cdot 0,11 \cdot 0,3 = 395074 , \\
R_{H2} &= \frac{500 \cdot 97,02}{3,14 \cdot 0,599} \cdot 32,85^3 \cdot 0,005 \cdot 0,11 \cdot 0,3 = 150857 .
\end{aligned}$$

Предельное контактное напряжение:

$$\Pi_{HP0} = \Pi_{Hlimb} \cdot Z_R ,
\tag{47}$$

где Π_{Hlimb} – параметр предела контактной выносливости, $\Pi_{Hlimb} = 19$;

$Z_R = 1,0$ при $Ra=1,25 \dots 0,63$.

$$\Pi_{HP0} = 19 \cdot 1 = 19 \text{ МПа.}$$

Общий ресурс зубчатого колеса:

$$R_{H \text{ lim}} = \Pi_{HP0}^{m_H} \cdot N_{Ho}, \quad (48)$$

где N_{Ho} – число циклов, $N_{Ho} = 1,2 \cdot 10^8$.

$$R_{H \text{ lim}} = 19^3 \cdot 1,2 \cdot 10^8 = 8,2 \cdot 10^{11}.$$

Пробег автомобиля до появления прогрессирующего выкрашивания поверхности зуба:

$$L_{H1} = \frac{R_{H \text{ lim}}}{R_H}, \quad (49)$$

$$L_{H1} = \frac{8,2 \cdot 10^{11}}{395074} = 2,08 \cdot 10^6 \text{ км.}$$

$$L_{H2} = \frac{8,2 \cdot 10^{11}}{150857} = 5,44 \cdot 10^6 \text{ км.} \quad (50)$$

Допускаемое контактное напряжение:

$$\sigma_{HP} = Z_M \sqrt{\Pi_{HP0} \cdot K_{HL}} \quad (51)$$

где Z_M – коэффициент, который учитывает механические свойства материала, 275 МПа.

$$K_{HL} = m_H \sqrt{\frac{N_{H0}}{N_{HE}}}, \quad (52)$$

$$N_{HE1} = \frac{R_H \cdot L_0}{\Pi_H^{m_H}}, \quad (53)$$

$$N_{HE1} = \frac{395074 \cdot 2 \cdot 10^5}{45,28^3} = 851117,$$

$$N_{HE2} = \frac{150857 \cdot 2 \cdot 10^5}{32,85^3} = 425559,$$

$$K_{HL1} = \sqrt[3]{\frac{1,2 \cdot 10^8}{851117}} = 5,2,$$

$$K_{HL2} = \sqrt[3]{\frac{1,2 \cdot 10^8}{426669}} = 6,6,$$

$$\sigma_{HP1} = 275 \sqrt{19 \cdot 5,2} = 2733 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{HP1} = 275 \sqrt{19 \cdot 6,6} = 3080 \text{ МПа}.$$

Должно выполняться условие $\sigma_{HMAX} < \sigma_{HP}$:

$$\sigma_{H \max 1} = Z_M \sqrt{\Pi_{H1}}, \quad (54)$$

$$1850 \text{ МПа} < 2733 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{H \max 2} = Z_M \sqrt{\Pi_{H2}}, \quad (55)$$

$$1576 \text{ МПа} < 3080 \text{ МПа}$$

3.5 Расчет валов

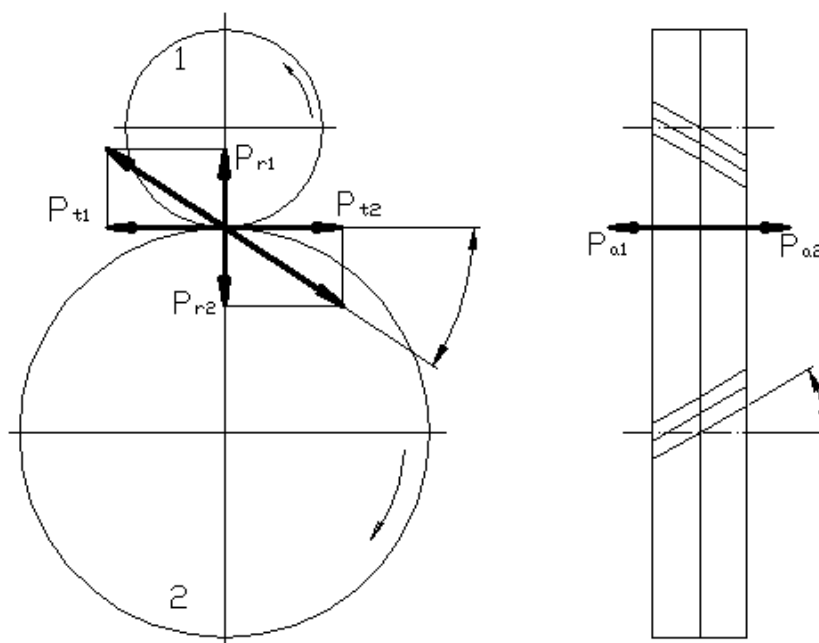
Проверочный расчет валов на усталостную прочность[9].

При расчете валов изменяются только размеры и величины действующих на колеса сил, но при этом не изменяется принципиальная расчетная схема.

Расчет промежуточного вала на пониженной передаче.

Расчет ведется на пониженной передаче, так как на ней передается наибольший крутящий момент.

Рассмотрим силы, действующие на зубчатые колеса (рисунок 11). При этом индексом «1» обозначаем шестерню, индексом «2» – колесо.



P_t – окружная сила, Н; P_r – радиальная сила, Н; P_a – осевая сила, Н

Рисунок 11 – Силы, действующие на зубчатые колеса

В качестве примера рассматриваем первую передачу в коробке передач и пониженную передачу в раздаточной коробке. Определяем численные значения сил, действующих на зубчатые колеса.

Крутящий момент, подходящий к промежуточному валу:
 $M_6 = 8970 \text{ Н}\cdot\text{м}$

С учетом коэффициента пробоя найдем эквивалентный момент, который вращает промежуточный вал.

$$M_\partial = M_B \cdot \sqrt[3]{K_{\text{ИФ}}}, \quad (56)$$

$$M_\partial = 8970 \cdot \sqrt[3]{0,03} = 2787 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$$P_t = \frac{2M_\delta}{d}, \quad (57)$$

$$P_t = \frac{2 \cdot 2787}{0,168} = 33179 \text{ Н.}$$

$$P_r = \frac{P_t \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}, \quad (58)$$

$$P_r = \frac{33179 \cdot \operatorname{tg} 20}{\cos 18} = 12698 \text{ Н.}$$

$$P_a = P_t \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (59)$$

$$P_a = 33179 \cdot \operatorname{tg} 18 = 10781 \text{ Н.}$$

Геометрические размеры: $a=170$ мм, $b=42$ мм.

Определяем изгибающие моменты на валу. Расчетная схема и эпюры приведены на рис 10.

Рассматриваем вертикальную (условно) плоскость:

$$\Sigma M_A = 0; R_B(a+b) = P_a \cdot \frac{d}{2} + P_r \cdot a, \quad (60)$$

$$R_B = \frac{P_a \cdot \frac{d}{2} + P_r \cdot a}{a+b} = \frac{10781 \cdot 0,085 + 12698 \cdot 0,170}{0,212} = 14505 \text{ Н.}$$

$$\Sigma M_B = 0; P_r \cdot b + R_A(a+b) = P_a \cdot \frac{d}{2}, \quad (61)$$

$$R_A = \frac{P_a \cdot \frac{d}{2} - P_r \cdot b}{a+b} = \frac{10781 \cdot 0,085 - 12698 \cdot 0,042}{0,212} = 1807 \text{ Н.}$$

$$M_{Cл} = R_A \cdot a, \quad (62)$$

$$M_{Cл} = 1807 \cdot 0,170 = 307 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

$$M_{Cнн} = R_B \cdot b, \quad (63)$$

$$M_{Cнн} = 14505 \cdot 0,042 = 609 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Обозначения: «л» и «пр» – соответственно – справа и слева от шестерни.

Рассматриваем горизонтальную (условно) плоскость.

$$\Sigma M_A = 0; R_B = \frac{P_t \cdot a}{a + b}, \quad (64)$$

$$R_B = \frac{33179 \cdot 0,170}{0,212} = 26606 \text{ Н.}$$

$$R_A = P_t - R_B, \quad (65)$$

$$R_A = 33179 - 26606 = 6573 \text{ Н.}$$

$$M_C = R_A \cdot a, \quad (66)$$

$$M_C = 6573 \cdot 0,170 = 1117 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Суммарные величины:

$$R_{A\Sigma} = \sqrt{R_{Az}^2 + R_{Ae}^2}, \quad (67)$$

$$R_{A\Sigma} = \sqrt{1807^2 + 6573^2} = 6817 \text{ Н,}$$

$$R_{B\Sigma} = \sqrt{R_{Bz}^2 + R_{Be}^2}, \quad (68)$$

$$R_{B\Sigma} = \sqrt{14505^2 + 26606^2} = 30303 \text{ Н.}$$

Здесь индексы «г» и «в» означают горизонтальную и вертикальную плоскость соответственно.

$$M_{Cl} = \sqrt{M_{Clz}^2 + M_{Cle}^2}, \quad (69)$$

$$M_{Cl} = \sqrt{1117^2 + 307^2} = 1158 \text{ Н} \cdot \text{м.},$$

$$M_{Cnp} = \sqrt{M_{Cnpz}^2 + M_{Cnpe}^2}, \quad (70)$$

$$M_{Cnp} = \sqrt{1117^2 + 609^2} = 1272 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Составляем расчетную схему и строим эпюру (рисунок 12).

Результирующее напряжение на валу от совместного действия изгибающего и крутящего моментов:

$$\sigma = \frac{\sqrt{M_{И}^2 + M_{КР}^2}}{0,1 \cdot d^3} \cdot 1000, \quad (70)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{1272^2 + 2787^2}}{0,1 \cdot 63^3} \cdot 1000 = 123 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 250 \text{ МПа}.$$

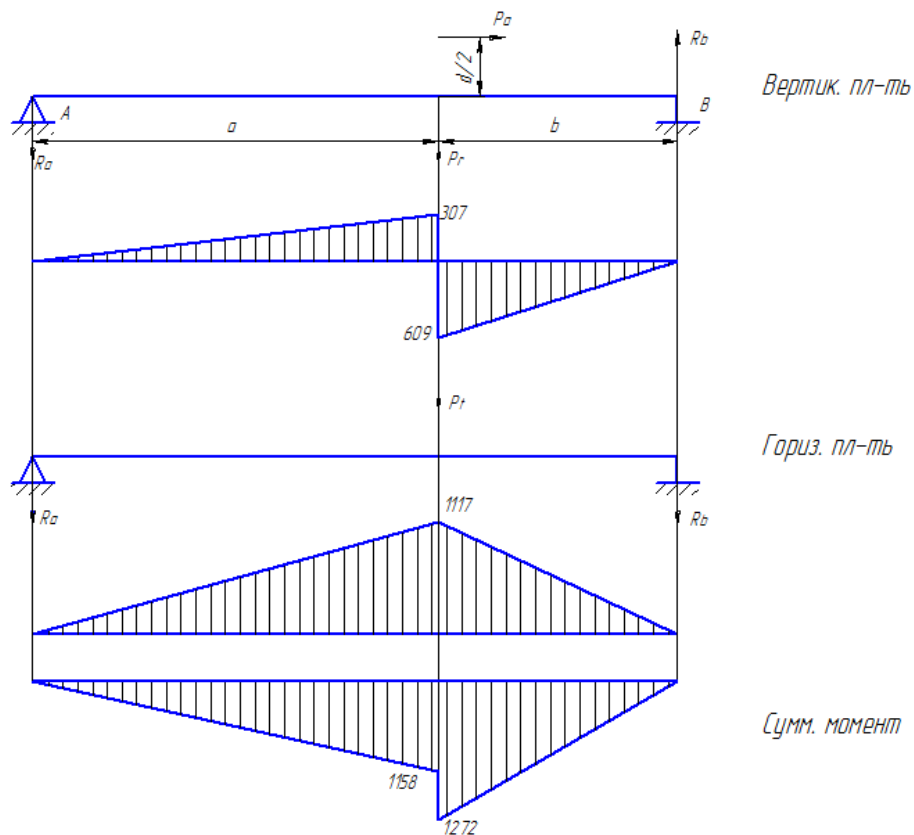


Рисунок 12 – Силы и моменты, действующие на промежуточный вал.

