

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 Разработка 16-тиступенчатой коробки передач для грузового  
автомобиля КАМАЗ

Студент

А.А. Мубаракшин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. экон. наук, доцент Чумаков Л.Л.

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

Консультанты

доцент И.В. Дерябин

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

канд. экон. наук, доцент О.М. Сярдова

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

Тольятти 2022

## Аннотация

Тема дипломного проекта «Разработка 16-тиступенчатой коробки передач для грузового автомобиля КАМАЗ». Актуальность темы обусловлена ростом числа грузового автомобильного транспорта, занятого в процессе оказания транспортных услуг. Это в свою очередь требует проектирования агрегатов, обеспечивающих улучшенные технические и эксплуатационные характеристики транспортного средства.

Структура дипломной работы представляет собой пять глав, оглавление, введение, заключение, список литературы, включающий иностранные источники и приложения. В расчетно-пояснительной записке работа иллюстрирована рисунками, основные расчеты и данные сведены в таблицы.

Ключевым значением проекта является разработка автомобильного транспорта, имеющего специализацию транспортировки грузов в дорожных условиях, требующих широкого диапазона передаточных чисел. Целью проекта является доработка серийной коробки передач в части увеличения числа передач за счет применения механизма мультиплицирования передаточных чисел. Выполнена модернизация трансмиссии транспортного средства под разработанную коробку передач.

Дипломная работа логически может быть разбита на следующие связанные между собой главы.

В первой главе дипломного проекта был произведен анализ конструкции коробок передач грузовых автомобилей, включая иностранный опыт проектирования агрегатов данного вида.

Во второй главе был произведен выбор транспортного средства, которое может взято в качестве базового и выполнен его тяговый расчет, подтверждающий возможность использования в дорожных условиях с модернизированной коробкой передач. Произведен расчет отдельных узлов и деталей, силовые и прочностные расчеты конструкции коробки передач.

В третьей главе дипломного проекта была разработана технология и создана технологическая карта процесса сборки разработанной коробки передач.

В четвертой главе дипломного проекта произведен анализ безопасности при проведении сборочных работ на участке. Выявлены опасные и вредные производственные факторы и предложены пути их нейтрализации.

В пятой главе дипломного проекта выполнен расчет себестоимости проведения работ по изготовлению и сборке разработанной коробки передач и монтажа ее на грузовой автомобиль.

Результаты проведенной работы представлены в расчетно-пояснительной записке и на девяти листах графической части.

## **Abstract**

The theme of the diploma project is "Development of a 16-speed gearbox for a KAMAZ truck." The relevance of the topic is due to the increase in the number of trucks involved in the provision of transport services. This, in turn, requires the design of units that provide improved technical and operational characteristics of the vehicle.

The structure of the thesis consists of five chapters, a table of contents, an introduction, a conclusion, a list of references, including foreign sources and applications. In the settlement and explanatory note, the work is illustrated with figures, the main calculations and data are summarized in tables.

The thesis work can be logically divided into the following interconnected chapters.

In the first chapter of the graduation project, an analysis is made of the design of gearboxes for trucks, including foreign experience in designing units of this type.

In the second chapter, a choice is made of a vehicle that can be taken as the base one and its traction calculation is performed, confirming the possibility of using it on the road with a modernized gearbox. We make calculations of individual components and parts, power and strength of the gearbox design.

In the third chapter of the graduation project, a technology is developed and a technological map of the assembly process of the developed gearbox is created.

In the fourth chapter of the graduation project, a safety analysis is made during assembly work on the site.

In the fifth chapter of the graduation project, the cost of manufacturing and assembling the developed gearbox and mounting it on a truck is calculated.

The results of the work carried out are presented in the settlement and explanatory note and on nine sheets of the graphic part.

## Содержание

Введение .....	7
1 Обоснование актуальности темы дипломного проекта и выбор конструкционной схемы коробки передач .....	10
1.1 Анализ существующих конструкционных решений коробок передач грузовых автомобилей .....	10
1.2 Компоновочные и кинематические схемы коробок передач грузовых автомобилей .....	13
1.3 Конструктивные схемы с двухступенчатым диапазонным редуктором ...	17
1.4 Влияние конструкции коробки передач автомобиля на его тягово-динамические характеристики .....	19
1.5 Влияние конструкции коробки передач автомобиля на его скоростные характеристики .....	21
2 Конструкторский раздел дипломного проекта .....	26
2.1 Расчет тяговых характеристик транспортного средства .....	26
2.2 Кинематика разрабатываемой коробки передач .....	38
2.3 Определение передаточных чисел коробки передач и числа ступеней ...	45
2.4 Прочностные расчёты элементов разрабатываемой конструкций коробки передач .....	51
2.4.1 Расчёт болтов крепежа актуаторов .....	51
2.4.2 Расчёт штифта, фиксирующего шток-толкатель актуатора .....	53
3 Разработка технологического процесса сборки механизма коробки передач .....	56
3.1 Анализ конструкции, взятой на технологическую разработку .....	56
3.2 Технологический процесс сборки механизма коробки передач .....	58
4 Охрана труда и безопасность объекта проектирования .....	63
4.1 Характеристика объекта проектирования (технологического процесса сборочных работ) .....	63
4.2 Идентификация профессиональных рисков .....	63

4.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков .....	68
4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта .....	71
4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта .....	73
4.6 Заключение по разделу .....	74
5 Экономический раздел дипломного проекта .....	75
5.1 Анализ объекта дипломного проектирования .....	75
5.2 Исходные данные для расчета .....	75
5.3 Расчет затрат на материалы .....	76
5.4 Расчет затрат на покупные изделия и полуфабрикаты .....	77
5.5 Расчет затрат на заработную плату .....	78
Заключение .....	81
Список используемых источников .....	83

## Введение

Современные реалии диктуют новые подходы в организации работ на всех уровнях. Все больше и больше используется транспортных средств, созданных на базе серийной техники, в различных транспортных операциях. В первую очередь это касается техники, используемой в работах по перевозке грузов, где требуется применение широкого диапазона передаточных чисел. На практике подобное реализуется путем установки на коробку передач мультипликатора, позволяющего задействовать дополнительный пониженный ряд передач основного ряда коробки.

Разработка коробки передач (КП) с увеличенным числом передач, равным 16 за счет двухступенчатого демультипликатора планетарного типа, дополнительно в 2 раза увеличивающего число передач и размещенного сзади коробки, является темой выпускной квалификационной работы – дипломного проекта.

«Потребительское совершенство любой машины определяется уровнем приспособленности ее конструкции к эффективному применению в реальных условиях эксплуатации. Качество автомобиля — это совокупность потребительских свойств, обуславливающих его пригодность удовлетворять потребности человека в соответствии со своим назначением. Потребительские свойства автомобилей включают комплексные групповые свойства (функциональные, эргономические, эстетические свойства, надежность, безопасность, экономичность и т. д.) и единичные свойства.

Скоростные свойства — это совокупность свойств, которые определяют диапазоны изменения скоростей движения и предельные интенсивности разгона автомобиля в различных дорожных условиях. Водитель выбирает скорость движения автомобиля с учетом эксплуатационных условий и возможного диапазона скоростей.» [1]

«Следует отметить, что на большинство этих основных свойств автомобиля оказывает влияние выбор типа и конструктивное исполнение коробки передач. Мы в этой работе рассмотрим влияние коробки передач на главные эксплуатационные свойства.

Важнейшими эксплуатационными свойствами автомобилей, определяющими приспособленность их конструкции к эффективному использованию в реальных условиях, являются топливная экономичность, тягово-скоростные свойства и проходимость, надежность, в том числе безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость, безопасность, включая безвредность, агрегатируемость и грузовместимость автотракторных транспортных средств. Эти и другие свойства закладываются при проектировании, обеспечиваются машиностроителями при изготовлении, оцениваются собственниками или распорядителями производственного капитала при приобретении, реализуются пользователями при эксплуатации, сохраняются владельцами или распорядителями при планово-предупредительном техническом обслуживании и восстанавливаются специализированной службой технического сервиса при вынужденном ремонте.» [3]

«Коробка передач (КП) - механизм, преобразующий крутящий момент, передающийся от двигателя через сцепление, по величине и направлению. Дает возможность автомобилю двигаться вперед или назад, а также позволяет отключать двигатель от ведущих мостов на длительное время.» [1]

«На большинстве легковых и грузовых автомобилей устанавливают механические ступенчатые коробки передач с зубчатыми шестернями. КП используемые на автомобилях-тягачах, работающих с прицепным составом имеют четырех-, пяти- и шестиступенчатую трехвальную схему конструкции расположенную в общем картере с которой размещен повышающий редуктор (делитель) или понижающий редуктор (демультипликатор), а иногда и оба вместе.» [2]



«В большинстве случаев переключение ступенчатых коробок передач осуществляет водитель. В последнее время появляются конструкции ступенчатых коробок передач с автоматизированным переключением на базе микропроцессорной техники.

В настоящее время происходит интенсивное совершенствование конструкций транспортных средств, повышение их надежности и производительности, снижение эксплуатационных затрат, повышение всех видов безопасности. Осуществляется более частое обновление выпускаемых моделей, придание им более высоких потребительских качеств, отвечающих современным требованиям.» [2]

Задачей дипломного проекта будет являться конструирование коробки передач, имеющей 16 ступеней и установленного на нее дистанционного управления. Разрабатываемая коробка передач будет являться трехвальной, с делителем, обеспечивающем пониженный ряд передаточных чисел, используемых при движении в тяжелых дорожных условиях под нагрузкой.

# **1 Обоснование актуальности темы дипломного проекта и выбор конструкционной схемы коробки передач**

## **1.1 Анализ существующих конструкционных решений коробок передач грузовых автомобилей**

«Коробки передач современных грузовых автомобилей и автомобилей-тягачей отличаются, большим разнообразием принципиальных схем, диапазоном изменения передаточных чисел и числом передач переднего хода. Все это усложняет работу конструктора, создающего автомобиль. Однако ее можно несколько упростить, если ориентироваться на тенденции и закономерности, существующие в мировом автомобилестроении.» [3]

«Так, совершенно очевидно, что схема коробки должна обеспечивать прежде всего нужные для нормальной работы проектируемого автомобиля число передач ( $n$ ) и диапазон ( $D$ ) изменения передаточных чисел. При этом исходят из следующего:

Максимальное и минимальное передаточные числа трансмиссии определяют хорошо известными из теории автомобиля способами. Затем по ним выбирают диапазон передаточных чисел, учитывая, что чем он больше, тем, естественно, должно быть больше число передач, чтобы не оказался излишне большим шаг между передаточными числами соседних передач. При этом надо иметь в виду, что строгой зависимости между диапазоном и числом передач нет, поскольку на последнее влияют и другие факторы: назначение автомобиля, условия его эксплуатации и т.д. Однако, если за основу взять статистические данные, то примерную зависимость между ними обнаружить все-таки удастся.» [1]

«Правда, встречаются и заметные отклонения от нее. Так, на автопоезде полной массой 38 т с автомобилем-тягачом Вольво FL7 устанавливают 12-ступенчатую коробку передач с диапазоном изменения передаточных чисел, равным 34,5. При выборе числа передач необходимо также учитывать

следующее: на грузовые автомобили, не предназначенные для работы в составе автопоезда, устанавливают, в зависимости от грузоподъемности, коробки передач с числом передач от 4 до 6, на автомобили-тягачи автопоездов полной массой до 38 т\* с числом передач от 8 до 13, полной массой от 38 до 52 т\* с числом передач около 16 и полной массой выше 52 т\* с числом передач до 20.» [4]

«Второй этап – выбор типа коробки передач. А их в последнее время сформировалось шесть: обычные; с дополнительной коробкой передач (демультипликатором); с двухступенчатым делителем; с трехступенчатым делителем; с диапазонным редуктором; с двухступенчатым делителем и диапазонным редуктором.» [1]

«Как следует из самого определения, под обычной коробкой понимается такая, которая обеспечивает весь набор передаточных чисел без использования каких-либо дополнительных шестеренчатых устройств. Они, как свидетельствует статистика, имеют от четырех до шести передач. Их передаточные числа не распределяются точно по геометрической прогрессии – шаг между передаточными числами (отношение соседних передаточных чисел) уменьшается от низших передач к высшим. Кроме того, диапазон изменения передаточных чисел у них небольшой.

По конструктивным соображениям передаточное число одной пары шестерен не должно превышать трех, значит, при работе двух пар шестерен передаточное число первой передачи составит 9 (шестерни постоянного зацепления имеют передаточное число несколько меньше трех, а шестерни первой передачи – несколько больше трех).» [1]

«Высшую передачу, предназначенную для преобладающих условий движения полностью груженого автомобиля, в обычных коробках выполняют прямой или ускоряющей. В последнем случае принимают более высокое передаточное число главной передачи. Правда, на ускоряющей передаче КПД трансмиссии меньше, чем на прямой, что на 2–3 % увеличивает расход топлива автомобилем. Однако ускоряющая передача позволяет увеличить

диапазон изменения передаточных чисел примерно до 12, а при заданном диапазоне уменьшить передаточное число первой передачи, что приводит к уменьшению габаритных размеров и массы коробки передач или – при тех же размерах и массе – к увеличению подводимого к ней от двигателя крутящего момента.» [5]

«Для многих автомобилей, в том числе работающих в составе автопоезда, требуется больший диапазон изменения передаточных чисел и большее число передач, чем те, которые способна обеспечить обычная коробка. В свое время многие фирмы, особенно в США, задачу решали за счет установки основной четырехступенчатой коробки передач, а за ней второй, трех- или четырехступенчатой дополнительной. Причем в последнем случае дополнительная коробка имела две понижающие передачи, прямую и ускоряющую. В таком сочетании в объединенной коробке получалось 16 передач и диапазон изменения передаточных чисел достигал 30.» [3]

«Однако передаточные, числа основной коробки передач, сочетаясь с передаточными числами дополнительной коробки, не образуют единого ряда, т.е. их непрерывного уменьшения от низших передач к высшим. При этом часто оказывалось, что на разных передачах в коробках итоговое передаточное число получалось примерно одним и тем же. Поэтому такой коробкой передач приходилось управлять не совсем обычным образом: в облегченных дорожных условиях в дополнительной коробке постоянно включена одна из высших передач, а необходимые переключения водитель выполняет в основной коробке; в тяжелых дорожных условиях в дополнительной коробке постоянно включена одна из низших передач, а все переключения выполняются опять-таки в основной коробке.