Расчет сил и моментов, действующих на корпус дифференциала.

Крутящий момент, подходящий к корпусу дифференциала:

$$M_6 = 11302 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

С учетом коэффициента пробегга эквивалентный момент $M_\delta=3512 \text{ Н}\cdot\text{м}$.

Определяем численные значения сил, действующих на зубчатый венец.

$$P_t = \frac{2M_\delta}{d}, \quad (71)$$

$$P_t = \frac{2 \cdot 3512}{0,211} = 33448 \text{ Н.}$$

$$P_r = \frac{P_t \cdot \operatorname{tg} \alpha}{\cos \beta}, \quad (72)$$

$$P_r = \frac{33448 \cdot \operatorname{tg} 20}{\cos 18} = 12801 \text{ Н.}$$

$$P_a = P_t \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (73)$$

$$P_a = 33448 \cdot \operatorname{tg} 18 = 10868 \text{ Н.}$$

Геометрические размеры: $a=105 \text{ мм}$, $b=86 \text{ мм}$.

Определяем изгибающие моменты на валу. Расчетная схема и эпюры приведены на рисунке 12.

Рассматриваем вертикальную (условно) плоскость.

$$\Sigma M_A = 0; P_r \cdot a = P_a \cdot \frac{d}{2} + R_B \cdot (a + b), \quad (74)$$

$$R_B = \frac{P_r \cdot a - P_a \cdot \frac{d}{2}}{a + b} = \frac{12801 \cdot 0,105 - 10868 \cdot 0,105}{0,191} = 1063 \text{ Н.}$$

$$\Sigma M_B = 0; P_r \cdot b + P_a \cdot \frac{d}{2} = R_A \cdot (a + b), \quad (75)$$

$$R_A = \frac{P_r \cdot b + P_a \cdot \frac{d}{2}}{a + b} = \frac{12801 \cdot 0,086 + 10868 \cdot 0,105}{0,191} = 11738 \text{ Н.}$$

$$M_{Cл} = R_A \cdot a, \quad (76)$$

$$M_{Ct} = 11738 \cdot 0,105 = 1232 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{Cnn} = R_B \cdot b, \quad (77)$$

$$M_{Cnn} = 1063 \cdot 0,086 = 91 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обозначения: «л» и «пр» – соответственно – слева и справа от левой опоры.

Рассматриваем горизонтальную (условно) плоскость.

$$\Sigma M_A = 0; R_B = \frac{P_t \cdot a}{a + b}, \quad (78)$$

$$R_B = \frac{33448 \cdot 0,105}{0,191} = 18388 \text{ Н}.$$

$$R_A = P_t - R_B, \quad (79)$$

$$R_A = 33448 - 18388 = 15060 \text{ Н}.$$

$$M_C = R_A \cdot a, \quad (80)$$

$$M_C = 15060 \cdot 0,105 = 1581 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Суммарные величины:

$$R_{A\Sigma} = \sqrt{R_{Az}^2 + R_{Ae}^2}, \quad (81)$$

$$R_{A\Sigma} = \sqrt{15060^2 + 11738^2} = 19094 \text{ Н}.$$

$$R_{B\Sigma} = \sqrt{R_{Bz}^2 + R_{Be}^2}, \quad (82)$$

$$R_{B\Sigma} = \sqrt{18388^2 + 1063^2} = 18419 \text{ Н}.$$

Здесь индексы «г» и «в» означают горизонтальную и вертикальную плоскость соответственно.

$$M_{Cl} = \sqrt{M_{Clz}^2 + M_{Cnv}^2}, \quad (83)$$

$$M_{Cl} = \sqrt{1581^2 + 1232^2} = 2004 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$$M_{Cnp} = \sqrt{M_{Cnpz}^2 + M_{Cnpv}^2}, \quad (84)$$

$$M_{Cnp} = \sqrt{1581^2 + 91^2} = 1584 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Результирующее напряжение на валу от совместного действия изгибающего и крутящего моментов:

$$\sigma = \frac{\sqrt{M_H^2 + M_{KP}^2}}{0,1 \cdot d_H^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{d_g}{d_H}\right)^4\right)} \cdot 1000, \quad (85)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{2004^2 + 3512^2}}{0,1 \cdot 75^3 \cdot \left(1 - \left(\frac{48}{75}\right)^4\right)} \cdot 1000 = 115 \text{ МПа} \leq [\sigma] = 250 \text{ МПа}$$

Расчетная схема и эпюры действующие на корпус дифференциала приведены на рисунке 13.

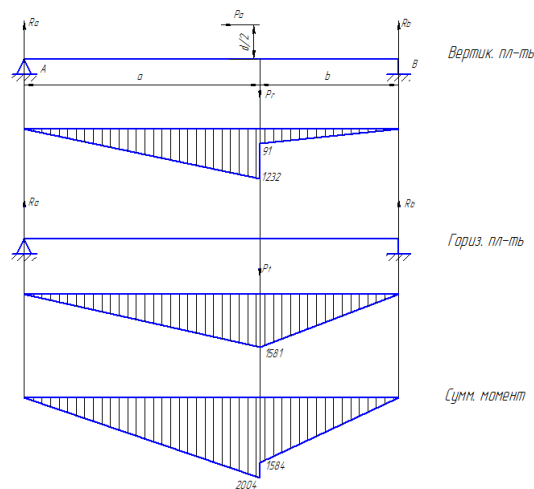


Рисунок 13 – Силы и моменты, действующие на корпус дифференциала

Расчет валов привода переднего и заднего мостов.

Валы привода переднего и заднего мостов в данном случае рассчитываются аналогично полностью разгруженной полуоси моста. Валы нагружаются только крутящим моментом, передаваемым от дифференциала на ведущие мосты. Расчет полностью разгруженных полуосей ведется только на кручение, при этом расчетным моментом является максимальный момент по двигателю.

$$\tau = \frac{M_{кр}}{0,2 \cdot d_e^3}, \quad (86)$$

$$\tau = \frac{3512}{0,2 \cdot 48^3} = 159 \text{ МПа.}$$

Допустимые напряжения кручения – $[\tau]=200$ МПа.

3.6 Расчет подшипников

Расчет подшипника выполняем для наиболее нагруженной опоры.

Исходные данные: размеры подшипника 7315А, $d=75$ мм, $D=160$ мм, $B=40$ мм.

Динамическая грузоподъемность $C=229$ кН.

Статическая грузоподъемность $C_0=185$ кН.

Радиальная нагрузка на подшипник $F_r=6114,4$ Н.

Осевая нагрузка на подшипник $F_a=3480$ Н.

Частота вращения кольца подшипника $n=281,3$ мин⁻¹.

Эквивалентная динамическая нагрузка

$$P = K_\sigma \cdot K_T \cdot (XVF_t + YF_a) \quad (87)$$

где X – коэффициент радиальной нагрузки;

Y – коэффициент осевой нагрузки;

K_σ – коэффициент безопасности, $K_\sigma = 1,3$;

K_T – температурный коэффициент, $K_T = 1$ при температуре подшипникового узла $T < 105^\circ\text{C}$;

V – коэффициент вращения, $V = 1$ при вращении внутреннего кольца подшипника.

Для роликового подшипника принимаем $X=1$, $Y=1$.

$$P = 1,3 \cdot 1 \cdot (1 \cdot 1 \cdot 12801 + 1 \cdot 10868) = 30770 \text{ Н.}$$

Долговечность подшипника при максимальной нагрузке, ч:

$$L_h = \frac{10^6}{60n} \left(\frac{C}{P} \right)^m, \quad (88)$$

где $m=10/3$ показатель степени кривой усталости для роликовых подшипников.

$$L_h = \frac{10^6}{60 \cdot 111,1} \cdot \left(\frac{229}{30,8} \right)^{10/3} = 120342 \text{ ч.}$$

Если задан типовой режим нагружения, то эквивалентная долговечность подшипника.

$$L_E = \frac{L_h}{\mu_h}, \quad (89)$$

где μ_h – коэффициент эквивалентности, определяемый в зависимости от типового режима нагружения, для тяжелого режима нагружения $\mu_h = 0,5$.

$$L_E = \frac{120342}{0,5} = 240684 \text{ ч.}$$

Для подшипников должно выполняться условие $L_E \geq 12500$ ч.

Выбранный подшипник удовлетворяет заданным условиям работы.

3.7 Расчет шлицевых соединений

В данном случае необходимо рассчитать шлицевые соединения шестерен с валами раздаточной коробки.

Шлицевое соединение ведущего вала заднего моста с дифференциалом (позиция 1 рисунок 14).

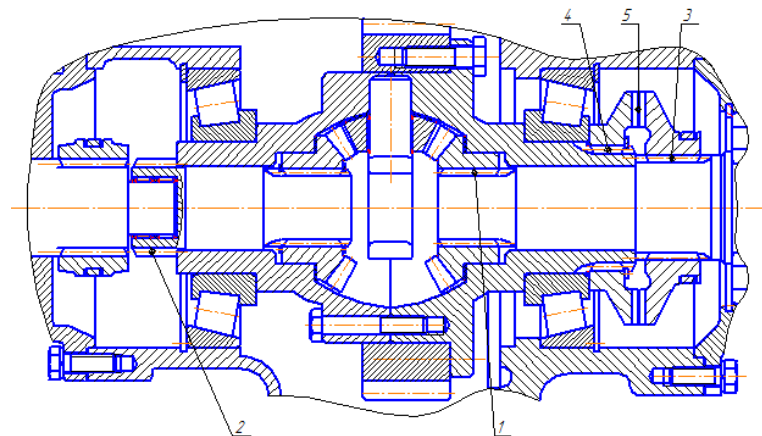


Рисунок 14 – Шлицевые соединения

Расчет производится при включенной муфте блокировки дифференциала и отключенном переднем приводе, так как в этом случае через шлицевое соединение передается наибольший крутящий момент.

Рабочая длина соединения – $l_p=35$ мм.

Передаваемый крутящий момент – $M_{кр}=3512$ Н·м.

Материал сателлита дифференциала сталь 20ХН3А, вала – сталь 40Х. Рабочие поверхности шлицев термически обработаны.

По справочным таблицам находим размеры данного прямобочного шлицевого соединения: получаем $z \times d \times D=10 \times 36 \times 45$, $f=0,4$, $r=0,3$.

По таблице при данных условиях эксплуатации принимаем $[\sigma]_{см}=150\dots 200$ МПа.

Средний диаметр соединения:

$$d_{cp} = \frac{d + D}{2}, \quad (90)$$

$$d_{cp} = \frac{36 + 45}{2} = 40,5 \text{ мм.}$$

Площадь смятия рабочей поверхности одного зуба соединения рассчитывается по формуле:

$$F_{см} = \left(\frac{D - d}{2} - f \right) \cdot l_p, \quad (91)$$

$$F_{см} = \left(\frac{45 - 36}{2} - 0,4 \right) \cdot 35 = 143,5 \text{ мм}^2.$$

Принятые размеры шлицевого соединения проверяем на смятие по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot M_{кр}}{0,75 \cdot z \cdot d_{cp} \cdot F_{см}}, \quad (92)$$

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 3512}{0,75 \cdot 10 \cdot 40,5 \cdot 143,5} = 161 \text{ МПа.}$$

Так как в данном случае полученное значение $\sigma_{см}$ меньше допускаемого $[\sigma_{см}]$, следовательно, рассчитанное шлицевое соединение можно признать годным по условию смятия.

Шлицевое соединение муфты отключения переднего привода (позиция 2 рисунок 14).

Расчет ведется при включенной муфте блокировки дифференциала и включенном переднем приводе.

Рабочая длина соединения – $l_p=40$ мм.

Передаваемый крутящий момент – $M_{кр}=1756$ Н·м.

Материал муфты и вала – сталь 40Х. Рабочие поверхности шлицев термически обработаны.

По справочным таблицам находим размеры данного прямобочного шлицевого соединения: получаем $z \times d \times D=10 \times 46 \times 56$, $f=0,5$, $r=0,5$.

По таблице при данных условиях эксплуатации принимаем $[\sigma]_{см}=150 \dots 200$ МПа.

Средний диаметр соединения (формула 90):

$$d_{cp} = \frac{46 + 56}{2} = 51 \text{ мм.}$$

Площадь смятия рабочей поверхности одного зуба соединения рассчитывается по формуле 91:

$$F_{см} = \left(\frac{56 - 46}{2} - 0,5 \right) \cdot 18 = 81 \text{ мм}^2.$$

Принятые размеры шлицевого соединения проверяем на смятие по формуле 92:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 1756}{0,75 \cdot 10 \cdot 51 \cdot 81} = 113 \text{ МПа.}$$

Так как в данном случае полученное значение $\sigma_{см}$ меньше допускаемого $[\sigma_{см}]$, следовательно, рассчитанное шлицевое соединение можно признать годным по условию смятия.

Шлицевое соединение муфты включения блокировки дифференциала с

выходным валом заднего моста (позиция 3 рисунок 14).

Расчет ведется при включенной муфте блокировки дифференциала и выключенном переднем приводе.

Рабочая длина соединения – $l_p=32$ мм.

Передаваемый крутящий момент – $M_{кр}=3512$ Н·м.

Материал муфты и вала – сталь 40Х. Рабочие поверхности шлицев термически обработаны.

По справочным таблицам находим размеры данного прямобочного шлицевого соединения: получаем $z \times d \times D=16 \times 52 \times 60$, $f=0,5$, $r=0,5$.

По таблице при данных условиях эксплуатации принимаем $[\sigma]_{см}=150 \dots 200$ МПа.

Средний диаметр соединения (формула 90):

$$d_{cp} = \frac{52 + 60}{2} = 56 \text{ мм.}$$

Площадь смятия рабочей поверхности одного зуба соединения рассчитывается по формуле 91:

$$F_{см} = \left(\frac{60 - 52}{2} - 0,5 \right) \cdot 32 = 112 \text{ мм}^2.$$

Принятые размеры шлицевого соединения проверяем на смятие по формуле 92:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 3512}{0,75 \cdot 16 \cdot 56 \cdot 112} = 93 \text{ МПа.}$$

Так как в данном случае полученное значение $\sigma_{см}$ меньше допускаемого $[\sigma_{см}]$, следовательно, рассчитанное шлицевое соединение можно признать

годным по условию смятия.

Шлицевое соединение муфты включения блокировки дифференциала с корпусом дифференциала (позиция 4 рисунок 14).

Расчет ведется при включенной муфте блокировки дифференциала и выключенном переднем приводе.

Рабочая длина соединения – $l_p=20$ мм.

Передаваемый крутящий момент – $M_{кр}=3512$ Н·м.

Материал муфты и корпуса дифференциала – сталь 40Х. Рабочие поверхности шлицев термически обработаны.

По справочным таблицам находим размеры данного прямобоочного шлицевого соединения: получаем $z \times d \times D=16 \times 62 \times 72$, $f=0,5$, $r=0,5$.

По таблице при данных условиях эксплуатации принимаем $[\sigma]_{см}=150 \dots 200$ МПа.

Средний диаметр соединения (формула 90):

$$d_{cp} = \frac{62 + 72}{2} = 67 \text{ мм.}$$

Площадь смятия рабочей поверхности одного зуба соединения рассчитывается по формуле 91:

$$F_{см} = \left(\frac{72 - 62}{2} - 0,5 \right) \cdot 20 = 90 \text{ мм}^2.$$

Принятые размеры шлицевого соединения проверяем на смятие по формуле 92:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 3512}{0,75 \cdot 16 \cdot 67 \cdot 90} = 97 \text{ МПа.}$$

Так как в данном случае полученное значение $\sigma_{см}$ меньше допускового $[\sigma_{см}]$, следовательно, рассчитанное шлицевое соединение можно признать

годным по условию смятия.

Торцевое соединение муфты включения блокировки дифференциала (позиция 5 рисунок 14).

Расчет ведется при включенной муфте блокировки дифференциала и выключенном переднем приводе.

Рабочая длина соединения – $l_p=20$ мм.

Передаваемый крутящий момент – $M_{кр}=3512$ Н·м.

Материал муфты и корпуса дифференциала – сталь 40Х. Рабочие поверхности шлицев термически обработаны.

По таблице при данных условиях эксплуатации принимаем $[\sigma]_{см}=150\dots 200$ МПа.

Средний диаметр соединения (формула 90):

$$d_{cp} = \frac{93+133}{2} = 113 \text{ мм.}$$

Площадь смятия рабочей поверхности одного зуба соединения рассчитывается по формуле 91:

$$F_{см} = (3,5 - 0,4) \cdot 20 = 62 \text{ мм}^2.$$

Принятые размеры шлицевого соединения проверяем на смятие по формуле:

$$\sigma_{см} = \frac{2 \cdot 3512}{0,75 \cdot 10 \cdot 113 \cdot 62} = 134 \text{ МПа.}$$

Так как в данном случае полученное значение $\sigma_{см}$ меньше допускаемого $[\sigma_{см}]$, следовательно, рассчитанное шлицевое соединение можно признать годным по условию смятия.

3.8 Расчет межосевого дифференциала

«Дифференциалом называется механизм трансмиссии, распределяющий крутящий момент двигателя между ведущими колесами и ведущими мостами автомобиля. Дифференциал обеспечивает разную скорость вращения ведущих колес при движении автомобиля по неровным дорогам и на поворотах.

Габаритные размеры дифференциала. В связи с тем, что дифференциал обычно устанавливается внутри раздаточной коробки, его габаритные размеры имеют важное значение. Наименьшие габаритные размеры имеет конический симметричный дифференциал» [30].

«Выбор прототипа дифференциала.

Для данного типа АТС наиболее оптимальным является конический симметричный дифференциал.

Конический симметричный дифференциал является дифференциалом малого трения, так как имеет небольшое внутреннее трение. Конический симметричный дифференциал малого трения прост по конструкции, имеет небольшие размеры и массу, высокие КПД и надёжность, обеспечивает хорошие управляемость и устойчивость, уменьшает изнашивание шин и расход топлива. Этот дифференциал также называют простым дифференциалом.

К дифференциалу предъявляют следующие требования, в соответствии с которыми он должен:

- распределять крутящий момент между ведущими мостами, обеспечивая автомобилю наилучшие тягово-скоростные свойства, проходимость, управляемость и устойчивость;
- иметь минимальные габаритные размеры» [32].

«При расчёте дифференциала рассчитывают полуосевые шестерни, сателлиты и крестовину сателлитов на прочность.

Расчёт шестерен и сателлитов

Расчёт полуосевых шестерен и сателлитов дифференциала на прочность выполняется аналогично расчёту на прочность шестерен главной передачи (рисунок 15). При этом различается только определение окружной силы, действующей на зубья шестерен. При расчете считают, что окружная сила распределяется поровну между всеми сателлитами и каждый сателлит передает усилие двумя зубьями» [31].

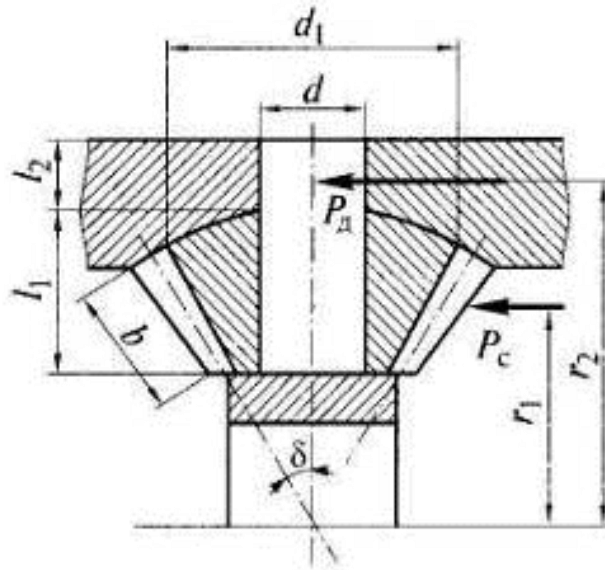


Рисунок 15 – Схема для расчёта конического дифференциала
«Окружная сила, действующая на один сателлит:

$$P_c = \frac{M_{кр}}{2 \cdot r_1 \cdot n_c}, \quad (93)$$

где $M_{кр}$ – крутящий момент подводимый к корпусу дифференциала;

r_1 – радиус приложения окружной силы;

n_c – число сателлитов» [32].

$$P_c = \frac{3512}{2 \cdot 0,038 \cdot 4} = 11553 \text{ Н.}$$

«Напряжение изгиба в зубьях полуосевых шестерен и сателлитов:

$$\sigma_{изг} = 0,36 \cdot \frac{P_c}{b \cdot m_n \cdot y}, \quad (94)$$

где b – ширина шестерни - сателлита;

m_n – нормальный модуль;

y – коэффициент формы зуба» [32].

Допустимые напряжения изгиба $[\sigma_{изг}] = 500 \dots 800$ МПа.

Материал шестерен и сателлитов – сталь 20ХНЗА.

$$\sigma_{изг} = 0,36 \cdot \frac{11553}{19 \cdot 4 \cdot 1} = 54 \text{ МПа} \quad \text{– шестерня вала;}$$

$$\sigma_{изг} = 0,36 \cdot \frac{11553}{19 \cdot 2,5 \cdot 1} = 88 \text{ МПа} \quad \text{– сателлит.}$$

«Расчёт оси сателлитов.