Из сказанного ясно, что такую дополнительную коробку следует рассматривать как многоступенчатый демумльтипликатор, который в настоящее время на дорожных автомобилях встречается редко, но применяется в подавляющем большинстве трансмиссий автомобилей

повышенной проходимости (раздаточная коробка передач с несколькими передачами).» [3]

В дипломном проекте будет рассматриваться шасси автомобиля, который может работать как бортовой, так и как самосвальный, при установке соответствующего оборудования и кузова. Следовательно, условия эксплуатации подобных транспортных средств будут весьма различны – от дорог общего пользования с твердым покрытием, до дорог, не имеющих покрытия и строительных площадок, а также имеющих сложный рельеф. Именно для подобных условий эксплуатации будет особенно актуальна коробка передач, имеющая значительный диапазон передаточных чисел.

## **1.2 Компоновочные и кинематические схемы коробок передач грузовых автомобилей**

«Развитие многоступенчатых коробок передач дорожных автомобилей пошло по иному пути. Стали использовать схемы коробок, обеспечивающие изменение передаточных чисел по закону геометрической прогрессии или близкому к ней. Цель очевидна: обеспечить разгон автомобиля в оптимальном диапазоне рабочих режимов двигателя.

Одно из таких решений, позволяющее значительно уменьшить шаг между передаточными числами несколько – диапазон передаточных чисел, – сочетание обычной коробки передач с двухступенчатым делителем. Причем обычная коробка чаще всего пяти- или шестиступенчатая.

В первом случае шаг между передаточными числами передач составляет 1,36...1,69, во втором 1,33...1,50.

Делитель может быть выполнен как с разрезным, так и неразрезным валом. Делается это по чистой «унификационным» соображениям: если вал разрезной, то коробку можно устанавливать и на те модели автомобилей, где делитель не нужен. Например, одну и ту же коробку применяют на бортовом

автомобиле КамАЗ-5320, работающем с прицепом, и на самосвале КамАЗ-5511. Но в одном случае – с делителем, в другом – без него.» [1]

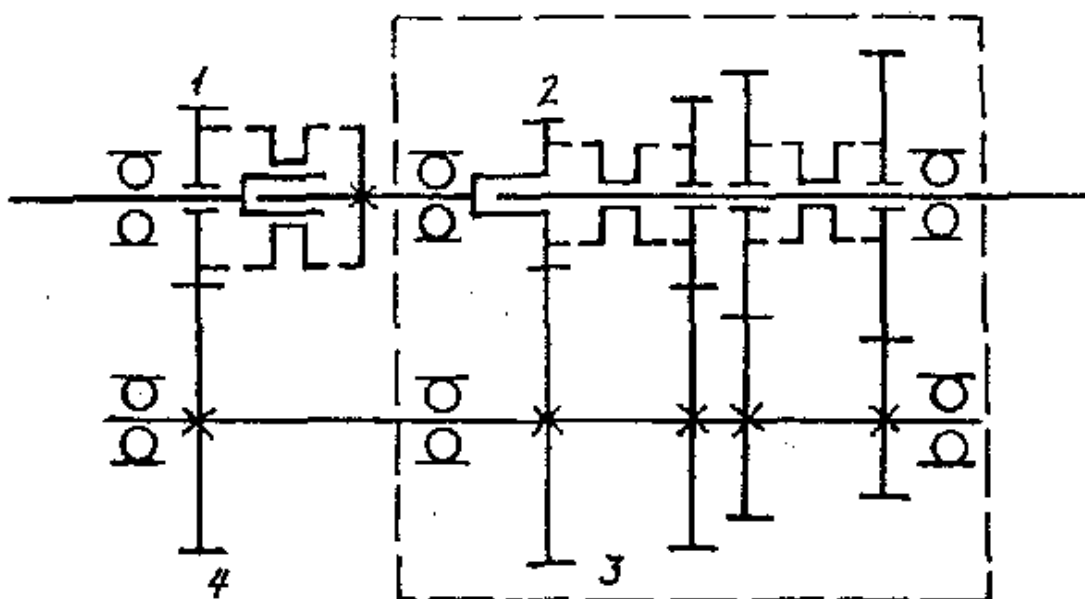


Рисунок 1 – Кинематическая схема 4-х ступенчатой коробки передач с делителем и разрезным валом

«Схема коробки передач с делителем представлена на рисунке 1, где приведена схема четырехступенчатой коробки с делителем и разрезным валом. Вращение на промежуточный вал в этой схеме передастся или через пару шестерен 2 и 3 основной коробки, или через пару шестерен 1 и 4 делителя. Причем в процессе последовательного уменьшения или увеличения передаточного числа делитель включается между переключениями в основной коробке передач и делит шаг ее передаточных чисел пополам.» [10]

Для четырехступенчатой коробки передач с делителем, представленных на рисунке 1, общее число передач получается равным восьми. Из которых две, пятая и седьмая – прямые передачи.

Также особенностью конструкции многих передач с делителем является применение пневматического привода, позволяющего производить селекцию между повышенным и пониженным рядами. Реализовано это для возможности

дистанционного переключения, не прибегая к сложным и ненадежным кинематическим схемам.

«Последнюю передачу, предназначенную для основных условий движения, следовало бы выполнить прямой, так как в этом случае выше КПД трансмиссии. Но для этого делитель должен быть замедляющим (диаметр шестерни 1 меньше диаметра шестерни 2), что нецелесообразно по соображениям прочности и долговечности коробки передач.

Можно было бы сделать и по-другому: пару шестерен 2 и 3 поменять местами с парой 1 и 4. Но в этом случае получим увеличение диапазона передаточных чисел. Кроме того, при использовании основной коробки без делителя будет малым передаточное число первой передачи и еще меньшим – ее диапазон изменения передаточных чисел. Поэтому делители с разрезным валом обычно выполняются ускоряющим.

Таким образом, эта коробка оказывается эффективнее шестиступенчатой с двухступенчатым ускоряющим делителем: у нее на одну передачу больше и на одну пару шестерен меньше (шесть вместо семи). Максимальный диапазон передаточных чисел у обеих коробок одинаков.» [7]

В ряде случаев, когда необходимо значительно увеличить диапазон передаточных чисел, прибегают к использованию трехступенчатого делителя, монтируемого в задней части коробки передач и служащего для создания повышающего ряда передач (рисунок 2).

При этом стоит отметить, что, во-первых подобное решение встречается нечасто в практике автомобилестроения, ввиду специфики эксплуатационных особенностей транспортных средств. Во-вторых, зубчатые колеса механизма подобных коробок передач испытывают значительные нагрузки, поскольку дополнительный ряд служит для создания еще более значительного крутящего момента, что вызывает необходимость изготовления их более прочными, а значит более широкими, либо требующими применения материалов, обладающих улучшенными механическими характеристиками.

Передаточные числа в основной коробке передач при трехступенчатом делителе располагают по геометрической прогрессии с весьма большим (1,9–2,1) знаменателем.

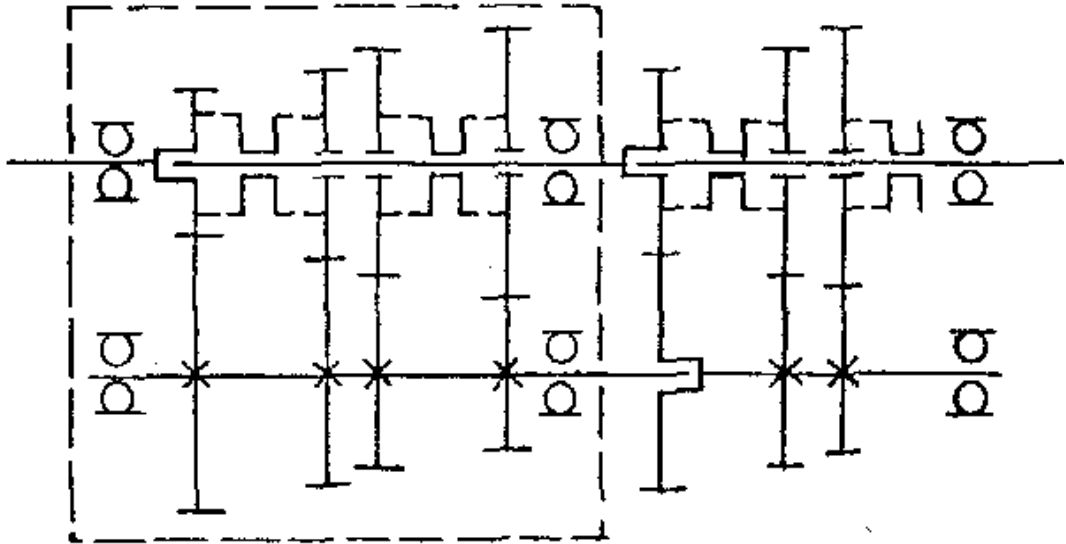


Рисунок 2 – Кинематическая схема 4-х ступенчатой коробки передач в сборе с 3-х ступенчатым делителем

«При управлении коробкой передач с трехступенчатым делителем для последовательного уменьшения передаточного числа трансмиссии в основной коробке включают первую передачу, а затем первую, вторую и третью в делителе; после этого в основной коробке включают вторую передачу и последовательно все передачи в делителе; подобным образом с третьей и четвертой передачами в основной коробке используют все передачи делителя.» [10]

Представленные схемы получили наибольшее распространение, ввиду простоты их изготовления и эксплуатационных характеристик, максимально отвечающих ожиданию эксплуатации.



### 1.3 Конструктивные схемы с двухступенчатым диапазонным редуктором

«В настоящее время большое распространение получили коробки передач с задним двухступенчатым диапазонным редуктором («роуд-рэнжер»). Основная коробка передач здесь выполняется с прямой или – значительно реже – с ускоряющей передачей. Передаточные числа в ней распределяются по геометрической прогрессии.» [10]

«Двухступенчатый редуктор выполняют, как это сделано на автомобиле МАЗ-53352 (рисунок 3), непланетарным или более компактным планетарным (рисунок 4), как на автомобиле МАЗ-5336.» [3]

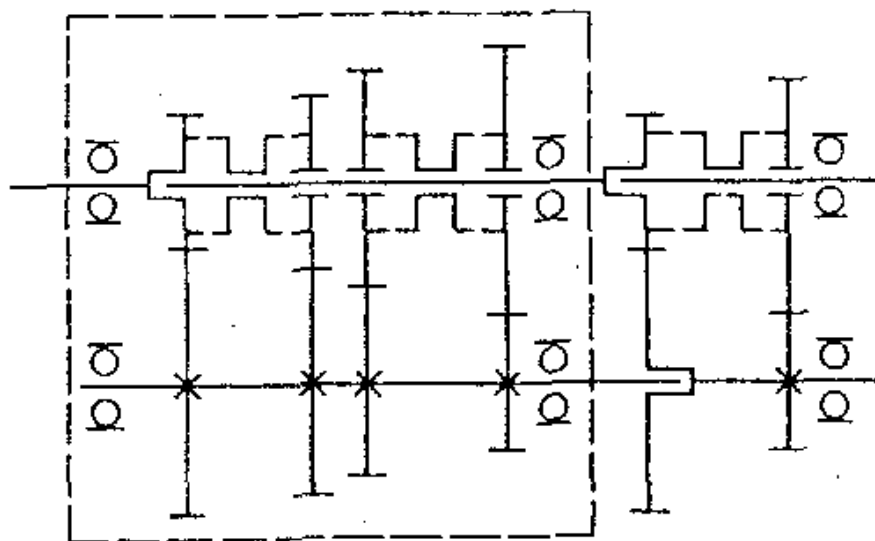


Рисунок 3 – Кинематическая схема 4-х ступенчатой коробки передач и 2-х ступенчатого диапазонного делителя

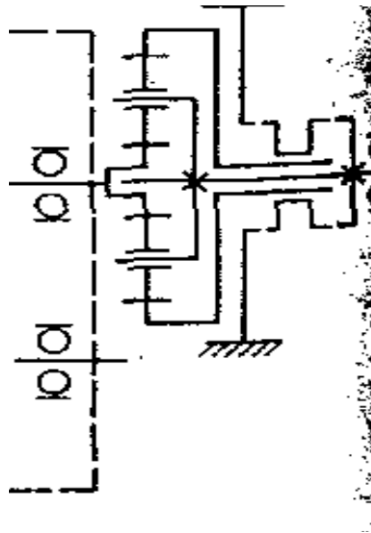


Рисунок 4 – Задний планетарный редуктор, устанавливаемый в сборе с КП грузового автомобиля МАЗ-5336

«Управление коробкой с диапазонным редуктором отличается от управления коробкой с делителем. При последовательном уменьшении передаточного числа трансмиссии включают понижающую передачу диапазонного редуктора и проходят все передачи основной коробки. Затем в диапазонном редукторе включают прямую передачу и повторяют все переключения в основной коробке. Таким образом, диапазонный редуктор удваивает число передач основной коробки.» [10]

Как можно определить по результатам анализа, механизмы трансмиссии грузовых транспортных средств разнообразны и имеют различные конструкторские решения. Конструкторский выбор коробки передач определенного типа в первую очередь зависит от тех условий эксплуатации, в которых предстоит работать автомобилю. В любом случае, определяющими будут являться массо-габаритные характеристики агрегата, поскольку при прочих равных условиях выбор будет сделан в пользу более компактного и легкого агрегата.

## 1.4 Влияние конструкции коробки передач автомобиля на его тягово-динамические характеристики

«Тяговые свойства, характеризуются, тяговой силой, которая называется отношение крутящего момента на полуосях к радиусу ведущих колес автомобиля. Это толкающая автомобиль сила, которая передается от ведущих колес к несущей системе (рама, кузов). При увеличении тяговой силы на ведущих колесах автомобиль может развивать большие ускорения, преодолевать более крутые подъемы, буксировать прицепы большей массы и иметь лучшие тягово-скоростные свойства.

Тяговая сила определяется экспериментально при испытаниях автомобиля или расчетным путем с использованием внешней скоростной характеристики двигателя по формуле:» [14]

$$P_T = \frac{M_e u_T \eta_{TP}}{r_K}. \quad (1)$$

«Из выражения (1) следует, что максимальное значение тяговой силы ограничено, поскольку оно определяется максимальными значениями момента двигателя  $M_e$  и передаточного числа трансмиссии  $u_T$ . Тяговая сила ограничена также вследствие действия силы сцепления между ведущими колесами и дорогой» [15].

Для иллюстрации зависимости, выраженной в формуле 1, построим графическую зависимость тяговой характеристики транспортного средства, на примере 4-х ступенчатой коробки передач. Графическая иллюстрация представлена на рисунке 5.

На рисунке 6 представлена аналогичная зависимость для бесступенчатой коробки передач (гидромеханической, вариаторной).

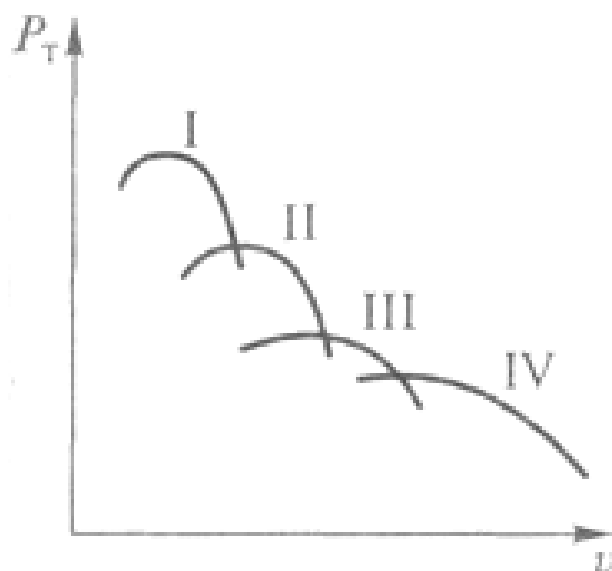


Рисунок 5 – Зависимость тяговой характеристики от скорости движения транспортного средства на различных передачах 4-х ступенчатой коробки передач

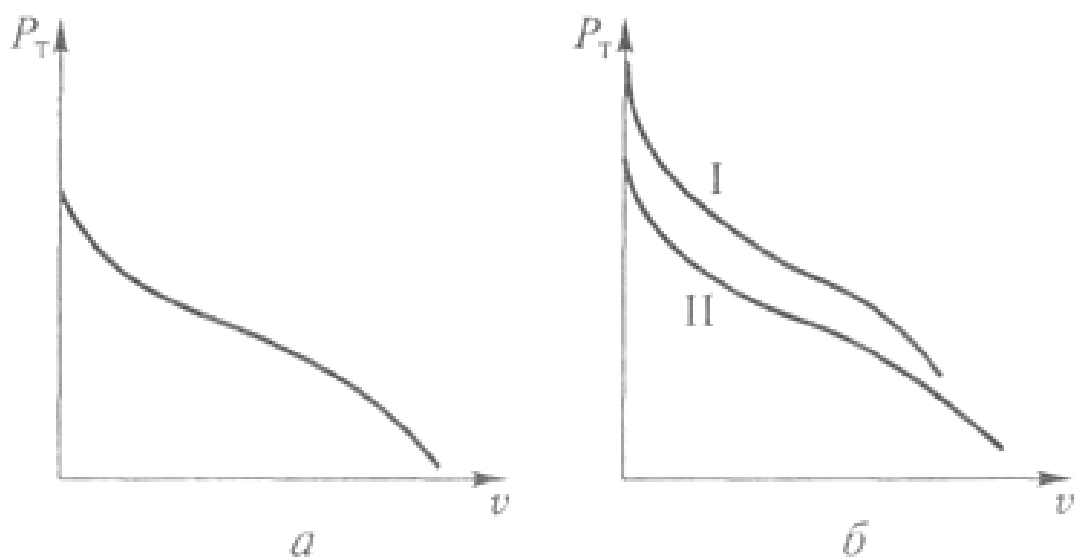


Рисунок 6 – Зависимость тяговой характеристики от скорости движения транспортного средства на различных передачах для бесступенчатой коробки передач (а) и для гидромеханической двухступенчатой коробки (б)

«Изменение тяговой силы на ведущих колесах показывает тяговая характеристика автомобиля (рисунок 4) — зависимость тяговой силы от скорости движения на различных передачах.

Характер изменения тяговой силы на ведущих колесах зависит от типа коробки передач в трансмиссии автомобиля. Так, механическая ступенчатая коробка передач обеспечивает ступенчатое изменение тяговой силы (см. рисунок 5), бесступенчатая — плавное (рисунок 5, *а*), а гидромеханическая — и плавное, и ступенчатое (рисунок 5, *б*).» [14]

### **1.5 Влияние конструкции коробки передач автомобиля на его скоростные характеристики**

Как любой редуктор, коробка передач способна изменять как величину крутящего момента, трансформируемого коробкой передач, так и частоту вращения выходного вала. Именно от этого параметра зависит максимальная скорость, развиваемая транспортным средством. Оценим влияние, которое оказывает коробка передач на эту характеристику транспортного средства.

«Изменяя число зубцов на обеих шестернях, можно увеличивать или уменьшать передаваемый от двигателя к «потребителю» крутящий момент. От передаточного числа главной передачи существенно зависит максимальная скорость автомобиля. Оптимальным считается такое передаточное число главной передачи, при котором автомобиль развивает максимальную скорость, а двигатель — максимальную мощность. Увеличение или уменьшение передаточного числа главной передачи по сравнению с оптимальным приводит к снижению максимальной скорости автомобиля.» [14]

«Величина передаточного числа в КПП и редукторе влияет на такие характеристики как разгонная динамика и максимальная скорость автомобиля. Применительно к ступеням КПП с разными передаточными числами это выглядит так: чем больше данное число, тем «короче» и «тяговитее» передача,

то есть мотор при разгоне быстрее раскручивается до максимальных оборотов, а машина интенсивнее ускоряется. Правда, при этом снижается максимальная скорость на данной передаче. Следовательно, возникает необходимость в более частом переключении.

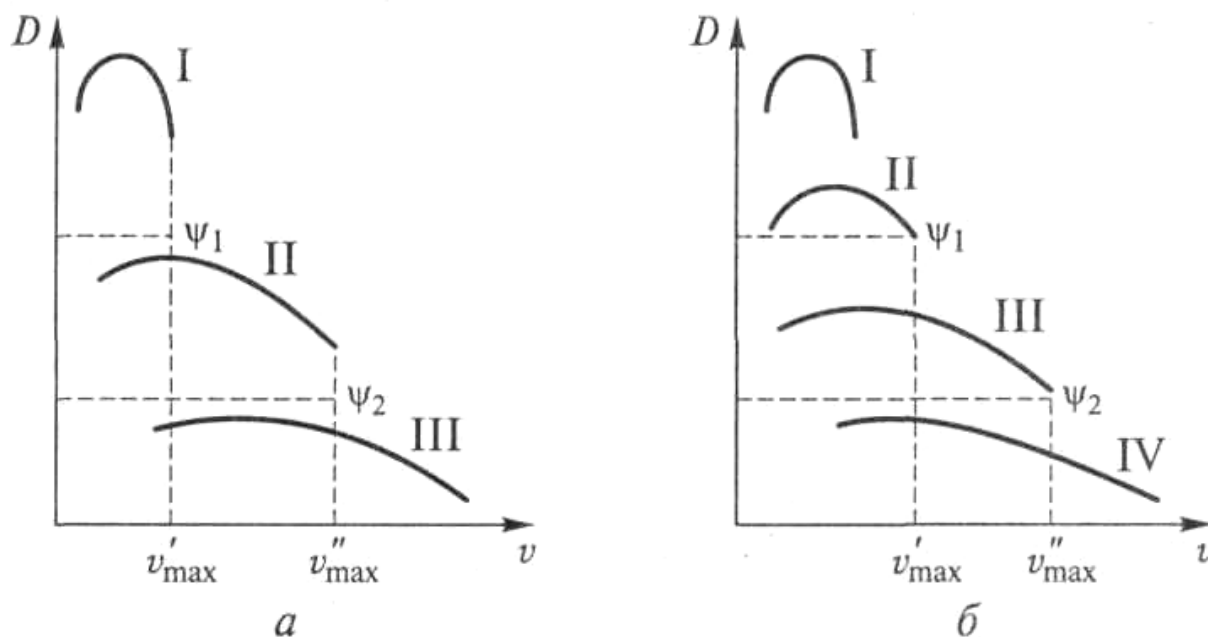
На разгонную динамику в такой же степени влияет и передаточное число главной пары редуктора. Чем оно выше, тем автомобиль динамичнее, лучше тянет на всех передачах, но максимальная скорость при этом ниже. Уменьшая передаточное число, повышают максимальную скорость (если у двигателя есть так называемый запас мощности), но проигрывают в разгонной динамике авто.» [10]

«Для выявления влияния числа передач в коробке передач на скорость движения автомобиля в различных дорожных условиях сравним динамические характеристики одного и того же автомобиля при установке на него трехступенчатой (рисунок 7, а) и четырехступенчатой (рисунок 7, б) коробок передач. При этом первые и последние передачи данных коробок передач имеют равные передаточные числа, а динамические факторы автомобиля по тяге на первой и последней передачах обеих коробок одинаковы.» [7]

«При сравнении максимальной скорости автомобиля на дорогах с различным сопротивлением очевидно преимущество четырехступенчатой коробки передач. Так, на дороге, характеризуемой коэффициентом сопротивления  $\psi_1$ , максимальная скорость  $v_{\max}'$  автомобиля с трехступенчатой коробкой передач меньше максимальной скорости, развиваемой при использовании четырехступенчатой коробки. Максимальная скорость  $v_{\max}''$  при движении по дороге с коэффициентом сопротивления, равным  $\psi_2$ , также меньше у автомобиля с трехступенчатой коробкой передач. Следовательно, увеличение числа передач в коробке приводит к возрастанию средней скорости движения автомобиля. Чем больше число передач, тем полнее используется мощность двигателя в различных дорожных условиях,

улучшаются тяговые свойства и повышается топливная экономичность автомобиля.

Однако при очень большом числе передач усложняется конструкция и увеличивается масса коробки передач, а также затрудняется управление автомобилем. В связи с этим на легковых автомобилях обычно применяют четырех- и пятиступенчатые коробки передач, а на грузовых автомобилях и автобусах: пяти- и шестиступенчатые. На грузовых автомобилях, предназначенных для работы в составе автопоездов, увеличение числа передач основной коробки в два раза и более достигается применением дополнительных коробок передач.» [11]



I...IV – передачи КП автомобиля;  $v'_{\max}$ ,  $v''_{\max}$  — максимальные значения скорости движения для определенных коэффициентов сопротивления  $\psi_1$  и  $\psi_2$

Рисунок 7 – Диаграмма динамики автомобиля с 3-х ступенчатой (а) и 4-х ступенчатой (б) коробкой передач

## **1.6 Влияние конструкции коробки передач автомобиля на его топливную экономичность**

«Топливная экономичность автомобиля имеет важное значение в эксплуатации, так как топливо — один из основных эксплуатационных материалов, потребляемый автомобилем в большом количестве. Себестоимость перевозок существенно зависит от топливной экономичности автомобиля, поскольку затраты на топливо составляют примерно 10... 15 % всех затрат на перевозки. Поэтому чем выше топливная экономичность автомобиля, тем меньше расход топлива и ниже себестоимость перевозок.

Коробка переключения передач — агрегат, который самым непосредственным образом влияет на экономичность автомобиля. Во-первых, грамотное и умелое обращение с коробкой способно снизить расход топлива до 30% — правда, знают об этом далеко не все водители. Очень важным с точки зрения экономии топлива является умение водителя вовремя переключать передачи. Правда, это касается только владельцев автомобилей, оснащенных механической коробкой переключения передач, которых, например, в России подавляющее большинство.» [16]

Для каждого транспортного средства существует принцип — большое передаточное число означает значительное увеличение крутящего момента, но при этом значительное уменьшение максимальной скорости движения. Поэтому, для трогания с места используется первая передача, имеющая наибольшее передаточное число. Также большое значение передаточного числа используется в задней передаче, поскольку при движении задним ходом также необходима тяга, а не максимальная скорость.

На низких передачах двигатель потребляет топлива выше, главным образом за счет более высоких оборотов и небольшой скорости движения. По мере повышения передачи и уменьшения оборотов двигателя, потребление снижается. Однако, стоит помнить, что движение, например, в гору автомобиля с грузом на высшей передаче становится затрудненным, а в ряде



случаев невозможным, поскольку необходимый крутящий момент на колесах не поступает для данной передачи, а значит требуемая тяга отсутствует.

Поэтому, при движении транспортного средства, следует выбирать передачу, максимально соответствующую скоростному и тяговому режимам, но при этом которая обеспечивает максимальную топливную экономичность.

Также с точки зрения обеспечения топливной экономичности важно обеспечить движение транспортного средства накатом. Современные транспортные средства, благодаря наличию электронных систем управления двигателем, обеспечивают отключение подачи топлива на форсунках, например при движении накатом под гору на включенной передаче, в режиме торможения двигателем. В этом случае, расход топлива будет минимальным, при сохранении необходимой скорости движения транспортного средства.

Выводы по разделу. Исходя из проведенного анализа имеющихся конструкций коробок передач, принимает для транспортного средства восьмиступенчатую трехвальную коробку передач. Для расширения диапазона передаточных чисел в коробке передач будет использоваться двухступенчатый делитель, с пониженным рядом передаточных чисел.

На основании того, что коробка передач проектируется для бортового автомобиля и передаточное число низшей передачи требуется более 4, была принята трехвальная конструкция коробки передач с тремя синхронизаторами, так как она наиболее соответствует требованиям по компактности и технологичности.

В качестве привода включения делителя будет использоваться пневматический привод, питающийся от бортовой системы распределения воздуха.