У оси рассчитывают шипы под сателлитами и в местах крепления в корпусе дифференциала. Ось под сателлитом рассчитывают на смятие и на срез:

напряжения смятия:

$$\sigma_{см} = \frac{P_c}{d \cdot l_1}, \quad (95)$$

где l_1 – длина оси под сателлитом;

$$\sigma_{см} = \frac{11553}{25 \cdot 25} = 18,5 \text{ МПа.}$$

$\sigma_{см} < 60$ МПа – условие выполнено.

напряжения среза:

$$\tau_{cp} = \frac{4 \cdot P_c}{\pi \cdot d^2}, \quad (96)$$

где d – диаметр оси.

$$\tau_{cp} = \frac{4 \cdot 11553}{3,14 \cdot 25^2} = 23,5 \text{ МПа.}$$

$\tau_{cp} < 100$ МПа – условие выполнено.

Допустимые напряжения смятия $[\sigma_{см}] = 50 \dots 60$ МПа.

Допустимые напряжения среза $[\tau_{cp}] = 100 \dots 120$ МПа.

Ось в месте крепления в корпусе дифференциала рассчитывают на смятие:

$$\sigma_{см} = \frac{P_\delta}{d \cdot l_2}, \quad (97)$$

где P_δ – окружная сила, действующая на ось;

l_2 – длина заделки оси в корпусе дифференциала.

$$P_\delta = \frac{M_{кр}}{r_2 \cdot n_c}, \quad (98)$$

где r_2 – радиус приложения окружной силы оси.

$$P_\delta = \frac{3512}{0,065 \cdot 4} = 13508 \text{ Н,}$$

$$\sigma_{см} = \frac{13508}{25 \cdot 20} = 27 \text{ МПа.}$$

$\sigma_{см} < 60$ МПа – условие выполнено.

Допустимые напряжения смятия $[\sigma_{см}] = 50 \dots 60$ МПа» [22].

«При расчёте дифференциала по давлению торца сателлита на корпус дифференциала в месте контакта определяют напряжения смятия:

$$\sigma_{см} = \frac{Q}{F_c}, \quad (99)$$

$$\sigma_{см} = \frac{3633}{1855,5} = 1,96 \text{ МПа.}$$

$[\sigma_{см}] < 10 \text{ МПа}$ – условие выполнено.

$$Q = P_c \cdot \operatorname{tg} \alpha \cdot \sin \delta, \quad (100)$$

где P_c – осевая сила, действующая на сателлит;

α – угол зацепления;

δ – половина угла начального конуса сателлита.

$$Q = 11553 \cdot \operatorname{tg} 30 \cdot \sin 33 = 3633 \text{ Н.}$$

Торцовая площадь сателлита:

$$F_c = \pi \cdot \frac{d_1^2 - d^2}{4}, \quad (101)$$

где d_1 – диаметр поверхности контакта сателлита с корпусом дифференциала.

$$F_c = 3,14 \cdot \frac{54^2 - 23,5^2}{4} = 1855,5 \text{ мм}^2.$$

Допустимые напряжения смятия $[\sigma_{см}] = 10 \dots 20 \text{ МПа}$ » [22].

Спецификация на модернизированную раздаточную коробку КамАЗ-4326 представлена в Приложении А (рисунки А.1, А.2, А.3, А.4, А.5).

Выводы по разделу.

В разделе «Конструкторская часть» проведен обзор и анализ исходных данных и существующих решений, выполнено описание принципа работы проектируемой раздаточной коробки, сделаны расчеты зубчатых колес, валов, подшипников, шлицевых соединений, межосевого дифференциала.

Далее предлагается рассмотреть «Технологический раздел», в котором необходимо провести обоснование выбора технологического процесса сборки первичного вала, вала промежуточного раздаточной коробки, дифференциала и общую сборку узла.

Также требуется определить трудоемкость сборки модернизированной раздаточной коробки передач, которая разрабатывалась для улучшения эксплуатационных характеристик автомобиля.

4 Технологический раздел

4.1 Обоснование выбора технологического процесса

Процесс сборки является одним из заключительных этапов изготовления машины.

«Организационная форма сборки машин определяется типом и условиями производства. При этом решающими факторами являются годовой объем выпуска изделий, трудоемкость сборочных работ и экономическая эффективность» [33].

Для сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик предлагается мелкосерийная сборка, так как данный вид модернизации не будет иметь большого количества заказов, а, следовательно, не требуется постановка изготовления на «поток».

В мелкосерийном производстве используют форму стационарной непоточной сборки с дифференциацией процесса на узловую и общую сборку. Процесс выполняется бригадами рабочих со специализацией по видам сборочных работ. Областью экономичного использования данного вида сборки является мелкосерийное производство средних по размеру и крупных машин.

Определяем такт выпуска:

$$T_d = \frac{F_d \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (102)$$

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

m – количество смен, принимается равным 1;

N – годовой объем выпуска, принимается равным 200.

$$T_d = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{200} = 621 \text{ мин.}$$

Следующим этапом является составление технологической схемы сборки, в которой отражена последовательность соединения составных элементов конструкции (детали, сборочные единицы).

Технологическая схема сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик представлена в графической части ВКР.

На основании технологической схемы сборки, составляем перечень сборочных работ узловой и общей сборки.

Перечень выполняем в виде таблицы (таблица 6), содержащей наименование сборочных работ и данные о нормировании всех необходимых видов работ.

Таблица 6 – Перечень сборочных работ

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции, мин
Сборка первичного вала	
Взять вал первичный раздаточной коробки	0,2
Осмотреть вал первичный раздаточной коробки	0,3
Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.	0,2
Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.	0,2
Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника на вал первичный раздаточной коробки	0,6
Взять шестерню ведущую первичного вала в сборе	0,2
Осмотреть шестерню ведущую первичного вала в сборе	0,3
Установить шестерню ведущую первичного вала в сборе на первичный вал раздаточной коробки	0,9
Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.	0,2
Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.	0,2
Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника на вал первичный раздаточной коробки	0,8
Сборка вала промежуточного раздаточной коробки	
Взять вал промежуточный раздаточной коробки	0,2
Осмотреть вал промежуточный раздаточной коробки	0,3
Взять шестерню постоянного зацепления промежуточного вала	0,2

Продолжение таблицы 6

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции, мин
Осмотреть шестерню постоянного зацепления промежуточного вала	0,3
Установить шестерню постоянного зацепления промежуточного вала на вал промежуточный раздаточной коробки	1,2
Взять подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М	0,2
Осмотреть подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М	0,3
Установить подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М на вал промежуточный раздаточной коробки	0,9
Взять шайбу	0,1
Установить шайбу на вал промежуточный раздаточной коробки	0,2
Взять гайку М33×1,5-6Н	0,2
Наживить гайку М33×1,5-6Н на вал промежуточный раздаточной коробки	0,8
Закрутить гайку М33×1,5-6Н	0,9
Взять каретку включения первой передачи	0,2
Осмотреть каретку включения первой передачи	0,3
Установить каретку включения первой передачи на вал промежуточный раздаточной коробки	1
Взять шестерню первой передачи промежуточного вала	0,2
Осмотреть шестерню первой передачи промежуточного вала	0,3
Установить шестерню первой передачи промежуточного вала на вал промежуточный раздаточной коробки	1
Взять подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец	0,2
Осмотреть подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец	0,3
Установить подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец на вал промежуточный раздаточной коробки	1,1
Взять кольцо распорное роликовых подшипников	0,2
Осмотреть кольцо распорное роликовых подшипников	0,3
Установить кольцо распорное роликовых подшипников на вал промежуточный раздаточной коробки	0,6
Взять подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец	0,2
Осмотреть подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец	0,3
Установить подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец на вал промежуточный раздаточной коробки	0,6
Взять шайбу	0,1
Установить шайбу на вал промежуточный раздаточной коробки	0,2
Взять подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М	0,2

Продолжение таблицы 6

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции, мин
Осмотреть подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М	0,3
Установить подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М на вал промежуточный раздаточной коробки	1,1
Взять шайбу	0,1
Установить шайбу на вал промежуточный раздаточной коробки	0,2
Сборка дифференциала	
Взять обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,2
Осмотреть обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,3
Взять шестерню привода заднего моста (сварка)	0,2
Осмотреть шестерню привода заднего моста (сварка)	0,3
Установить шестерню привода заднего моста (сварка) на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	2,5
Взять ступицу шестерни низшей передачи с втулкой в сборе	0,2
Осмотреть ступицу шестерни низшей передачи с втулкой в сборе	0,3
Установить ступицу шестерни низшей передачи с втулкой в сборе на шестерню привода заднего моста (сварка) при помощи болтов М10×1,25-6g×23,5 12 шт.	8
Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7218А	0,2
Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7218А	0,3
Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7218А на шестерню привода заднего моста (сварка)	1,20
Взять шайбу опорную шестерни высшей передачи привода дифференциала	0,2
Установить шайбу опорную шестерни высшей передачи привода дифференциала на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,8
Взять ролик 5,5×15,8	0,2
Установить ролик 5,5×15,8 на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,8
Взять кольцо распорное роликовых подшипников шестерни высшей передачи	0,2
Установить кольцо распорное роликовых подшипников шестерни высшей передачи на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,8
Взять ролик 5,5×15,8	0,2
Установить ролик 5,5×15,8 на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,8
Взять каретку включения первой передачи	0,2
Осмотреть каретку включения первой передачи	0,3
Установить каретку включения первой передачи на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	1,2

Продолжение таблицы 6

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции, мин
Взять шестерню высшей передачи привода заднего моста	0,2
Осмотреть шестерню высшей передачи привода заднего моста	0,3
Установить шестерню высшей передачи привода заднего моста на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	1,2
Взять втулку шлицевую	0,2
Осмотреть втулку шлицевую	0,3
Установить втулку шлицевую на шестерню высшей передачи привода заднего моста	0,8
Взять каретку включения первой передачи	0,2
Осмотреть каретку включения первой передачи	0,3
Установить каретку включения первой передачи на втулку шлицевую	0,9
Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7315А	0,2
Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7315А	0,3
Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7315А на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	1,1
Взять гайку М72×1.5-6Н	0,2
Наживить гайку М72×1.5-6Н на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	0,4
Закрутить гайку М72×1.5-6Н	0,8
Общая сборка	
Взять картер раздаточной коробки	0,2
Осмотреть картер раздаточной коробки	0,4
Взять дифференциал раздаточной коробки в сборе	0,3
Установить дифференциал раздаточной коробки в сборе в нижнюю часть картера раздаточной коробки	13
Взять вал промежуточный раздаточной коробки в сборе	0,3
Установить промежуточный раздаточной коробки в сборе в среднюю часть картера раздаточной коробки	13
Взять вал первичный раздаточной коробки в сборе	0,3
Установить первичный раздаточной коробки в сборе в верхнюю часть картера раздаточной коробки	13
Взять механизм включения высшей передачи в сборе	0,3
Установить механизм включения высшей передачи в сборе	15
Взять механизм включения низшей передачи в сборе	0,3
Установить механизм включения низшей передачи в сборе	15
Взять прокладку крышки картера	0,2
Установить прокладку крышки картера на боковую плоскость разъема картера раздаточной коробки	2,5
Взять крышку картера раздаточной коробки	0,2
Осмотреть крышку картера раздаточной коробки	0,4
Установить крышку картера раздаточной коробки на картер раздаточной коробки с прокладкой	0,7

Продолжение таблицы 6

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции t_{on} , мин
Взять болт М12×1,25-6g×50 20 шт.	0,8
Взять шайбу 12 пружинную 20 шт.	0,8
Надеть шайбу 12 пружинную 20 шт. на болт М12×1,25-6g×50 20 шт.	4
Наживить болт М12×1,25-6g×50 20 шт. крышку картера раздаточной коробки	5
Закрутить болт М12×1,25-6g×50 20 шт.	5
Произвести обкатку и испытание раздаточной коробки	8
Итого:	256,4

4.2 Определение трудоемкости сборки

«Определяем общее оперативное время на все виды работ по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots + t_{on_n}, \quad (103)$$

Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{ум}^{общ} = t_{on}^{общ} + t_{on}^{общ} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (104)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах, которая принимается в диапазоне от 2 до 3%, принимаем 3%;

β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах, которая принимается в диапазоне от 4 до 6%, принимаем 5%» [20].

$$t_{ум}^{общ} = 8,9 + 8,9 \cdot \left(\frac{3 + 5}{100} \right) = 9,612 \text{ мин.}$$

4.3 Составление технологического процесса сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326

Последовательность технологических операций с указанием приспособлений и затрачиваемого на выполнение операций времени заносим в таблицу 7.