## 2 Конструкторский раздел дипломного проекта

### 2.1 Расчет тяговых характеристик транспортного средства

Тяговый расчет транспортного средства выполняется для уточнения мощностных параметров транспортного средства. Также тяговый расчёт выполняется для выбора необходимых параметров для расчёта работы проектируемой коробки передач.

Исходные данные для производимого в разделе расчета представим в таблице 1. В качестве исходных данных приняты параметры базового автомобиля, взятого в качестве базы для проведения расчета, а именно автомобиля КамАЗ.

Таблица 1 – Исходные данные для выполнения тягового расчета

Параметр	Значение
Грузоподъемность, т	14,5
Собственный вес, т	11,5
Максимальная мощность двигателя, кВт	229
Частота вращения при максимальной скорости, об/мин	2650
Передаточные числа коробки передач	1 – 9,01 2 – 5,24 3 – 3,22 4 – 2,2 5 – 1,5 6 – 1,0
Передаточное число главной передачи	7,66

Тяговый расчет начинаем с расчета и графического построения внешней скоростной характеристики двигателя транспортного средства.

«Рассчитывают величины эффективной мощности  $N_e$  и крутящего момента  $T_e$  в зависимости от частоты вращения двигателя  $n_e$ , при полном открытии дроссельной заслонки или полной подаче топлива, по уравнениям:» [15]

$$N_e = N \left[ a \left( \frac{n_e}{N_n} \right) + b \left( \frac{n_e}{N_n} \right)^2 - c \left( \frac{n_e}{N_n} \right)^3 \right]_{max}, \text{ кВт} \quad (2)$$

$$T_e = 9550 \frac{N_e}{n_e}, \text{ Нм} \quad (3)$$

Расчёт значений мощности и крутящего момента выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

$n_e$ , об/мин	600	1000	1400	1800	2200	2600	2930
$N_e$ , кВт	29,56	57,38	87,39	115,95	139,37	154	156,8
$T_e$ , Нм	470,59	547,9	596,17	615,19	605,01	565,6	511,2

Также результаты расчета используются для построения диаграммы внешней скоростной характеристики, вынесенной на лист графической части.

«Силовой баланс строят, зная тяговую характеристику автомобиля и силы сопротивления дороги и воздуха.

Уравнение силового баланса имеет вид:» [4]

$$P_T = P_d + P_v + P_i \quad (4)$$

Произведем расчет тягового усилия на ведущих колесах:

$$P_T = \frac{T_e \cdot U_K \cdot U_{ГП} \cdot U_d}{r_K} \cdot \eta_{TP} \quad (5)$$

Рассчитаем силу сопротивления дорожного полотна:

$$P_d = G_a \cdot \psi \quad (6)$$

где  $\psi$  – коэффициент суммарного сопротивления дороги.

«Для горизонтальной дороги  $\psi = f$  может быть определён по формуле:»

[1]

$$f = f_0 \left( 1 + \frac{V_a^2}{20000} \right) \quad (7)$$

«где  $f_0$  – коэффициент сопротивления качению для сухого асфальтового покрытия, при  $V_a = 10 \dots 15$  км/ч;

$V_a$  – скорость автомобиля, км/ч» [1]

Сила сопротивления воздуха рассчитывается по формуле:

$$P_B = \frac{K \cdot F \cdot V_a^2}{13} \quad (8)$$

Скорость автомобиля на каждой передаче определяют по формуле:

$$V_a = 0,377 \cdot \frac{n_e \cdot r_K}{U_{ГП} \cdot U_K \cdot U_d} \quad (9)$$

Расчёт значений скорости и тяговой силы на каждой из передач выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведены в таблице 3.

Также результаты расчета используются для построения диаграмм силового баланса, выносимого на лист графической части.

«Динамический фактор определяют при полной нагрузке автомобиля по формуле:» [1]

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a} \quad (10)$$

Расчёт значений динамического фактора на каждой из передач в зависимости от скорости выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведен в таблице 3.

Таблица 3 - Расчёт значений динамического фактора на каждой из передач в зависимости от скорости

V <sub>1</sub>	2,250279	3,750465	5,250651	6,750837	8,251023	9,751209	10,98886
D <sub>1</sub>	0,221511	0,257922	0,280586	0,289504	0,284676	0,266102	0,240429
V <sub>2</sub>	2,758179	4,596965	6,435751	8,274537	10,11332	11,95211	13,46911
D <sub>2</sub>	0,180715	0,210411	0,228886	0,236141	0,232175	0,216989	0,196014
V <sub>3</sub>	4,366546	7,277577	10,18861	13,09964	16,01067	18,9217	21,3233
D <sub>3</sub>	0,114126	0,13284	0,144445	0,148941	0,146328	0,136605	0,123232
V <sub>4</sub>	5,348688	8,914479	12,48027	16,04606	19,61185	23,17765	26,11942
D <sub>4</sub>	0,093148	0,108386	0,1178	0,121391	0,119158	0,111101	0,100071
V <sub>5</sub>	7,038873	11,73145	16,42404	21,11662	25,8092	30,50178	34,37316
D <sub>5</sub>	0,070733	0,082228	0,089254	0,091814	0,089905	0,083529	0,074906
V <sub>6</sub>	8,62607	14,37678	20,1275	25,87821	31,62892	37,37964	42,12397
D <sub>6</sub>	0,05766	0,066936	0,072515	0,074396	0,07258	0,067067	0,059735
V <sub>7</sub>	11,50143	19,16904	26,83666	34,50428	42,1719	49,83951	56,1653
D <sub>7</sub>	0,043114	0,049838	0,053673	0,054618	0,052673	0,04784	0,041677
V <sub>8</sub>	14,07775	23,46291	32,84807	42,23324	51,6184	61,00357	68,74633
D <sub>8</sub>	0,03507	0,040289	0,04301	0,043233	0,040958	0,036186	0,030368
V <sub>9</sub>	17,59718	29,32864	41,06009	52,79155	64,523	76,25446	85,93291
D <sub>9</sub>	0,027797	0,031512	0,032998	0,032256	0,029286	0,024087	0,018121

Продолжение таблицы 3

V <sub>10</sub>	21,59163	35,98606	50,38048	64,7749	79,16933	93,56375	105,4391
D <sub>10</sub>	0,022288	0,024664	0,024899	0,022992	0,018943	0,012752	0,006032

«По аналогии с уравнением силового баланса уравнение мощностного баланса можно записать в следующем виде:» [1]

$$N_T = N_d + N_e + N_u \quad (11)$$

«Решить это уравнение можно графически, для чего построим график мощностного баланса. На этот график нанесём зависимости на всех передачах, мощности двигателя ( $N_B$ ) на высшей передаче, мощности заданного дорожного сопротивления ( $N_d$ ) и суммарной мощности дорожного и воздушного сопротивления ( $N_d + N_B$ ) от скорости движения автомобиля.

Тяговая мощность определяется по уравнению:» [1]

$$N_T = N_E \cdot \eta_{TP} \quad (12)$$

«График тяговой мощности строится на каждой передаче в зависимости от скорости движения, соответствующей частоте вращения, для которой определялась мощность по скоростной характеристике.» [1]

«Эффективная мощность двигателя ( $N_e$ ) строится в зависимости от скорости только на высшей передаче.

Мощности дорожного сопротивления и сопротивления воздуха рассчитывают в зависимости от скорости автомобиля по уравнениям:» [1]

$$N_d = \frac{P_d \cdot V_a}{3600} = \frac{G_a \cdot \psi \cdot V_a}{3600}, \text{ кВт} \quad (13)$$

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_a}{3600} = \frac{K \cdot F \cdot V_a^3}{46800}, \text{ кВт} \quad (14)$$

Расчёт значений мощностного баланса на каждой из передач в зависимости от скорости выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Расчетные значения тягово-мощностного баланса и динамического паспорта автомобиля

Передача	итр	$n, \text{мин}^{-1}$	$V_T, \text{м/с}$	$M_e, \text{кНм}$	$\eta_{тр}$	$P_{ко}, \text{кН}$	$P_w, \text{кН}$	$D_o$	$N_e, \text{кВт}$	$\eta_e$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	88,39	2600	1,48	1,358	0,786	196,4	0,007	0,446	369,4	108,353
		2300	1,31	1,929	0,797	283,0	0,006	0,643	464,3	0,300
		2000	1,14	2,375	0,800	349,8	0,004	0,795	497,3	0,310
		1600	0,91	2,777	0,797	407,5	0,003	0,926	465,1	0,313
		1200	0,68	2,958	0,786	428,2	0,001	0,973	371,5	0,303
		800	0,46	2,917	0,758	407,2	0,001	0,926	244,3	0,292
2	52,82	2600	2,48	1,358	0,786	117,4	0,020	0,267	369,4	108,353
		2300	2,19	1,929	0,797	169,1	0,015	0,384	464,3	0,300
		2000	1,91	2,375	0,800	209,0	0,012	0,475	497,3	0,310
		1600	1,53	2,777	0,797	243,5	0,007	0,554	465,1	0,313
		1200	1,14	2,958	0,786	255,9	0,004	0,582	371,5	0,303
		800	0,76	2,917	0,758	243,3	0,002	0,553	244,3	0,292
3	29,29	2600	4,47	1,358	0,786	65,0	0,064	0,148	369,4	108,353
		2300	3,96	1,929	0,797	93,7	0,050	0,213	464,3	0,300
		2000	3,44	2,375	0,800	115,9	0,038	0,263	497,3	0,310
		1600	2,75	2,777	0,797	135,0	0,024	0,307	465,1	0,313
		1200	2,07	2,958	0,786	141,8	0,014	0,322	371,5	0,303
		800	1,38	2,917	0,758	134,9	0,006	0,307	244,3	0,292
4	25,26	2600	5,19	1,358	0,786	56,1	0,086	0,127	369,4	108,353
		2300	4,59	1,929	0,797	80,8	0,067	0,184	464,3	0,300
		2000	3,99	2,375	0,800	99,9	0,051	0,227	497,3	0,310
		1600	3,19	2,777	0,797	116,4	0,033	0,265	465,1	0,313
		1200	2,39	2,958	0,786	122,3	0,018	0,278	371,5	0,303
		800	1,60	2,917	0,758	116,3	0,008	0,265	244,3	0,292
5	18,31	2600	7,16	1,358	0,786	40,683	0,164	108,35	369,4	108,353
		2300	6,33	1,929	0,797	58,615	0,128	130,93	464,3	0,300
		2000	5,51	2,375	0,800	72,449	0,097	135,75	497,3	0,310
		1600	4,41	2,777	0,797	84,414	0,062	125,91	465,1	0,313
		1200	3,30	2,958	0,786	88,682	0,035	80,92	371,5	0,303
		800	2,20	2,917	0,758	84,343	0,016	70,96	244,3	0,292

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	14,96	2600	8,76	1,358	0,786	33,244	0,246	108,35	369,4	108,353
		2300	7,75	1,929	0,797	47,897	0,192	130,93	464,3	0,300
		2000	6,74	2,375	0,800	59,201	0,145	135,75	497,3	0,310
		1600	5,39	2,777	0,797	68,978	0,093	125,91	465,1	0,313
		1200	4,04	2,958	0,786	72,466	0,052	103,73	371,5	0,303
		800	2,70	2,917	0,758	68,921	0,023	70,96	244,3	0,292
7	8,84	2600	14,83	1,358	0,786	19,644	0,703	108,35	369,4	108,353
		2300	13,12	1,929	0,797	28,303	0,550	130,93	464,3	0,300
		2000	11,40	2,375	0,800	34,982	0,416	135,75	497,3	0,310
		1600	9,12	2,777	0,797	40,760	0,266	125,91	465,1	0,313
		1200	6,84	2,958	0,786	42,821	0,150	103,73	371,5	0,303
		800	4,56	2,917	0,758	40,726	0,067	70,96	244,3	0,292
8	5,23	2600	25,06	1,358	0,786	11,624	2,009	108,35	369,4	108,353
		2300	22,16	1,929	0,797	16,747	1,572	130,93	464,3	0,300
		2000	19,27	2,375	0,800	20,700	1,189	135,75	497,3	0,310
		1600	15,42	2,777	0,797	24,118	0,761	125,91	465,1	0,313
		1200	11,56	2,958	0,786	25,338	0,428	103,73	371,5	0,303
		800	7,71	2,917	0,758	24,098	0,190	70,96	244,3	0,292
9	72,49	2600	1,81	1,358	0,786	161,106	0,366	108,35	369,4	108,353
		2300	1,60	1,929	0,797	232,114	0,528	130,93	464,3	0,300
		2000	1,39	2,375	0,800	286,897	0,652	135,75	497,3	0,310
		1600	1,11	2,777	0,797	334,279	0,760	125,91	465,1	0,313
		1200	0,83	2,958	0,786	351,182	0,798	84,8	371,5	0,303
		800	0,56	2,917	0,758	334,000	0,759	70,96	244,3	0,292
10	42,89	2600	3,06	1,358	0,786	95,315	0,217	108,35	369,4	108,353
		2300	2,70	1,929	0,797	137,326	0,312	130,93	464,3	0,300
		2000	2,35	2,375	0,800	169,737	0,386	135,75	497,3	0,310
		1600	1,88	2,777	0,797	197,769	0,449	125,91	465,1	0,313
		1200	1,41	2,958	0,786	207,770	0,472	103,73	371,5	0,303
		800	0,94	2,917	0,758	197,605	0,449	70,96	244,3	0,292
11	24,01	2600	5,46	1,358	0,786	53,353	0,121	108,35	369,4	108,353
		2300	4,83	1,929	0,797	76,869	0,175	130,93	464,3	0,300
		2000	4,20	2,375	0,800	95,011	0,216	135,75	497,3	0,310
		1600	3,36	2,777	0,797	110,703	0,252	125,91	465,1	0,313
		1200	2,52	2,958	0,786	116,300	0,264	103,73	371,5	0,303
		800	1,68	2,917	0,758	110,610	0,251	70,96	244,3	0,292
12	20,71	2600	6,33	1,358	0,786	46,030	0,104	108,35	369,4	108,353
		2300	5,60	1,929	0,797	66,318	0,150	130,93	464,3	0,300
		2000	4,87	2,375	0,800	81,971	0,186	135,75	497,3	0,310
		1600	3,89	2,777	0,797	95,508	0,217	125,91	465,1	0,313
		1200	2,92	2,958	0,786	100,338	0,228	103,73	371,5	0,303
		800	1,95	2,917	0,758	95,429	0,217	70,96	244,3	0,292



Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
13	15,01	2600	8,73	1,358	0,786	33,360	0,244	108,35	369,4	108,353
		2300	7,72	1,929	0,797	48,064	0,191	130,93	464,3	0,300
		2000	6,72	2,375	0,800	59,408	0,144	135,75	497,3	0,310
		1600	5,37	2,777	0,797	69,219	0,092	125,91	465,1	0,313
		1200	4,03	2,958	0,786	72,719	0,052	####	371,5	0,303
		800	2,69	2,917	0,758	69,162	0,023	70,96	244,3	0,292
14	12,29	2600	10,66	1,358	0,786	27,316	0,364	108,35	369,4	108,353
		2300	9,43	1,929	0,797	39,356	0,285	130,93	464,3	0,300
		2000	8,20	2,375	0,800	48,644	0,215	135,75	497,3	0,310
		1600	6,56	2,777	0,797	56,678	0,138	125,91	465,1	0,313
		1200	4,92	2,958	0,786	59,544	0,077	103,73	371,5	0,303
		800	3,28	2,917	0,758	56,631	0,034	70,96	244,3	0,292
15	7,27	2600	18,03	1,358	0,786	16,157	1,040	108,35	369,4	108,353
		2300	15,95	1,929	0,797	23,278	0,814	130,93	464,3	0,300
		2000	13,87	2,375	0,800	28,773	0,615	135,75	497,3	0,310
		1600	11,09	2,777	0,797	33,524	0,394	125,91	465,1	0,313
		1200	8,32	2,958	0,786	35,220	0,221	103,73	371,5	0,303
		800	5,55	2,917	0,758	33,496	0,098	70,96	244,3	0,292
16	4,29	2600	30,56	1,358	0,786	9,532	2,988	108,35	369,4	108,353
		2300	27,03	1,929	0,797	13,733	2,338	130,93	464,3	0,300
		2000	23,50	2,375	0,800	16,974	1,768	135,75	497,3	0,310
		1600	18,80	2,777	0,797	19,777	1,131	125,91	465,1	0,313
		1200	14,10	2,958	0,786	20,777	0,636	103,73	371,5	0,303
		800	9,40	2,917	0,758	19,760	0,283	70,96	244,3	0,292

Время разгона определяют, зная ускорение и скорость автомобиля.

При ускоренном движении автомобиля ускорение равно:

$$j = \frac{dV_a}{3,6 \cdot dt} \quad (15)$$

«Так как отсутствует аналитическая связь между ускорением  $j$  и скоростью  $V_a$ , то решение проводим графоаналитическим методом, пользуясь графиком ускорения автомобиля. Кривую ускорений разобьём на ряд интервалов и предположим, что в каждом интервале скоростей автомобиль разгоняется с постоянным средним ускорением ( $j_{cp}$ ). Величину определим по формуле:» [1]

$$J_{cp} = \frac{j_1 + j_2}{2} \quad (16)$$

где  $j_1, j_2$  – ускорения соответственно в начале и конце интервала скорости ( $V_1, V_2$ ).

«Для точности расчётов интервал скорости берут равным 2 – 3 км/ч на первой передаче, 10 – 15 км/ч – на высшей передаче и 5 – 10 км/ч – на промежуточных передачах.

Если взять интервал скоростей от  $V_1 - V_2$ , например, то среднее ускорение на этом участке ( $j_{cp}$ ) равно:» [1]

$$J_{cp} = \frac{V_2 - V_1}{3,6 \cdot \Delta t_1} = \frac{\Delta V_1}{3,6 \cdot \Delta t_1} \quad (17)$$

Следовательно, время разгона в том же интервале изменения скорости определяется как:

$$\Delta t_1 = \frac{V_2 - V_1}{3,6 \cdot j_{cp}} = \frac{\Delta V_1}{3,6 \cdot j_{cp}} \quad (18)$$

Пользуясь полученным выражением, определим время разгона и на всех других интервалах скоростей. Общее время разгона составит:

$$T = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n \quad (19)$$

Расчёт значений времени разгона в зависимости от скорости выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведен в таблице 5. Также значения выносятся в соответствующей диаграмме на лист графической части.

Таблица 5 – Расчёт значений времени разгона в зависимости от скорости

$V_a$ , км/ч	$\Delta V$ , км/ч	$J_{cp}$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta t$ , с	$T$ , с
0	0	0	0	195,7266
2	2	0,26	2,136752	
4	2	0,46	1,207729	
6	2	0,66	0,841751	
8	2	0,7	0,793651	
10	2	0,73	0,761035	
12	2	0,72	0,771605	
14	2	0,709	0,783576	
20	6	0,65	2,564103	
25	5	0,59	2,354049	
30	5	0,51	2,723312	
35	5	0,428	3,245067	
40	5	0,34	4,084967	
45	5	0,258	5,38329	
50	5	0,23	6,038647	
55	5	0,2	6,944444	
60	5	0,12	11,57407	
65	5	0,03	46,2963	
70	5	0,025	55,55556	
73	3	0,02	41,66667	

«По значениям  $\Delta t$ , определённым для различных скоростей, строим кривую времени разгона, начиная её от значения  $V_{min}$ , для которого  $t = 0$ . Для скорости  $V_2$  откладывают значение  $\Delta t_1$ ; для скорости  $V_3$  – значение времени разгона ( $\Delta t_1 + \Delta t_2$ ).

Время переключения передач ( $t_{пп}$ ) не учитываются.

Путь разгона  $S$  зависит от скорости автомобиля и его времени разгона:» [14]

$$V_a = \frac{dS}{dt} \quad (20)$$

Тогда путь разгона, например, в интервале скоростей равен:

$$\Delta S_1 = \frac{V_{cp} \cdot \Delta t_1}{3,6} = \frac{V_{cp} \cdot \Delta V_1}{13 \cdot j_{cp}} \quad (21)$$

«Пользуясь полученным выражением, рассчитывают путь разгона на всех выбранных интервалах, начиная с  $V_{min}$ . Для последующих скоростей расчёт пути разгона ведётся аналогично времени разгона.»

$$S = \Delta S_1 + \Delta S_2 + \dots + \Delta S_n \quad (22)$$

Расчёт значений пути разгона в зависимости от скорости выполнен с использованием пакета Microsoft Excel. Полученные в результате расчета значения приведен в таблице 6. Также значения выносятся в соответствующей диаграмме на лист графической части.

Таблица 6 – Путь разгона автомобиля

$V_a$ , км/ч	$V_{cp}$ , км/ч	$\Delta t$ , с	$\Delta S$ , м	$S$ , м
0	0	0	0	3233,208
2	1	2,136752	0,593542	
4	3	1,207729	1,006441	
6	5	0,841751	1,169098	
8	7	0,793651	1,54321	
10	9	0,761035	1,902588	
12	11	0,771605	2,357682	
14	13	0,783576	2,829581	
20	17	2,564103	12,10826	
25	22,5	2,354049	14,71281	

Продолжение таблицы 6

30	27,5	2,723312	20,80307
35	32,5	3,245067	29,29575
40	37,5	4,084967	42,55174
45	42,5	5,38329	63,55273
50	47,5	6,038647	79,6766
55	52,5	6,944444	101,2731
60	57,5	11,57407	184,8637
65	62,5	46,2963	803,7551
70	67,5	55,55556	1041,667
73	71,5	41,66667	827,5463

В результате расчета определены основные характеристики динамики и разгона транспортного средства. Установлена внешняя скоростная характеристика. В соответствии с полученными расчетами будет производиться расчет коробки передач и КОМ.

$$\sigma_a = \frac{32 \cdot 228012}{3,14 \cdot 20^3} = 285 \text{ МПа}$$

$$S_\sigma = \frac{250}{\frac{285}{1,6} \cdot \left( \frac{1}{0,77} + 1 - 1 \right)} = 1.15 > [S_\sigma] \text{ МПа} \quad (23)$$

Результатом выполнения раздела явился расчет зубчатых колес и корпуса коробки передач. Расчет был выполнен по методике общего машиностроения без применения отраслевых стандартов расчета зубчатых передач, применяемых, как правило при расчетах коробок передач и узлов трансмиссии легкового автомобиля. Все полученные в результате расчетов значения будут использованы в проектировании конструкции КОМ, будут учтены габаритные размеры колес и осей, толщина стенок корпуса коробки. Правильность выполненных расчетов подтверждается проверочными

расчетами и построенными эпюрами нагрузки валов. Чертеж коробки передач представлен в графической части дипломного проекта.

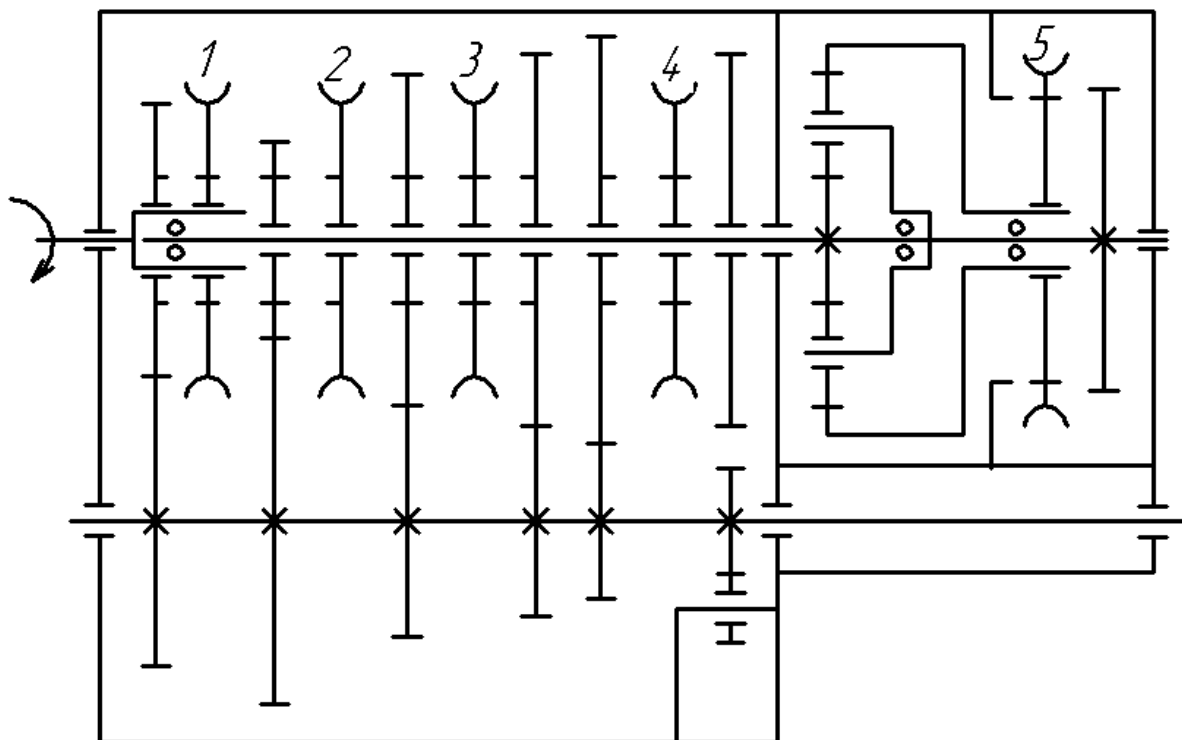
## **2.2 Кинематика разрабатываемой коробки передач**

В рамках задач дипломного проекта необходимо произвести разработку 16-ступенчатой трехвальной коробки передач с делителем. Подобного передаточного числа возможно достичь исключительно в многовальных коробках передач, поэтому в конструкции используется схема трехвальной коробки. Однако многовальность не позволяет обеспечить подобной вариативности передаточных чисел, поскольку это повлечет значительное увеличение габаритных размеров. С этой целью, в конструкции дополнительно применяется подключаемый понижающий редуктор, называемый делителем.

«Редуктор может быть повышающим или понижающим. Повышающий редуктор (мультипликатор или делитель) устанавливают перед коробкой передач, он имеет назначение уменьшить разрыв между передаточными числами соседних передач уплотнить ряд; незначительно увеличивая диапазон передач. В большинстве случаев делитель увеличивает диапазон на 20...25 %; он имеет обычно две передачи — прямую и повышающую, что позволяет увеличить число передач в 2 раза. Понижающий редуктор (демультипликатор) размещают за коробкой передач. Устанавливать демумльтипликатор перед коробкой передач нецелесообразно, так как при этом зубчатые колеса коробки и валы передач следует рассчитывать на повышенный крутящий момент, что приводит к увеличению их массы и размеров.» [10]

Кинематическая схема разрабатываемой коробки передач представлена на рисунке 8. Делитель выполняется в общем картере в передней части коробки. Наличие делителя позволяет увеличивать ряд передаточных чисел в два раза.

«Делитель дает возможность получить два ряда передач в коробке. Повышающий ряд получается при перемещении синхронизатора 1 делителя вперед (влево по схеме). Повышающая передача включается при перемещении одностороннего синхронизатора 2 вперед. Остальные три передачи для движения вперед и перед; заднего хода получают соответствующими перемещениями синхронизаторов 3 и 4.» [11]



1-синхронизатор делителя; 2-односторонний синхронизатор повышающей передачи; 3-синхронизатор второй и третьей передач в коробке; 4-синхронизатор первой передачи и заднего хода; 5-синхронизатор прямой и понижающей передач мультипликатора

Рисунок 8 – Схема 16-ступенчатой коробки передач

«Понижающий ряд получается при перемещении синхронизатора делителя назад (вправо). Высшая передача, прямая, включается при перемещении одностороннего синхронизатора 2 вперед. Остальные три передачи переднего ход; передача заднего хода получают соответствующим перемещением синхронизаторов 3 и 4.

Демultiпликатор позволяет получить две передачи; прямую и

пониженную.