Таблица 7 – Технологический процесс сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
Сборка первичного вала					
005	Сборочная	1	Взять вал первичный раздаточной коробки	Набор гаечных ключей, головок, плоскогубцы, оправка, спецключ для круглых шлицевых гаек 90-95, шестигранные ключи 8, 12 мм, динамометрический ключ КРМ-60, съемники подшипников раздаточной коробки из комплекта И801-02, сменная головка 17 мм, спецпассатижи И801.22.000-01, И801.23.000-01, захват для агрегатов, прессы, тиски, оправка, вороток, подставка, медный молоток, бронзовая выколотка,	4,1
		2	Осмотреть вал первичный раздаточной коробки		
		3	Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.		
		4	Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.		
		5	Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника на вал первичный раздаточной коробки		
		6	Взять шестерню ведущую первичного вала в сборе		
		7	Осмотреть шестерню ведущую первичного вала в сборе		
		8	Установить шестерню ведущую первичного вала в сборе на первичный вал		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
			раздаточной коробки	кернер, отвертка, молоток, набор щупов, волосяная кисть, посуда для пасты, смазки, керосина, динамометрическая рукоятка, 131М, слесарный верстак, упор, шпильковерт	
		9	Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.		
		10	Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 1 шт.		
		11	Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника на вал первичный раздаточной коробки		
Сборка вала промежуточного раздаточной коробки					
010	Сборочная	1	Взять вал промежуточный раздаточной коробки	Набор гаечных ключей, головок, плоскогубцы, оправка, спецключ для круглых шлицевых гаек 90-95, шестигранные ключи 8, 12 мм, динамометрический ключ КРМ-60, съемники подшипников раздаточной коробки из комплекта И801-02, сменная головка 17 мм, спецпассатижи И801.22.000-01, И801.23.000-01, захват для агрегатов, пресс, тиски, оправка, вороток, подставка,	14,8
		2	Осмотреть вал промежуточный раздаточной коробки		
		3	Взять шестерню постоянного зацепления промежуточного вала		
		4	Осмотреть шестерню постоянного зацепления промежуточного вала		
		5	Установить шестерню постоянного зацепления промежуточного вала на вал промежуточный раздаточной коробки		
		6	Взять подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
		7	Осмотреть подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М	медный молоток, бронзовая выколотка, кернер, отвертка, молоток, набор щупов, волосяная кисть, посуда для пасты, смазки, керосина, динамометрическая рукоятка, 131М, слесарный верстак, упор, шпильковерт	
		8	Установить подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М на вал промежуточный раздаточной коробки		
		9	Взять шайбу		
		10	Установить шайбу на вал промежуточный раздаточной коробки		
		11	Взять гайку М33×1,5-6Н		
		12	Наживить гайку М33×1,5-6Н на вал промежуточный раздаточной коробки		
		13	Закрутить гайку М33×1,5-6Н		
		14	Взять каретку включения первой передачи		
		15	Осмотреть каретку включения первой передачи		
		16	Установить каретку включения первой передачи на вал промежуточный раздаточной коробки		
		17	Взять шестерню первой передачи промежуточного вала		
		18	Осмотреть шестерню первой передачи промежуточного вала		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		19	Установить шестерню первой передачи промежуточного вала на вал промежуточный раздаточной коробки		
		20	Взять подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец		
		21	Осмотреть подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец		
		22	Установить подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец на вал промежуточный раздаточной коробки		
		23	Взять кольцо распорное роликовых подшипников		
		24	Осмотреть кольцо распорное роликовых подшипников		
		25	Установить кольцо распорное роликовых подшипников на вал промежуточный раздаточной коробки		
		26	Взять подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
			без колец		
		27	Осмотреть подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец		
		28	Установить подшипник 664913Д роликовый радиальный с длинными цилиндрическими роликами двухрядный без колец на вал промежуточный раздаточной коробки		
		29	Взять шайбу		
		30	Установить шайбу на вал промежуточный раздаточной коробки		
		31	Взять подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М		
		32	Осмотреть подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М		
		33	Установить подшипник роликовый радиальный однорядный с короткими цилиндрическими роликами 12611М на вал промежуточный раздаточной коробки		
		34	Взять шайбу		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время мин.
			Установить шайбу на вал промежуточный раздаточной коробки		
Сборка дифференциала					
015	Сборочная	1	Взять обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе	Набор гаечных ключей, головок, плоскогубцы, оправка, спецключ для круглых шлицевых гаек 90-95, шестигранные ключи 8, 12 мм, динамометрический ключ КРМ-60, съемники подшипников раздаточной коробки из комплекта И801-02, сменная головка 17 мм, спецпассажи И801.22.000-01, И801.23.000-01, захват для агрегатов, пресс, тиски, оправка, вороток, подставка, медный молоток, бронзовая выколотка, кернер, отвертка, молоток, набор щупов, волосяная кисть, посуда для пасты, смазки, керосина, динамометрическая рукоятка, 131М, слесарный верстак, упор, шпильковерт	26,8
		2	Осмотреть обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		3	Взять шестерню привода заднего моста (сварка)		
		4	Осмотреть шестерню привода заднего моста (сварка)		
		5	Установить шестерню привода заднего моста (сварка) на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		6	Взять ступицу шестерни низшей передачи с втулкой в сборе		
		7	Осмотреть ступицу шестерни низшей передачи с втулкой в сборе		
		8	Установить ступицу шестерни низшей передачи с втулкой в сборе на шестерню привода заднего моста (сварка) при помощи болтов М10×1,25-6g×23,5 12 шт.		
		9	Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7218А		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		10	Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7218А		
		11	Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7218А на шестерню привода заднего моста (сварка)		
		12	Взять шайбу опорную шестерни высшей передачи привода дифференциала		
		13	Установить шайбу опорную шестерни высшей передачи привода дифференциала на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		14	Взять ролик 5,5×15,8		
		15	Установить ролик 5,5×15,8 на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		16	Взять кольцо распорное роликовых подшипников шестерни высшей передачи		
		17	Установить кольцо распорное роликовых подшипников шестерни высшей передачи на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		18	Взять ролик 5,5×15,8		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		19	Установить ролик 5,5×15,8 на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		20	Взять каретку включения первой передачи		
		21	Осмотреть каретку включения первой передачи		
		22	Установить каретку включения первой передачи на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		23	Взять шестерню высшей передачи привода заднего моста		
		24	Осмотреть шестерню высшей передачи привода заднего моста		
		25	Установить шестерню высшей передачи привода заднего моста на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		26	Взять втулку шлицевую		
		27	Осмотреть втулку шлицевую		
		28	Установить втулку шлицевую на шестерню высшей передачи привода заднего моста		
		29	Взять каретку включения первой передачи		
		30	Осмотреть каретку включения первой передачи		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		31	Установить каретку включения первой передачи на втулку шлицевую		
		32	Взять кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7315А		
		33	Осмотреть кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7315А		
		34	Установить кольцо внутреннее с сепаратором и роликами подшипника 7315А на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		35	Взять гайку М72×1.5-6Н		
		36	Наживить гайку М72×1.5-6Н на обойму дифференциала раздаточной коробки с сателлитами в сборе		
		37	Закрутить гайку М72×1.5-6Н		
Общая сборка					
020	Сборочная	1	Взять картер раздаточной коробки	Набор гаечных ключей, головок, плоскогубцы, оправка, спецключ для круглых шлицевых гаек 90-95, шестигранные ключи 8, 12 мм, динамометрический ключ КРМ-60, съемники подшипников	90,7
		2	Осмотреть картер раздаточной коробки		
		3	Взять дифференциал раздаточной коробки в сборе		
		4	Установить дифференциал раздаточной коробки в сборе в нижнюю часть картера раздаточной коробки		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		5	Взять вал промежуточный раздаточной коробки в сборе	раздаточной коробки из комплекта И801-02, сменная головка 17 мм, спецпассатижи И801.22.000-01, И801.23.000-01, захват для агрегатов, пресс, тиски, оправка, вороток, подставка, медный молоток, бронзовая выколотка, кернер, отвертка, молоток, набор щупов, волосяная кисть, посуда для пасты, смазки, керосина, динамометрическая рукоятка, 131М, слесарный верстак, упор, шпильковерт	
		6	Установить промежуточный раздаточной коробки в сборе в среднюю часть картера раздаточной коробки		
		7	Взять вал первичный раздаточной коробки в сборе		
		8	Установить первичный раздаточной коробки в сборе в верхнюю часть картера раздаточной коробки		
		9	Взять механизм включения высшей передачи в сборе		
		10	Установить механизм включения высшей передачи в сборе		
		11	Взять механизм включения низшей передачи в сборе		
		12	Установить механизм включения низшей передачи в сборе		
		13	Взять прокладку крышки картера		
		14	Установить прокладку крышки картера на боковую плоскость разъема картера раздаточной коробки		
		15	Взять крышку картера раздаточной коробки		
		16	Осмотреть крышку картера раздаточной коробки		
		17	Установить крышку картера раздаточной коробки на картер раздаточной коробки с		

Продолжение таблицы 7

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
			прокладкой		
		18	Взять болт М12×1,25-6g×50 20 шт.		
		19	Взять шайбу 12 пружинную 20 шт.		
		20	Надеть шайбу 12 пружинную 20 шт. на болт М12×1,25-6g×50 20 шт.		
		21	Наживить болт М12×1,25-6g×50 20 шт. крышку картера раздаточной коробки		
		22	Закрутить болт М12×1,25-6g×50 20 шт.		
025	Испытательная	1	Произвести обкатку и испытание раздаточной коробки	Стенд для обкатки и испытания раздаточных коробок	120

Выводы по разделу.

В разделе «Технологический раздел» выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик.

5 Безопасность и экологичность технического объекта

5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ

Для описания конструктивно-технологической и организационно-технической характеристики технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ составлен технологический паспорт, представленный в таблице 8.