Таким образом, конструкция коробки передач принципиально дает возможность обеспечить 16 передач. Планетарный демультипликатор включается при помощи синхронизатора 5, который имеет два положения:

- включения прямой передачи — синхронизатор перемещается вправо, блокируются эпициклическое зубчатое колесо и водило, при этом элементы планетарного ряда вращаются как одно целое;

- включения понижающей передачи — синхронизатор перемещается влево, вследствие чего эпициклическое колесо блокируется с картером.» [14]

«Применение планетарного демультипликатора при большом передаточном числе дает возможность снизить массу и размеры всего агрегата коробки передач.

Основная коробка передач трёхходовая восьмиступенчатая с синхронизаторами на всех передачах.

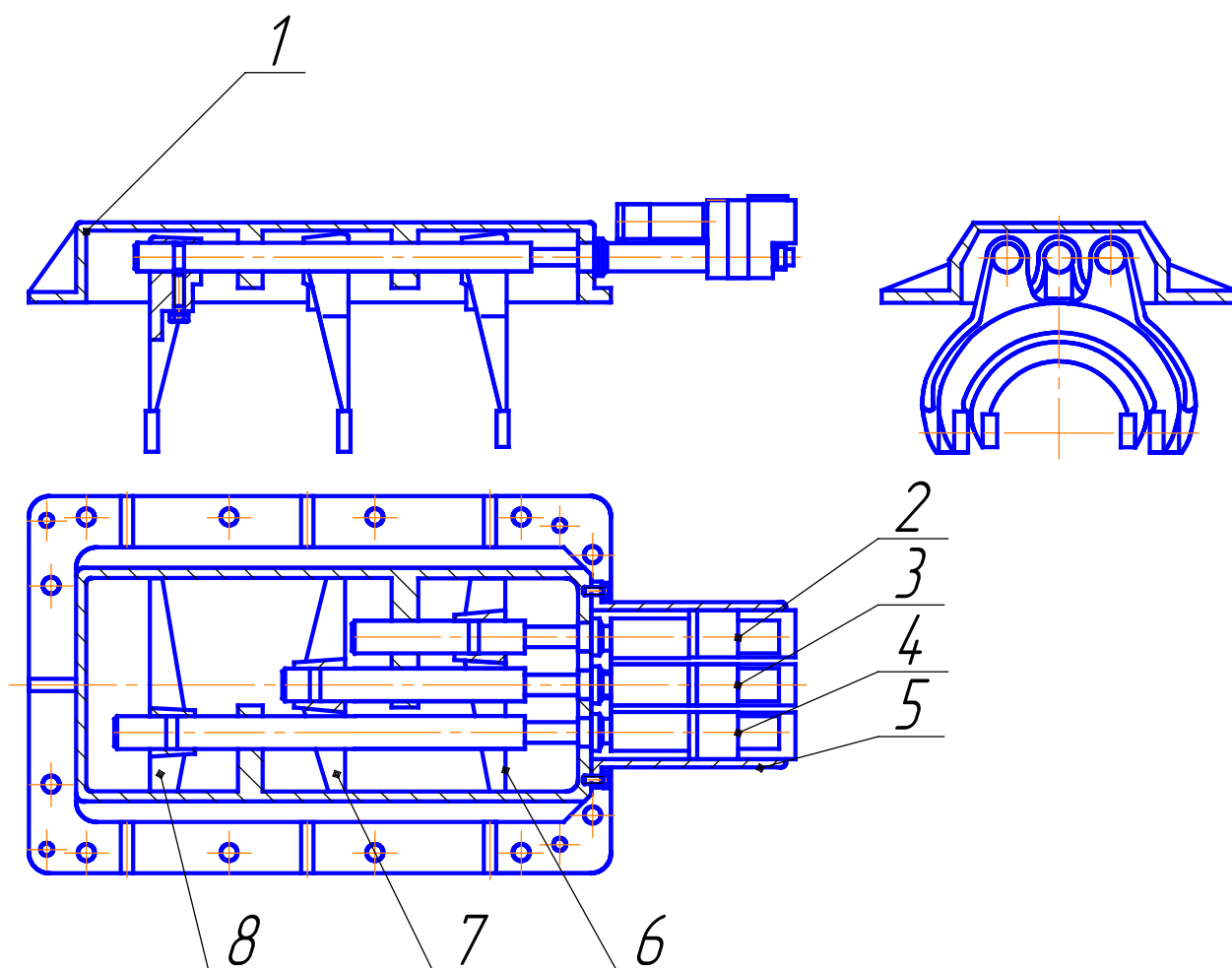
КПП имеет вилочный механизм включения. Всего в крышке КПП имеется 3 вилки, которые перемещаются тягой механизма переключения. Наше предложение при модернизации изменить крышку и вместо тягового механизма поставить 3 актуатора, которые и будут перемещать вилки при включении и выключении передач КПП.» [13], [22]

«Актуатор – в кибернетике подсистема, передающая воздействие с управляющего устройства на объект управления. Часто рассматривается в качестве подсистемы, входящей в состав объекта управления. Управляющим устройством может быть человек, робот, регулятор или любая другая динамическая система. Входные и выходные сигналы исполнительных устройств, а также их методы воздействия на объект управления могут иметь различную природу.» [19]

При разработке конструкции коробки передач в механизме переключения передач применяется актуатор, производимый ОАО «Электропривод».



Актуатор монтируется в крышку коробки передач. Для размещения механизма актуатора, крышка подвергается доработке (рисунок 9).



1 – крышка; 2 – актуатор I и задней передачи; 3 – актуатор II и III передачи; 4 – актуатор IV передачи; 5 – механизм фиксации актуаторов; 6 – вилка I передачи; 7 – вилка II и III передач; 8 – вилка IV передачи

Рисунок 9 – Крышка коробки передач с механизмом переключения

«Как видно из рисунка 9 при включении I передачи поступает сигнал на актуатор I передачи, шток его перемещается, перемещает вилку, а та в свою очередь, перемещает шестерню, происходит зацепление, передача включается. Далее для включения следующей передачи, перемещаем рычаг КПП в положение передачи II, актуатор I передачи в свою очередь выходит в исходное положение, шестерня первой передачи выходит из зацепления,

одновременно актуатор II передачи перемещается и вводит в зацепление, посредством вилки шестерню включения II передачи. Далее процесс повторяется, в нейтральном положении рычага КПП все актуаторы возвращаются в исходное положение.» [15]

Модель применяемого актуатора поступательного движения – МП4С10А.

«Электромеханизмы (рисунок 10) предназначены для линейного перемещения исполнительных устройств на объектах авиационной и наземной техники. Электромеханизмы обеспечивают:

- поступательное движение штока на ход, ограниченный концевыми микропереключателями;
- автоматическое отключение электродвигателя и остановку штока в крайних положениях;
- сигнализацию заданных крайних и промежуточных положений штока;
- фиксацию штока электромеханизма в обесточенном состоянии.

Электромеханизмы разработаны для замены выпускаемых в настоящее время изделий МП-100, МП-250 и МП750 и имеют перед ними следующие преимущества:

- меньшие габариты и массу;
- высокую надежность;
- повышенный ресурс.» [16], [18]



Рисунок 10 – Актуатор поступательный, тип МП с развиваемым усилием тяги 100...6000 Н

«Техническая характеристика актуатора МП4С10А:

Напряжение питания постоянного тока – 24 В;

Номинальная нагрузка вдоль оси штока – 392 Н (40 кгс);

Номинальная скорость штока – 10 м/с;

Рабочий ход штока – 10...80 мм;

Габаритные размеры – 41x96x182 мм;

Масса – 0,9 кг.

Как видно из технической характеристики актуатор подходит для переключения передач разрабатываемой нами КПП.

Фиксировать все три актуатора будем на специальном крепеже 5 (рисунок 2.3) (скоба). Скоба крепится к крышке при помощи двух болтов М8х1,25-20.

Вилки крепятся к штокам при помощи болтов М10х1,5-35.

Штоки фиксируются на актуаторе при помощи штифтов 4х20.

Переключение делителя и демультипликатора будет происходить гидравлически, так как распространено на большинстве коробок этого типа.» [13]

Итак, управление коробкой в целом происходит следующим образом. Переключение осуществляется механически с помощью простого сдвоенного Н - образного переключения. Оно поделено на 4 дорожки, расположенные рядом друг с другом (рисунок 11). В дорожках 3/4 или 5/6 находится соответственно, по одной нейтральной передаче.

Гидравлическое переключение демультипликатора происходит автоматически при переходе с дорожки 3/4 на дорожку 5/6 или наоборот. Управление переключателя демультипликатора состоит из клапана переключения и встроенного в коробку передача гидравлического цилиндра с двойным действием.

Переход между дополнительными рядами понижающих и повышающих передач служит переключатель делителя (рисунок 11). Управления переключателя делителя аналогично управлению демультипликатора.

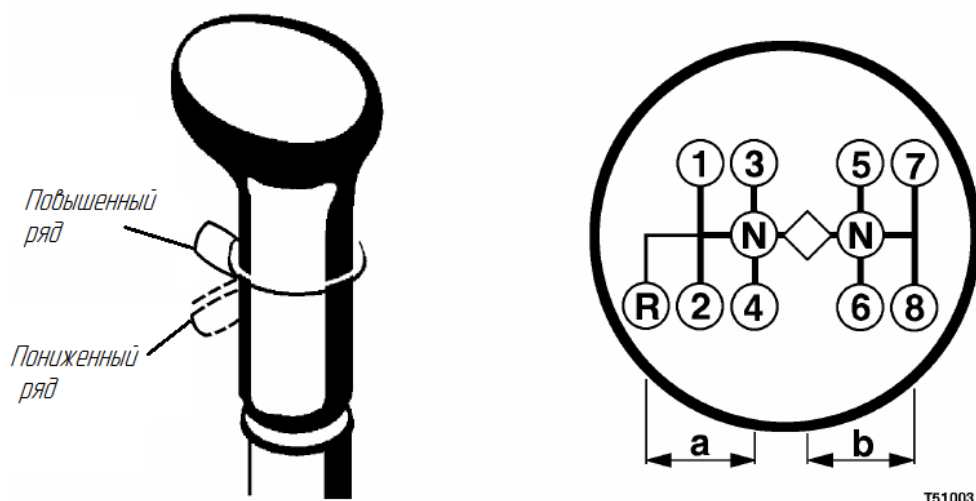


Рисунок 11 – Рычаг переключения передач с рычагом делителя

### 2.3 Определение передаточных чисел коробки передач и числа ступеней

Необходимо провести обоснование выбора числа ступеней и передаточных чисел 16-ступенчатой коробки передач. Принимаем, что передаточное отношение повышенной передачи делителя, размещенного в передней части коробки  $U_{Дповыш} = 0,82$ , передаточное число пониженной передачи демультипликатора  $U_{ДМпониж} = 3,5$

Из условия обеспечения  $V_{max}$  на высшей расчетной передаче в коробке передач определяем передаточное число главной передачи.

$$V \frac{n \cdot r_K}{U_{Г} \cdot U_{КП} \cdot U_{Дповыш} \cdot i_{max}} \quad (24)$$

«где  $V_{max}$  - максимальная скорость автомобиля,  $V_{max}=110$  км/ч,

$n$  - частота при которой скорость максимальна,  $n = 2600 \frac{об}{мин}$ ,

$r_K$  - радиус колеса,  $r_K=0,48$  м,

$U_{КП}$  - передаточное число коробки передач при максимальной скорости,  $U_{КП} = 1$ ,

$U_{Д}$  - передаточное отношение делительной,  $U_{Д} = 0,82$

$U_{Г}$  - передаточное число главной передачи.» [13], [21]

$$U_{Г} = 0,105 \frac{2600 \cdot 0,48}{\frac{110}{3,6} \cdot 1 \cdot 0,82} = 5,23.$$

Передаточное число  $u_{К1}$  первой передачи определяется из условия обеспечения возможности движения по дороге с заданным  $\psi_{max}$ . Для этого используют уравнение силового баланса при установившемся движении.

Поскольку на первой передаче скорость не велика, то можно полагать  $P_{В}=0$ . Принимая во внимание выражение  $P_{м}$  и  $P_{Д}$  можно записать

$$\frac{M \cdot u_{\text{тр}} \cdot \eta_m}{r_k} = G_a \cdot \psi_{\text{max}}. \quad (25)$$

Передаточное число  $u_{K1}$  выбирают таким, чтобы на этой передаче при  $M_{\text{max}}$  обеспечивалось движение  $V=\text{const}$  по дороге с заданным коэффициентом  $\psi_{\text{max}}$ . Для этого необходимо выполнение равенства

$$\frac{M_{KП1} m_{\text{max}}}{r_{ka\text{max}}} \quad (26)$$

$$u_{KП1} = \frac{G_a \cdot \psi_{k\text{max}}}{M_{m\text{max}}}, \quad (27)$$

«где  $G_a$  - вес автомобиля,  $G_a=440$  кН,

$M_{\text{max}}$  - максимальный крутящий момент,  $M_{\text{max}}$ ,

$\psi_{\text{max}}$  - коэффициент дорожных сопротивлений,  $\psi_{\text{max}}=0,3$ ,

$\eta_m$  - механический КПД трансмиссии,  $\eta_m=0,84$ .» [13]

При назначении коэффициента  $\psi_{\text{max}}$  исходят не только из того, какие максимальные подъемы должен преодолевать автомобиль, но и из условия получения минимальных скоростей движения, необходимых в ряде случаев эксплуатации (движение в колонне, движение по дорогам и участкам дорог со значительными неровностями и др.)

$$u_{KП1} = \frac{440,0 \cdot 0,3 \cdot 0,48}{2,97 \cdot 5,23 \cdot 0,84} = 4,86.$$

Скорость, соответствующая минимальной устойчивой частоте вращения коленчатого вала

$$V_{\text{min}1} = 0,105 \frac{800 \cdot 0,48}{4,28 \cdot 4,86 \cdot 1} = 1,93 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

У большинства современных автомобилей скорость, соответствующая минимальной устойчивой частоте при полной подаче топлива, не превышает 1,5...2 м/с для грузовых, что по расчетам допустимо.