Таблица 8 – Технологический паспорт технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Установка модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ	1 Установка автомобиля КамАЗ на пост. 2 Подготовка к демонтажу раздаточной коробки. 3 Снятие раздаточной коробки. 4 Установка модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326. 6 Снятие автомобиля КамАЗ с поста	Слесарь по ремонту автомобилей 4 разряда	Канавы, набор гаечных ключей, головок, стойка для снятия агрегатов, тележка	Спецодежда перчатки

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Идентификация профессиональных рисков является частью процесса, используемого для оценки того, может ли какая-либо конкретная ситуация, предмет, вещь и так далее причинить вред. Для описания всего процесса часто используется термин «оценка риска», который включает в себя следующие этапы:

- выявление опасностей и факторов риска, которые могут причинить вред (идентификация опасностей);
- анализ и оценка риска, связанного с этой опасностью;
- определение подходящих способов устранения опасности или управления риском, когда опасность не может быть устранена (управление риском).

Сводная информация по идентификации профессиональных рисков при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемая работа	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
1 Установка автомобиля КамАЗ на пост. 2 Подготовка к демонтажу раздаточной коробки. 3 Снятие раздаточной коробки. 4 Установка модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326.	«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля и его деталей и агрегатов	Поверхности автомобиля, детали и агрегаты
6 Снятие автомобиля КамАЗ с поста	«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части производственного оборудования» [9].	Технологическое оборудование, применяемое в зоне текущего ремонта

Продолжение таблицы 9

Выполняемая работа	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	Повышенный уровень шума	Технологическое оборудование, применяемое в зоне текущего ремонта
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, транспорта
	Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	Однообразно повторяющиеся технологические операции
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

«В обязанности работодателя входит обеспечение мероприятий, направленных на улучшение условий труда, в том числе разработанных по результатам специальной оценки условий труда (Федеральный закон «О специальной оценке условий труда» от 28.12.2013 № 426-ФЗ). Работодатель должен направлять на эти цели, согласно статье 226 «Финансирование мероприятий по улучшению условий и охраны труда» Трудового кодекса РФ, не менее 0,2% суммы затрат на производство продукции (работ, услуг).

Специальная оценка условий труда является единым комплексом последовательно осуществляемых мероприятий по идентификации ОиВПФ производственной среды и трудового процесса и оценке уровня их воздействия на работника с учетом отклонения их фактических значений от установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации

федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников» [27].

«Основные мероприятия:

- а) проведение специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) позволяет оценить условия труда на рабочих местах и выявить О и ВПФ и тем самым выполнить некоторые обязанности работодателя, предусмотренные Трудовым кодексом РФ: информировать работников об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске повреждения здоровья, предоставляемых им гарантиях, полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты; разработать и реализовать мероприятия по приведению условий труда в соответствие с государственными нормативными требованиями охраны труда; установить компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда» [9].
- б) «обеспечение работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых температурных и климатических условиях или связанных с загрязнением, средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
- в) устройство новых и (или) модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;
- г) приведение уровней естественного и искусственного освещения на рабочих местах, в бытовых помещениях, местах прохода работников в соответствие с действующими нормами;
- д) устройство новых и (или) реконструкция имеющихся мест организованного отдыха, помещений и комнат релаксации, психологической разгрузки, мест обогрева работников, а также укрытий от солнечных лучей и атмосферных осадков при работах

на открытом воздухе; расширение, реконструкция и оснащение санитарно-бытовых помещений;

- е) обеспечение хранения средств индивидуальной защиты, а также ухода за ними (своевременная химчистка, стирка, дегазация, дезактивация, дезинфекция, обезвреживание, обеспыливание, сушка), проведение ремонта и замена СИЗ;
- ж) приобретение стендов, тренажеров, наглядных материалов, научно-технической литературы для проведения инструктажей по охране труда, обучения безопасным приемам и методам выполнения работ, оснащение кабинетов (учебных классов) по охране труда компьютерами, теле-, видео-, аудиоаппаратурой, лицензионными обучающими и тестирующими программами, проведение выставок, конкурсов и смотров по охране труда;
- з) обучение лиц, ответственных за эксплуатацию опасных производственных объектов;
- и) оборудование по установленным нормам помещения для оказания медицинской помощи и (или) создание санитарных постов с аптечками, укомплектованными набором лекарственных средств и препаратов для оказания первой помощи;
- к) и других мероприятий пожарной безопасности в рамках действующего законодательства (нормативно-правовых актов) Российской Федерации» [10].

В целях частичного снижения или полного устранения обнаруженных ОВПФ выбираем организационно-технические методы и средства с учетом действующих на данный момент времени требований нормативных документов.

Мероприятия по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецовбувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [10]
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля»	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецовбувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [9]
«Повышенный уровень шума»	Применение звукоизоляции, звукопоглощения, демпфирования и глушителей шума (активных, резонансных, комбинированных); группировка шумных помещений в одной зоне здания и отделение их коридорами; введение регламентированных дополнительных перерывов; проведение обязательных предварительных и периодических медосмотров	Защитные противозумные наушники, беруши противозумные» [27].
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой»	Оздоровительно-профилактические мероприятия: – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров	

Продолжение таблицы 10

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
	<p>согласно ст. 212 ТК РФ;</p> <ul style="list-style-type: none"> – правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащенности средствами комплексной и малой механизации; используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [26]. 	–
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> – объединение малосодержательных операций в более сложные и разнообразные: длительность объединенных операций не должна превышать 10-12 мин, иначе это повлечет снижение производственных показателей; – чрезмерное укрупнение операций может не соответствовать уровню квалификации работника. При совмещении профессий следует учитывать перенос (положительное) и интерференцию (отрицательное) взаимодействие навыков новой и совмещаемой профессии. Должны загружаться различные психофизиологические функции работника; – внедрение научно обоснованных режимов труда и отдыха для предотвращения возникновения у работающих на монотонных работах отрицательных психологических состояний (психологического пресыщения, скуки, сонливости, апатии) в структуру режима труда и 	–

Продолжение таблицы 10

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
	<p>отдыха включают функциональную музыку, которая стимулирует двигательную активность и вызывает у работников приятные эмоции» [10];</p> <ul style="list-style-type: none"> – «применение методов эстетического воздействия во время работы, что способствует улучшению психологических условий труда и включает озеленение, цветовой интерьер, оптимальную освещенность рабочего места, снижение шума, вибрации, запыленности и загазованности; – отбор работников на основе учета их индивидуальных психофизиологических особенностей; разработку и регулярное применение систем морального и материального стимулирования; усложнение обязанностей в процессе дежурства, а именно выполнение дополнительных задач по изучению техники, ведение записей в журнале; – выбор компромиссной продолжительности периодического дежурства исходя из назначения системы человек-машина; – установление оптимальной длительности ежесуточного пассивного отдыха (сна без перерывов) не менее 7 час (при отсутствии экстренной необходимости его прерывания); – чередование пассивного отдыха с активным» [10] 	

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Проводим идентификацию источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара (таблица 11).

Таблица 11 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Зона ТР	Технологическое оборудование, применяемое в зоне ТР	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [10]

Система пожаротушения является неотъемлемой частью любой противопожарной инфраструктуры. «Пожаротушение» – собирательный термин для любой инженерной группы подразделений, предназначенных для тушения пожара. Это может быть достигнуто применением огнетушащего вещества, такого как вода, пена или химические соединения.

В статье 42 Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ представлена классификация пожарной техники:

- «системы, установки АПС (автоматическая пожарная сигнализация), АУПТ (автоматическая установка пожаротушения), СОУЭ (системы оповещения и управления эвакуацией), пожарной связи, автоматики;
- первичные: мобильные средства пожаротушения (все виды огнетушителей, пожарные краны, пожарный инвентарь);

- пожарное оборудование;
- средства индивидуального/группового самоспасения (далее – СИЗ), защиты органов дыхания;
- ручной, механизированный инструмент» [10].

«Выполним классификацию средств пожаротушения применяемых для данного технического объекта:

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

Выполним разработку мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности в целях обеспечения пожарной безопасности, определяющих порядок поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий.

Перечень мероприятий по пожарной безопасности при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 представлен в таблице 12.

Таблица 12 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия
Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись
Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ
Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по ГОСТ	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ
Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия
Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143-2009, ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [28]

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 на автомобиль КамАЗ

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 и сведем их в таблицу 13.

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

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Установка модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей	Масла моторные, трансмиссионные, эксплуатационные жидкости: охлаждающая, тормозная	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые и коммунальные отходы (коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [29].

«Выполним разработку экологических факторов, возникающих при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326:

- «атмосферу – применение фильтрующих элементов в вытяжных устройствах и своевременная их замена;
- гидросферу – «контроль за процессами утилизации и захоронения выбросов, стоков и осадков сточных вод. Персональная ответственность за охрану окружающей среды;
- литосферу – спецодежда, пришедшая в негодность, применяется как вторичное сырье, металлический лом, стружка отправляется на переплавку, твердые бытовые и коммунальные отходы сортируются и перерабатываются или сжигаются, отработанное масло собирается и перерабатывается» [10]

Выводы по разделу.

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта»:

- разработан Технологический паспорт технологического процесса установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 (таблица 8);
- выявлены профессиональные риски при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326

(таблица 9) и определены методы и средства их снижения (таблица 10);

- идентифицирован класс и опасные факторы пожара, разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 (таблицы 11, 12);
- идентифицированы экологические факторы, возникающие при технологическом процессе установки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326 и разработаны мероприятия по их снижению (таблица 13).

6 Экономическая эффективность проекта

«Для определения финансовых затрат на модернизацию раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик воспользуемся формулой:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{сб.п}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{о.н}}, \quad (105)$$

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

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

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

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

$C_{\text{о.н}}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [12].

«Стоимость изготовления корпусных деталей рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{к.д}} = Q_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}}, \quad (106)$$

где $Q_{\text{к}}$ – масса материала, израсходованного на изготовление корпусных деталей, кг;

$C_{\text{к}}$ – средняя стоимость 1 кг готовых деталей, р./кг» [12].

В таблице 14 представлена стоимость изготовления корпусных деталей.

Таблица 14 – Стоимость изготовления корпусных деталей

Деталь	Марка металла	Масса материала заготовок, кг	Масса деталей, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Корпус дифференциала	Сталь 40Х	8	6	81,1	648,8
Итого:	–	–	–	–	648,8

$$C_{К.д} = 81,1 \cdot 8 = 648,8 \text{ р.}$$

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{О.д} = C_{ПРН} + C_M, \quad (107)$$

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

C_M – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р.» [12].

«Зарботную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{ПР} = t \cdot C_q \cdot k_t, \quad (108)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление отдельных деталей: сателлит дифференциала – 4 шт., зубчатый венец – 1 шт., вал – 1 шт., трудоемкость на изготовление деталей: сателлит дифференциала – 2,4 чел.-ч., зубчатый венец – 1,8 чел.-ч., вал – 1,3 чел.-ч.