Число ступеней коробки передач зависит от типа, удельной мощности и предлагаемых условий эксплуатации.

Общее число ступеней трансмиссии, т. е. произведение числа ступеней коробки передач на отличные от единицы числа ступеней дополнительной коробки и главной передачи, зависит от общего диапазона  $d$  передаточных чисел трансмиссии, равного отношению произведений низших передаточных чисел во всех её механизмах к произведению высших передаточных чисел в тех же механизмах. Статистические исследования показывают, что в большинстве случаев число ступеней трансмиссии грузовых автомобилей согласуют с диапазоном передаточных чисел.

$$d = \frac{u_{зл} \cdot u_{кп1} \cdot u_{ДМпониш}}{u_{зл} \cdot u_{кпвысш} \cdot u_{Дповыш}} = \frac{u_{кп1} \cdot u_{ДМпониш}}{u_{кпвысш} \cdot u_{Дповыш}}, \quad (28)$$

$$d = \frac{4,86 \cdot 3,5}{1 \cdot 0,82} = 19,8.$$

Таблица 7 – Число ступеней, соответствующее диапазону передаточных чисел

d	5,7...8,5	7,9...9,35	8...10	9,2...18,5	13...19,4	17...24,7
Число ступеней	5	6	8	10	16	20

«Число ступеней принимаем 16, что соответствует разработанной кинематической схеме.

На автомобиле будем устанавливать основную 4х-ступенчатую коробку передач и демультипликатор, который позволяет получить две

передачи прямую и пониженную.

Если пренебрегать снижением скорости в процессе переключения передач. То каждый раз скорость движения, достигнутая на низшей передаче перед моментом переключения при частоте  $n_2$ , равна скорости на следующей высшей передаче при частоте  $n_1$ .» [7], [20]

$$V_{2min_{1max}} \quad (29)$$

$$V_{3min_{2max}} \text{ и т. д.}$$

Принимая во внимание

$$V_{min_1} = 0,105 \frac{n_2 \cdot r_k}{u_{\Gamma} \cdot u_{k1}}, \quad (30)$$

$$V \frac{n_1 \cdot r_k}{u_{\Gamma} \cdot u_{k2_{2max}}} \quad (31)$$

Результатом будет следующее равенство:

$$\frac{n_2}{u_{k1}} = \frac{n_1}{u_{k2}}, \quad (32)$$

$$\frac{n_2}{u_{k2}} = \frac{n_1}{u_{k3}}, \quad (33)$$

ИЛИ

$$\frac{u_{k1}}{u_{k2}} = \frac{u_{k2}}{u_{k3}} = \dots = \frac{u_{k(n-1)}}{u_{kn}} = q. \quad (34)$$



Из равенства следует, что для наилучшего использования мощности двигателя передаточные числа следует подбирать по геометрической прогрессии со знаменателем  $q$ .

Из предварительного расчета известны передаточные числа первой и высшей передач. Найдем передаточные числа промежуточных передач.

Знаменатель  $q$

$$u_{кв} = \frac{u_{к1}}{q^{n-1}}, \quad (35)$$

где  $u_{кв}$  - передаточное отношение высшей передачи,  $u_{кв} = 1,0$ ,

$n$  – количество передач коробки,  $n=4$ ,

$$q = \sqrt[n-1]{\frac{u_{к1}}{u_{кв}}} = \sqrt[4-1]{\frac{4,86}{1,0}} = 1,69. \quad (36)$$

Передаточное отношение на произвольной передаче

$$u_{км} = \frac{u_{к1}}{q^{m-1}}, \quad (37)$$

где  $m$  – номер передачи.

$$u_{к2} = \frac{4,86}{1,69^{2-1}} = 2,88,$$

$$u_{к3} = \frac{4,86}{1,69^{3-1}} = 1,7,$$

$$u_{к4} = \frac{4,86}{1,69^{4-1}} = 1,00.$$

У большинства выпускаемых автомобилей передаточные числа высших передач сближены на 5...15% по сравнению со значениями, полученными по геометрической прогрессии, а соотношения между низшими передачами на 55...15% больше. У пятиступенчатых КП «сближены» четвертая и пятая передачи и «раздвинуты» вторая с первой и третья со второй.

Окончательные передаточные числа КП уточняют при выборе параметров зубчатого зацепления в процессе проектирования КП.

Таблица 8 – Передаточные числа трансмиссии

Элемент сил. передачи	Передаточные числа			
Главная передача	5,23			
Делитель	Повышенная		Прямая	
	0,82		1	
Основная КПП	1	2	3	4
	4.83	2.86	1.69	1
Демультипликатора	Прямая		Пониженная	
	1		3,5	

Учитывая принцип работы разрабатываемой нами коробки передач, получаем два ряда передаточных чисел таблица 9, переключение между которыми происходит с помощью пневматического переключателя делителя рисунок 11

Таблица 9 – Передаточные числа КПП

1-й ряд	16,9	10,01	5,6	4,83	3,5	2,86	1,69	1
2-й ряд	13,86	8,2	4,59	3,96	2,87	2,35	1,39	0,82

Рассчитанные передаточные числа и число ступеней коробки передач соответствует задачам, обозначенным в рамках дипломного проекта.

## 2.4 Прочностные расчёты элементов разрабатываемой конструкции коробки передач

### 2.4.1 Расчёт болтов крепежа актуаторов

Необходимо произвести дополнительные расчеты по отдельным узлам и деталям проектируемого агрегата. В качестве проверочных расчетов будут использованы те элементы, которые внедряются в качестве дополнительных, в первую очередь это касается элементов, которые подвергаются модернизации в ходе проведения работ, а именно механизма переключения передач.

«Расчёт затянутого и дополнительно нагруженного внешней осевой силой болта. Этот случай является весьма распространённым. Для большинства резьбовых изделий требуется предварительная затяжка болтов, обеспечивающая плотность соединения и отсутствие взаимных смещений деталей стыка. После предварительной затяжки под действием силы предварительной затяжки болт растягивается, а детали стыка сжимаются. Помимо силы предварительной затяжки на болт может действовать внешняя осевая сила. Типичный случай представлен на рисунке 12, где внешняя сила создаётся за счёт давления актуатора. Расчёт ведём по результирующей нагрузке болта.» [13]

Условие прочности на растяжение:

$$\sigma_{P.} = \frac{4 \cdot F}{\pi \cdot d_1^2} \leq [\sigma]_{P.}, \quad (38)$$

где  $\sigma_{P.}$  и  $[\sigma]_{P.}$  - соответственно расчётное и допустимое напряжения растяжения в поперечном сечении нарезанной части болта, МПа;

F – растягивающая сила, Н;

$d_1$  – внутренний диаметр резьбы болта, мм.

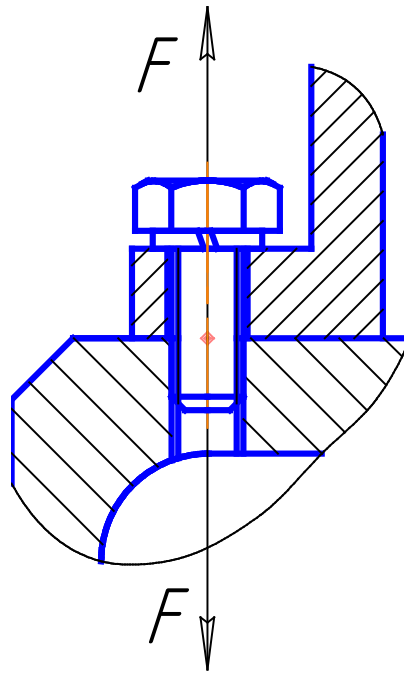


Рисунок 12 – Схема для расчёта болта

Растягивающую силу рассчитаем из равенства:

$$F = \frac{50}{2} = 25,0 \text{ Н.} \quad (39)$$

где 50 Н – усилие для перемещения вилки.

Осевая сила, растягивающая болт силы:

$$F_p = [1,3 \cdot K_3 \cdot (1 - \chi) + \chi] \cdot F, \quad (40)$$

где  $K_3$  – коэффициент затяжки болта, для соединения без прокладок

$K_3 = 1,25 \dots 2,0$ ;

$\chi$  – коэффициент внешней (основной) нагрузки, для соединения без прокладок,  $\chi = 0,2 \dots 0,3$ .

$$F_p = [1,3 \cdot 1,50 \cdot (1 - 0,20) + 0,20] \cdot 25,0 = 44,0 \text{ Н.}$$

Проектировочный расчёт затянутого болта с дополнительной осевой нагрузкой при отсутствии последующей затяжки:

$$d_1 \geq 1,13 \cdot \sqrt{\frac{F_{P.}}{[\sigma]_{P.}}} \quad (41)$$

Изготавливаем болт М8х1,25-20 из стали Ст. 5  $[\sigma]_{P.} = 165,0$  МПа.

Тогда:

$$d_1 \geq 1,13 \cdot \sqrt{\frac{44,0}{165,0 \cdot 10^6}} = 0,00058 \text{ м} = 0,58 \text{ мм.}$$

Наш болт имеет внутренний диаметр 5,5 мм, что больше 0,58 мм, болт выдерживает нагрузки.

$$\sigma_{P.} = \frac{4 \cdot 44,0}{3,14 \cdot 0,0055^2} \cdot 10^{-6} = 1,85 \text{ МПа} < 165,0 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется для всех рассчитываемых элементов крепежа.

#### 2.4.2 Расчёт штифта, фиксирующего шток-толкатель актуатора

Расчёт штифта, нагруженного поперечной силой, с установкой его без зазора (штифт 4х20). Такие соединения рассчитывают на срез штифта (рисунок 13).

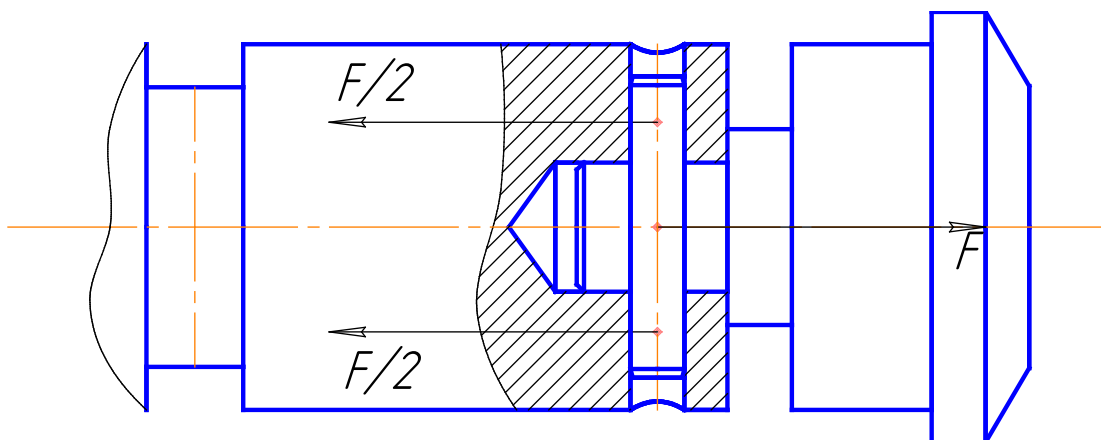


Рисунок 13 – Схема для расчёта штифта

Условие прочности:

$$\tau_{CP} \leq [\tau]_{CP}, \quad (42)$$

где  $\tau_{CP}$  - расчётное напряжение среза штифта, МПа;

$[\tau]_{CP}$  - допустимое напряжение среза штифта, для Ст. 5

$[\tau]_{CP} = 100$  МПа.

Расчётное напряжение среза находится по следующей формуле:

$$\tau_{CP} = \frac{F}{(\pi \cdot d^2 / 4) \cdot i}, \quad (43)$$

где  $F$  – поперечная сила,  $F = 50,0$  Н;

$d$  – диаметр стержня в опасном сечении,  $d = 4,0$  мм =  $0,004$  м;

$i$  – число плоскостей среза,  $i = 2$ .

$$\tau_{CP} = \frac{50,0}{(3,14 \cdot 0,004^2 / 4) \cdot 2} \cdot 10^{-6} = 1,99 \text{ МПа} < 100 \text{ МПа}$$

Условие прочности выполняется для всех рассчитываемых элементов крепежа.

Выводы по разделу. Выполнен тяговый расчет транспортного средства. В результате расчета определены основные характеристики динамики и разгона транспортного средства. Установлена внешняя скоростная характеристика. В соответствии с полученными расчетами произведен дальнейший расчет коробки передач.

Определены расчетами передаточные числа и число передач проектируемой коробки передач.

Результатом выполнения конструкторского раздела явился расчет зубчатых колес и корпуса коробки передач. Расчет был выполнен по методике общего машиностроения без применения отраслевых стандартов расчета

зубчатых передач, применяемых, как правило при расчетах коробок передач и узлов трансмиссии легкового автомобиля. Все полученные в результате расчетов значения использованы в проектировании конструкции коробки передач, учтены габаритные размеры зубчатых колес и осей, толщина стенок корпуса коробки. Правильность выполненных расчетов подтверждается проверочными расчетами крепежных элементов механизма переключения передач. Чертеж коробки передач представлен в графической части дипломного проекта.