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

k_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимаем равным 1,030» [12].

$$t = 4 \cdot t_{\text{сателлит диффер.}} + 1 \cdot t_{\text{зубч. венец}} + 1 \cdot t_{\text{вал}},$$

$$t = 4 \cdot 2,4 + 1 \cdot 1,8 + 1 \cdot 1,3 = 12,7 \text{ чел.-ч.}$$

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 июня 2022 года МРОТ составляет 15279 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $15279/(7 \cdot 21) = 103,94$ р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [12].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $103,94 \cdot 1,42 = 147,59$ р./ч.

$$C_{\text{пр}} = 12,7 \cdot 147,59 \cdot 1,03 = 1930,62 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{\text{д}} = (5 \dots 12) \cdot C_{\text{пр}} / 100, \quad (109)$$

$$C_{\text{д}} = 10 \cdot 1930,62 / 100 = 193,06 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (C_{\text{пр}} + C_{\text{д}}) / 100, \quad (110)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (1930,62 + 193,06) / 100 = 637,10 \text{ р.,}$$

$$C_{\Sigma\text{пр}} = 1930,62 + 193,06 + 637,10 = 2760,78 \text{ р.}$$

В таблице 15 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 15 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	1930,62
Дополнительная заработная плата	193,06
Начисления на заработную плату	637,1
Итого:	2760,78

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

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (111)$$

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

Q_3 – масса заготовки, кг» [12].

В таблице 16 представлена стоимость материала для изготовления оригинальных деталей.

Таблица 16 – Стоимость материала заготовок на изготовление оригинальных деталей

Наименование детали	Материал	Количество, шт.	Общая масса материала, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Сателлит дифференциала	Сталь 20ХН3А	4	15	84,9	1273,5
Зубчатый венец	Сталь 20ХН3А	1	7,13	84,9	605,33
Вал	Сталь 20ХН3А	1	7,52	84,9	638,44
Итого:	–	–	–	–	2517,28

$$C_M = 15 \cdot 84,9 + 7,13 \cdot 84,9 + 7,52 \cdot 84,9 = 2517,28 \text{ р.}$$

$$C_{O,д} = 2760,78 + 2517,28 = 5278,06 \text{ р.}$$

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

$$C_{CB,П} = C_{CB} + C_{д.СБ} + C_{соц.СБ}, \quad (112)$$

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

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

$C_{соц.СБ}$ – страховые взносы в фонды, р» [12].

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

$$C_{CB} = T_{CB} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (113)$$

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

Значение определяем по формуле:

$$T_{CB} = k_C \cdot \Sigma t_{CB}, \quad (114)$$

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

k_C – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, «1,1...1,5» [12].

По справочным данным принимаем трудоемкость сборки составных частей равной 4 чел.-ч.

$$T_{CB} = 1,25 \cdot 4 = 5 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке определится:

$$C_{CB} = 5 \cdot 147,59 \cdot 1,03 = 760,08 \text{ р.,}$$

$$C_{д.сб} = 0,1 \cdot 760,08 = 76 \text{ р.,}$$

$$C_{соц.сб} = 0,3 \cdot (760,08 + 76) = 250,82 \text{ р.}$$

$$C_{сб.п} = 760,08 + 76 + 250,82 = 1086,9 \text{ р.}$$

В таблице 17 представлена полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке.

Таблица 17 – Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке

Значение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	760,08
Дополнительная заработная плата	76
Страховые взносы в фонды	250,82
Итого	1086,9

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{OH} = \frac{(C'_{IP} \cdot R_{OH})}{100}, \quad (115)$$

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

R_{OH} – процент общепроизводственных накладных расходов, %» [12].

$$C'_{IP} = (C_{IP} + C_{СБ}). \quad (116)$$

Подставив числовые значения в формулу 69 получим:

$$C'_{IP} = 1930,62 + 760,08 = 2690,7 \text{ р.}$$

$$C_{OH} = \frac{(2690,7 \cdot 15)}{100} = 403,6 \text{ р.}$$

Для данной конструкции необходимо приобрести следующие компоненты: подшипник – 2 шт., муфта – 1 шт., муфта – 1 шт., болты – 16 шт., клапан электропневматический – 2 шт. Перечень покупных деталей представлен в таблице 18 [20].

Таблица 18 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Подшипник	2	350	700
Муфта	1	982	982

Продолжение таблицы 18

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Муфта	1	234	234
Клапан электропневматический	2	1580	3160
Болты	16	5,8	92,8
Итого:			5168,8

$$C_{ид} = 700 + 982 + 234 + 3160 + 92,8 = 5168,8 \text{ р.}$$

Определим затраты на изготовление конструкции и сведем их в таблицу 19.

$$C_{кон} = 648,8 + 5278,06 + 1086,9 + 403,6 + 5168,8 = 12586,16 \text{ р.}$$

Таблица 19 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	648,8
Затраты на изготовление оригинальных деталей	278,06
Затраты на сборку	1086,9
Общепроизводственные накладные расходы	403,6
Стоимость покупных изделий (деталей)	5168,8
Итого:	12586,16

Общие затраты на модернизацию раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик 12586,16 р. Стоимость комплекта с установкой на автомобиль составит (1,125 – коэффициент, учитывающий монтаж) 14159,43 р.

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

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{пр} - C_{кон}, \quad (117)$$

где $C_{пр}$ – стоимость прототипа, р. [25];

$$\mathcal{E}_r = 15600 - 12586,16 = 3013,84 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{OK} = \frac{C_{KOH}}{\mathcal{E}_r}, \quad (118)$$

$$O_{OK} = \frac{12586,16}{15600} = 0,8 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi} = \mathcal{E}_r - 0,15 \cdot C_{KOH} \quad (119)$$

$$\mathcal{E}_{\mathcal{E}\phi} = 15600 - 0,15 \cdot 12586,16 = 13712,07 \text{ р.}$$

В таблице 20 представлены основные показатели проекта.

Таблица 20 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	15600	12586,16
Экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции	р.	–	3013,84
Экономический эффект	р.	–	13712,07
Срок окупаемости	год	–	0,8

Выводы по разделу.

В разделе «Экономическая эффективность проекта» определена эффективность модернизации раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик с экономической стороны.

Стоимость модернизации раздаточной коробки КамАЗ-4326 составляет 12586,16 рублей, срок окупаемости равен 0,8 года, что является допустимым для данной конструкции.

Заключение

В данном дипломном проекте была выполнена модернизация раздаточной коробки КамАЗ-4326 в целях улучшения эксплуатационных характеристик.

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы было сделано следующее:

- рассмотрен принцип работы и некоторые конструктивные особенности раздаточных коробок, изучена их классификация;
- проведен тягово-динамический расчет автомобиля КамАЗ 4326;
- проведен обзор и анализ исходных данных и существующих решений, выполнено описание принципа работы проектируемой раздаточной коробки, сделаны расчеты зубчатых колес, валов, подшипников, шлицевых соединений, межосевого дифференциала. Определив основные параметры автомобиля, и проанализировав полученные результаты, а, также сравнив их с данными автомобилей - аналогов, можно сделать вывод о том, что проектируемый автомобиль находится в промежуточном положении между своими «одноклассниками» по группе, и отвечает всем требованиям, предъявляемым к современным автомобилям;
- выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки модернизированной раздаточной коробки КамАЗ-4326;
- рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности проекта;
- определена эффективность модернизация раздаточной коробки КамАЗ-4326 с экономической стороны. Стоимость модернизации раздаточной коробки КамАЗ-4326 составляет 12586,16 р.

Список используемой литературы и используемых источников

1 Автотранспортные средства. Основы конструирования : учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», [Институт информационных технологий, машиностроения и автотранспорта] ; составители А. В. Буянкин, В. Г. Ромашко. - Кемерово : КузГТУ, 2021. - 203 с.

2 Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3-х т. / В. И. Анурьев. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1982-. - 22 см. Т. 2. - М. : Машиностроение, 1982. - 584 с.

3 Блинов Е. И. Автомобиль и трактор: энергетика сложных механических систем [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / Е. И. Блинов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования Московский гос. ун-т приборостроения и информатики. - Москва : МГУПИ, 2014. - 113 с.

4 Брылев И. С. Расчет систем и механизмов транспортных средств : учебное пособие для студентов, магистров, аспирантов и преподавателей строительных, технических и автомобильно-дорожных университетов по направлению подготовки и специальностям: 15.03.03 (15.04.03)-"Прикладная механика", 23.03.03 (23.04.03)-"Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов", 23.03.01 (23.04.01)-"Технология транспортных процессов", 23.03.02 (23.04.02)-"Наземные транспортно-технологические комплексы", 23.05.01-"Наземные транспортно-технологические средства" / И. С. Брылев, С. А. Евтюков, П. А. Кравченко. - Санкт-Петербург : Петрополис, 2019. - 111 с.

5 Виноградов В. М. Ремонт и утилизация наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие : для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям подготовки 23.00.00 "Техника и технологии наземного транспорта", 20.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства" (квалификация специалист) / В. М. Виноградов, А. А. Черепяхин, В. Ф. Солдатов. - Москва : КУРС : ИНФРА-М, 2016. - 344, [1] с.

6 Войнаш А. С. Конструкция, теория и расчет малогабаритных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / А. С. Войнаш, С. А. Войнаш, Т. А. Жарикова ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ФГБОУ ВО "Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова", Рубцовский индустриальный институт. - Барнаул : Изд-во АлтГТУ, 2015. - 132 с.

7 Воронов Д. Ю. Разработка сборочных технологических процессов [Электронный ресурс] : электронное учебно-методическое пособие / Д. Ю. Воронов, А. В. Щипанов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения, Кафедра "Оборудование и технологии машиностроительного производства". - Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : ил.; 12 см.

8 Герасимов М. Д. Конструкции наземных транспортно-технологических машин [Текст] : практикум : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - "Наземные транспортно-технологические средства" / М. Д. Герасимов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им В. Г. Шухова, 2018. - 115 с.

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

10 Горшкова О. О. Электрооборудование автомобиля [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / О. О. Горшкова, Г. Н. Шпитко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский индустриальный университет". - Тюмень : ТИУ, 2016. - 333 с.

11 Губарев А. В. Конструирование и расчет наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие : для студентов вузов, обучающихся по специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / А. В. Губарев, А. Г. Уланов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. "Колесные, гусеничные машины и автомобили". - Челябинск : Изд. центр ЮУрГУ, 2015. - 564, [1] с.

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

13 Ковальчук Л. И. Динамика и основы конструирования автомобильных двигателей [Текст] : учебное пособие по курсовому проектированию для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профилей подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Автомобильный сервис» всех форм обучения / Л. И. Ковальчук ;

Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Калининградский государственный технический университет", Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота. - Калининград : Изд-во БГАРФ, 2018. - 123 с.

14 Конструирование и эксплуатация транспортно-технологических машин [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / [А. Ю. Барыкин, Р. М. Галиев, А. Т. Кулаков и др.] ; Казанский федеральный университет, Набережночелнинский институт. – Казань : Изд-во Казанского ун-та, 2016. - 176 с.

15 Кудрявцев Е. М. Компьютерное моделирование, проектирование и расчет элементов машин и механизмов [Текст] : учебное пособие по направлению 25.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства", профиль "Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование" / Е. М. Кудрявцев. - Москва : АСВ, 2018. - 327 с.

16 Макридина М. Т. Проектирование металлических конструкций [Текст] : учебное пособие для студентов направления бакалавриата 23.03.02 - Наземные транспортно-технологические комплексы и специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства / М. Т. Макридина, А. А. Макридин ; М-во образования и науки Российской Федерации Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2014. - 170 с.

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

18 Носов С. В. Конструкции наземных транспортно-технологических средств [Текст] : учебное пособие / С. В. Носов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Липецкий государственный технический университет". - Липецк : Липецкий государственный технический университет, 2016. - 21 см.

19 Огороднов С. М. Конструкция автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки 23.03.02 "Наземные транспортно-технологические комплексы" и специальности 23.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства" / С. М. Огороднов, Л. Н. Орлов, В. Н. Кравец ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева". - Нижний Новгород : Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, 2017. - 284, [1] с.

20 Основы процесса производства и эксплуатации автомобилей и тракторов : учебное пособие : специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова" ; составители: А. В. Русинов [и др.]. - Саратов : Амирит, 2022. - 116 с.

21 Перегудов Н. Е. Основы создания трехмерных моделей деталей и сборочных единиц автотракторной техники : учебное пособие / Н. Е. Перегудов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Липецкий государственный технический университет". - Липецк : Изд-во ЛГТУ, 2021. - 112 с.

22 Потапов С. И. Электрооборудование автомобилей и тракторов [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 23.05.01 "Наземные транспортно-технологические средства" / С. И. Потапов, Е. А. Чашин ; Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф. образования "Ковровская гос. технологическая акад. им. В. А. Дегтярева". - Ковров : КГТА им. В. А. Дегтярева, 2014. - 87 с.

23 Русинов А. В. Основы дизайна в машиностроении : учебное пособие для студентов обучающихся в высших учебных учреждениях по направлению подготовки "Наземные транспортно-технологические комплексы" и специальности "Наземные транспортно-технологические средства" / Русинов А. В. ; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова". - Саратов : ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, 2018. - 101 с.

24 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 "Наземные транспортно-технологические средства" / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев ; М-во образования и науки Российской Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 211 с.

25 Фиала И. Внедорожные автомобили : иллюстрированная энциклопедия / Иржи Фиала ; [пер. с чеш. яз. И. Ф. Нафтульев]. - Москва : Лабиринт Пресс, 2006. - 303, [1] с.

26 Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта : электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет,

Институт машиностроения. - Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см.

27 Garrett T.K. The Motor Vehicle / T.K Garrett, K. Newton, W. Steeds. 13th ed. - Oxford: Butterworth-Heinemann, 2014. - 1214 p.

28 Genta G. The Automotive Chassis. Vol. 2: System Design / Prof. Dr. Giancarlo Genta, Prof. Dr. Lorenzo Morello. - [Without locations], Netherlands : Springer Science+Business Media, 2009. - 832 p.

29 Jazar N.R. Vehicle Dynamics: Theory and Application. - New York: Springer, 2008. - 1015 p.

30 Wong, J.Y. Theory of ground vehicles .-2nd ed., NY, 2013. - 435 p.

31 Zanten A., Erhardt R., Pfaff G. An Introduction to Modern Vehicle Design /Edited by Julian Happian-Smith. Reed Educational and Professional Publishing Ltd 2012. - 600 p.

Приложение А
Спецификации

		Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
						<i>Документация</i>		
	A4				22.ДП.ПЭА.179.61.01.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
	A1				22.ДП.ПЭА.179.61.01.000.СБ	Сборочный чертёж	3	
						<i>Сборочные единицы</i>		
Ср. №				1	22.ДП.ПЭА.179.61.01.01	Дифференциал	1	
				2	22.ДП.ПЭА.179.61.01.02	Крышка подшипника	1	
				3	22.ДП.ПЭА.179.61.01.03	Крышка подшипника	1	
				4	22.ДП.ПЭА.179.61.01.04	Крышка подшипника	1	
				5	22.ДП.ПЭА.179.61.01.05	Механизм включения	1	
				6	22.ДП.ПЭА.179.61.01.06	Механизм включения	1	
				7	22.ДП.ПЭА.179.61.01.07	Механизм включения	1	
				8	22.ДП.ПЭА.179.61.01.08	Пробка с магнитом	1	
						<i>Детали</i>		
Изм. №				9	22.ДП.ПЭА.179.61.01.009	Вал входной	1	
				10	22.ДП.ПЭА.179.61.01.010	Вал привода заднего моста	1	
				11	22.ДП.ПЭА.179.61.01.011	Вал привода переднего моста	1	
				12	22.ДП.ПЭА.179.61.01.012	Вал промежуточный	1	
				13	22.ДП.ПЭА.179.61.01.013	Вилка	1	
				14	22.ДП.ПЭА.179.61.01.014	Втулка	1	
				15	22.ДП.ПЭА.179.61.01.015	Втулка	2	
				16	22.ДП.ПЭА.179.61.01.016	Втулка распорная	1	
				17	22.ДП.ПЭА.179.61.01.017	Гайка	2	
				18	22.ДП.ПЭА.179.61.01.018	Гайка	1	
					22.ДП.ПЭА.179.61.01.000			
Изм. № подл.	Изм.	Лист	№ док.м.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Калишкин				Лит.	Лист	Листов
	Проб.	Чумаков					1	5
	Раздаточная коробка						ТГУ ИМ зр. АТС-1701В	
	Н.контр.	Чумаков						
	Утв.	Бабровский						

Копировал

Формат А4

Рисунок А.1 – Спецификация на раздаточную коробку

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		19	22.ДП.ПЭА.179.61.01.019	Зубчатый венец	1		
		20	22.ДП.ПЭА.179.61.01.020	Картер раздаточной коробки	1		
		21	22.ДП.ПЭА.179.61.01.021	Картер муфты блокировки	1		
		22	22.ДП.ПЭА.179.61.01.022	Колесо зубчатое	1		
		23	22.ДП.ПЭА.179.61.01.023	Колесо зубчатое	1		
		24	22.ДП.ПЭА.179.61.01.024	Колесо зубчатое	1		
		25	22.ДП.ПЭА.179.61.01.025	Колесо зубчатое	1		
		26	22.ДП.ПЭА.179.61.01.026	Кольцо	1		
		27	22.ДП.ПЭА.179.61.01.027	Кольцо	1		
		28	22.ДП.ПЭА.179.61.01.028	Кольцо	1		
		29	22.ДП.ПЭА.179.61.01.029	Кольцо	1		
		30	22.ДП.ПЭА.179.61.01.030	Кольцо	1		
		31	22.ДП.ПЭА.179.61.01.031	Кольцо маслосгонное	2		
		32	22.ДП.ПЭА.179.61.01.032	Крышка картера	1		
		33	22.ДП.ПЭА.179.61.01.033	Крышка подшипника	1		
		34	22.ДП.ПЭА.179.61.01.034	Крышка подшипника	1		
		35	22.ДП.ПЭА.179.61.01.035	Крышка подшипника	1		
		36	22.ДП.ПЭА.179.61.01.036	Муфта	1		
		37	22.ДП.ПЭА.179.61.01.037	Муфта	1		
		38	22.ДП.ПЭА.179.61.01.038	Муфта	1		
		39	22.ДП.ПЭА.179.61.01.039	Муфта	1		
		40	22.ДП.ПЭА.179.61.01.040	Отражатель фланца	2		
		41	22.ДП.ПЭА.179.61.01.041	Отражатель фланца	1		
		42	22.ДП.ПЭА.179.61.01.042	Пробка заливная	1		
		43	22.ДП.ПЭА.179.61.01.043	Пробка контрольная	1		
		44	22.ДП.ПЭА.179.61.01.044	Прокладка	1		
		45	22.ДП.ПЭА.179.61.01.045	Прокладка	1		
		46	22.ДП.ПЭА.179.61.01.046	Прокладка	1		
		47	22.ДП.ПЭА.179.61.01.047	Прокладка	1		
		48	22.ДП.ПЭА.179.61.01.048	Прокладка	1		
		49	22.ДП.ПЭА.179.61.01.049	Прокладка	1		
		50	22.ДП.ПЭА.179.61.01.050	Прокладка	1		
Инв. № подл.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	22.ДП.ПЭА.179.61.01.000		Лист
							2
Взам. инв. №	Инв. № док-л.	Подп. и дата	Калишкин				Формат
			Чумаков				
Копировал							

Рисунок А.2 – Спецификация на раздаточную коробку

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		51	22.ДП.ПЭА.179.61.01.051	Прокладка	1		
		52	22.ДП.ПЭА.179.61.01.052	Проушина	1		
		53	22.ДП.ПЭА.179.61.01.053	Тяга	1		
		54	22.ДП.ПЭА.179.61.01.054	Фланец	1		
		55	22.ДП.ПЭА.179.61.01.055	Фланец	1		
		56	22.ДП.ПЭА.179.61.01.056	Фланец	1		
		57	22.ДП.ПЭА.179.61.01.057	Шайба	2		
		58	22.ДП.ПЭА.179.61.01.058	Шайба	1		
		59	22.ДП.ПЭА.179.61.01.059	Штифт	1		
				<i>Стандартные изделия</i>			
		60		Болт 2М6-8d×14 ГОСТ 15589-70	2		
		61		Болт 2М6-8d×16 ГОСТ 15589-70	2		
		62		Болт 2М6-8d×32 ГОСТ 15589-70	2		
		63		Болт 2М8-8d×14 ГОСТ 15589-70	6		
		64		Болт 2М8-8d×20 ГОСТ 15589-70	2		
		65		Болт 2М10-8d×20 ГОСТ 15589-70	2		
		66		Болт 2М10-8d×25 ГОСТ 15589-70	20		
		67		Болт 2М10-8d×32 ГОСТ 15589-70	24		
		68		Болт 2М10-8d×50 ГОСТ 15589-70	6		
		69		Гайка М18×1,5-6Н ГОСТ 5919-73	2		
Инв. № подл.	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата	Калишкин	22.ДП.ПЭА.179.61.01.000		Лист
				Чумаков			
Изм.	Лист	№ док.цм.	Подп.	Дата	Копировал	Формат	А4

Рисунок А.3 – Спецификация на раздаточную коробку

Продолжение Приложения А

Формат		Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
Зона	Лист					
		70		Гайка М24×2-6Н ГОСТ 15522-70	1	
		71		Гайка М30×2-6Н ГОСТ 5919-73	1	
		72		Кольцо А10.65Г ГОСТ 13942-86	1	
		73		Кольцо А45.65Г ГОСТ 13942-86	2	
		74		Кольцо А72.65Г ГОСТ 13942-86	1	
		75		Кольцо А160.65Г ГОСТ 13942-86	2	
		76		Манжета 11-60×80-1/4 ГОСТ 8752-79	2	
		77		Манжета 11-60×85-1/4 ГОСТ 8752-79	2	
		78		Манжета 11-70×90-1/4 ГОСТ 8752-79	2	
		79		Подшипник КК 30×35×26 ГОСТ 24310-80	1	
		80		Подшипник 7315А ГОСТ 27365-87	2	
		81		Подшипник 27609А ГОСТ 27365-87	2	
		82		Подшипник 60310 ГОСТ 7242-81	2	
		83		Подшипник 1027312А ГОСТ 27365-87	2	
		84		Шайба 8 3×13 ГОСТ 6402-70	8	
		85		Шайба 10 3×13 ГОСТ 6402-70	52	
Инв. № подл.	Подп. и дата		Калишкин Чумаков	22.ДП.ПЭА.179.61.01.000	Лист	4
	Взам. инв. №	Инв. № дубл.				

Рисунок А.4 – Спецификация на раздаточную коробку