### **3 Разработка технологического процесса сборки коробки передач**

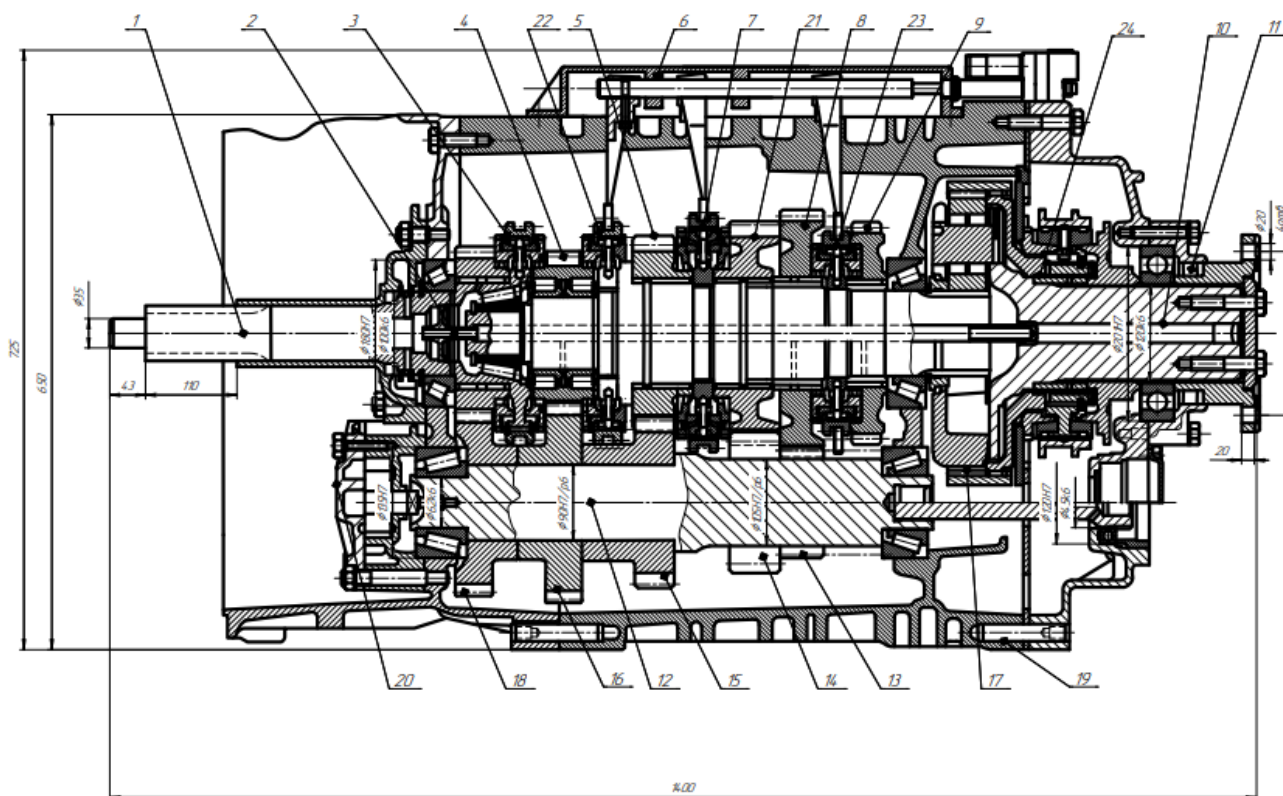
#### **3.1 Анализ конструкции, взятой на технологическую разработку**

В технологическом разделе производится разработка технологического процесса сборки коробки передач, спроектированной в конструкторском разделе дипломного проекта. Необходимо спроектировать последовательность выполнения сборочных работ, обозначить необходимые технические условия на проведение сборочных работ и произвести подбор необходимого технологического оборудования.

Процесс разработки технологического процесса начинается с ознакомлением рабочего чертежа конструкции узла. Это необходимо для формирования понимания того, из каких узлов и деталей состоит конструкция, на какие элементы стоит расчленить изделие и в какой последовательности производить их сборку. Конструкция коробки передач, принятой для окончательной разработки представлена на рисунке 8.

Процесс анализа также необходим для понимания тех схем сборки, которые могут быть применены для разработанной коробки передач. Для редукторных механизмов, к которым относится разрабатываемая коробка передач, характерна особенность сборки, при которой необходимо разместить в корпусе валы и подшипниковые узлы, сохранив при этом геометрию и соосность всех валов. Обычно подобное решение достигается либо созданием разрезного корпуса, состоящего из двух частей, либо рациональной компоновкой механизма, когда сборка производится таким образом, что размещение подшипников не будет мешать компоновке механизма в целом. В этом случае, корпус будет обладать достаточной прочностью и жесткостью, что будет положительно сказываться на эксплуатационных показателях механизма.





1 – вал первичный; 2 – делитель; 3 – синхронизатор делителя; 4 – шестерня IV передачи; 5 – шестерня III передачи; 6 – крышка верхняя; 7 – синхронизатор II и III передач; 8 – шестерня I передачи; 9 – шестерня задней передачи; 10 – вал вторичный; 11 – фланец крепления карданной передачи; 12 – вал промежуточный; 13 – шестерня I передачи промежуточного вала; 14 – шестерня II передачи промежуточного вала; 15 – шестерня III передачи промежуточного вала; 16 – шестерня IV передачи промежуточного вала; 17 – планетарная передача; 18 – шестерня делителя промежуточного вала; 19 – картер коробки передач; 20 – насос масляный; 21 – шестерня II передачи; 22 - синхронизатор IV передачи; 23 - синхронизатор первой и задней передачи; 24 - демультипликатор

Рисунок 8 – Конструкция проектируемой коробки передач

Для анализа структурных компонентов разрабатываемой коробки передач произведем составление структурной схемы механизма, на котором можно будет выявить основные узлы и точки проведения сборки.

В качестве приводных механизмов переключения передач будет применяться актуатор поступательного типа. Переключение при помощи актуатора позволит производить переключение дистанционно, без сложных кинематических цепей.

Разрабатываемая коробка передач также имеет узел электромеханического переключателя, позволяющего производить включение и отключение механизма дистанционно.

Таким образом, при разработке технологического процесса, необходимо произвести разработку технологии сборки 16-ступенчатой коробки передач с планетарной передачей и демультипликатором, которые выступают в роли устройств, расширяющих диапазон переключаемых передач.

### **3.2 Технологический процесс сборки механизма коробки передач**

Разработка технологического процесса сборки 16-ступенчатой коробки передач автомобиля является частью выпускной квалификационной работы, которая выносится на лист графической части в виде технологической схемы.

На проработку технологии сборки берется узел «Коробка передач». В качестве исходных данных при проектировании технологии принимаются:

- сборочные чертежи коробки передач и деталей механизма переключения передач;
- в качестве объёма производства коробки передач принимаем количество 1000 единиц, что объясняется перспективой годового сбыта на рынке России.

«К конструкции предъявляются общие требования технологичности, типичные для большинства узлов транспортных средств.

- изделие должно иметь возможность сборки по узлам;
- все узлы могут присоединяться к базовой детали независимо друг от друга;
- работы по сборке должны иметь возможность механизации;
- все детали должны иметь инструментальную доступность, каждая из деталей по возможности должна иметь возможность без демонтажа сопутствующих, либо их число должно быть минимизировано;
- изделие должно обладать свойством контролепригодности;

- детали и сборочные единицы должны быть унифицированы;
- сборочные работы должны вестись без применения специнструмента и спецоснастки.
- обеспечение расчленения его на отдельные узлы и сборочные единицы, сборка которых может иметь примерно одинаковые по длительности и по возможности однородные по технологическому содержанию этапы;
- обеспечение свободного инструментального доступа к деталям узла.» [16]

В таблицу 10 сведем все сборочные работы, которые необходимо произвести при проведении сборочных операций по коробке передач автогудронатора на базе автомобиля КамАЗ.

Указанные в таблице работы будут использованы при разработки технологической схемы сборки коробки передач.

Сборка будет производиться поэтапно, в корпус коробки передач. Коробка передач будет выполняться разъёмной, соединяемой болтовыми соединениями. В корпус коробки будет помещаться собранный узел. Окончательная сборка будет произведена после размещения всех узлов.

Сборку узлов следует производить на трансмиссионном масле, оно же будет использовано для заправки агрегата после сборки. Сборка пневматического привода не отражается в технологической карте, поскольку подключение системы переключения передач дистанционным управлением производится после проведения всех сборочных операций.

Таблица 10 – Сборочные работы, производимые при сборке коробки передач

№ пер	Наименование операции / перехода	Содержание операций, переходов	Используемое оборудование и инструмент	Время, чел-мин
1. Сборка узлов коробки				
005	Сборка входного вала	1. Запрессовать в шестерню подшипник 2. Установить распорную втулку 3. Запрессовать в шестерню второй подшипник 4. Произвести запрессовку оси 5. Надеть на ось дистанционные шайбы	Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное	10,45
010	Сборка промежуточного вала	1. Запрессовать в шестерню подшипник 2. Установить распорную втулку 3. Запрессовать в шестерню второй подшипник 4. Произвести запрессовку оси	Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное	12,20
015	Сборка выходного вала	1. Запрессовать на ось подшипник 2. Установить стопорное кольцо 3. Запрессовать в шестерню второй подшипник 4. Установить стопорное кольцо	Стенд сборочный Пресс 20т Смазка – масло трансмиссионное	8,55
020	Сборка корпуса	1. Произвести запрессовку штифтов	Стенд сборочный Пресс 20т	6,32
2. Генеральная сборка коробки передач				
025	Сборка балки с элементами крепления	1. Установить входной вал в посадочные места 2. Установить входной вал в посадочные места 3. Установить промежуточный вал в посадочные места 4. Установить втулки промежуточного вала 5. Накрутить поршни привода на промежуточный вал и произвести их затяжку 6. Надеть вторую половину корпуса 7. Закрутить фиксирующие болты 5256- 1/13438/33 ключом на 19 8. Запрессовать манжету 9. Запрессовать установить цилиндры пневматического привода 10. Произвести затяжку болтов крепления цилиндров ключом на 17 11. Произвести установку и затяжку глухой крышки	Ключ на 19 Ключ на 17 Смазка – масло трансмиссионное	18,25

Продолжение таблицы 10

		12. Произвести установку и затяжку сквозной крышки 13. Убедится в отсутствии заеданий при вращении		
030	Присоединение коробки передач	1. Установить прокладку на картер коробки передач 2. Установить КП на картер коробки передач 3. Произвести затяжку болтов 5256-1/13438/33 4. Присоединить разъемы пневматической системы	Ключ на 17 Ключ на 27 Смазка – масло трансмиссионное	15,25

Произведем расчет времени проведения работ по сборке коробки передач.

«Техническое нормирование слесарно-сборочных работ, определение типа производства и формы организации технологического процесса сборки

Нормы времени на переходы операций сборки определяем по приложениям 1-47. Суммируем нормы времени на каждый вспомогательный и технологический переход операции и заносим в таблицу 3.

Общее оперативное время на все виды работ при сборке изделия:» [12]

$$t_{\text{опобщ}} = \Sigma t_{\text{оп}} = 64,70 \text{ мин.} \quad (44)$$

Суммарная трудоемкость сборки:

$$t_{\text{штобщ}} = t_{\text{опобщ}} + t_{\text{опобщ}} (\alpha/100 + \beta/100), \quad (45)$$

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

$\beta$  – часть оперативного времени на перерывы для отдыха, принимаем  $\beta = 5\%$ .

$$t_{\text{штобщ}} = 64,70 + 64,70 \cdot (3/100 + 5/100) = 64,70 + 64,70 \cdot 0,08 = 69,88 \text{ мин.}$$

## Определение типа производства

Определяем тип производства, основываясь на данных о годовом объеме выпуска  $N = 1000$  шт. и  $t_{шт\text{общ}} = 69,88$  мин. – производство мелкосерийное.

«Для мелкосерийного производства такт выпуска определяем по формуле:

$$T_v = F_d \cdot 60 \cdot m / N, \quad (46)$$

где  $F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимаем  $F_d = 2030$  час.;

$m$  – количество рабочих смен в сутки, принимаем  $m = 1$ ;

$N$  – годовой объем выпуска.» [9]

$$T_v = 2030 \cdot 60 \cdot 1 / 1000 = 1218 \text{ мин.}$$

Такт выпуска меньше операционного времени, поэтому для данного объёма выпуска время сборки является приемлемым.

Выводы по разделу. В технологическом разделе был определен состав работ при производстве сборочных операций коробки передач автомобиля КамАЗ. Произведен подбор основного оборудования и использованы аналитические данные для определения трудоемкости каждой отдельной операции. Исходя из отдельной трудоемкости каждой операции определена трудоемкость всего технологического процесса и определен такт производства, исходя их программы выпуска. На основании разработанной технологической карты произведена разработка технологической схемы, которая выносится на лист графической части.

## **4 Охрана труда и безопасность объекта проектирования**

### **4.1 Характеристика объекта проектирования (технологического процесса сборочных работ)**

В разделе безопасности и охраны труда рассматривается технологический процесс проведения сборочных работ. В качестве технологического процесса принимается сборка и монтаж коробки передач, разработанной в рамках дипломного проекта. Работы производятся на сборочной площадке сборочного участка. Сборка ведется на канаве, поскольку для проведения работ необходим доступ к днищу автомобиля. В работе используется специализированный инструмент и приспособления, а также пресловое и подъемное оборудование. Все вышеописанное требует условий по охране труда, поскольку их использование может повлечь риск получения травмы или потерю трудоспособности при нарушении правил и требований к проведению работ.

### **4.2 Идентификация профессиональных рисков**

Идентификация профессиональных рисков проводится в соответствии с нормативными документами и государственными стандартами. Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» можно выделить следующие производственные риски, характерные для рассматриваемого участка.

«Вредные производственные факторы по воздействию на организм работающего человека, на участке можно отметить:

- факторы, приводящие к хроническим заболеваниям, в том числе усугубляющие уже имеющиеся заболевания, за счет длительного относительно низкоинтенсивного воздействия;
- факторы, приводящие к острым заболеваниям (отравлениям,

поражениям) или травмам за счет кратковременного относительно высокоинтенсивного воздействия» [6]

«Опасные производственные факторы по воздействию на организм работающего человека, на участке можно отметить:

- факторы, приводящие к смертельным травмам (летальному исходу, смерти);
- факторы, приводящие к несмертельным травмам.

Опасные и вредные производственные факторы по характеру своего происхождения, на участке можно отметить:

– факторы, порождаемые физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды;

– факторы, порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых или находящихся в рабочей зоне веществ и материалов;

– факторы, порождаемые социально-экономическими и организационно-управленческими условиями осуществления трудовой деятельности (плохая организация работ, низкая культура безопасности и т.п.);

– факторы, порождаемые психическими и физиологическими свойствами и особенностями человеческого организма и личности работающего (плохое самочувствие работника, нахождение работника в состоянии алкогольного, наркотического или токсического опьянения или абсистенции, потеря концентрации внимания работниками и т.п.).» [8]

«Опасные и вредные производственные факторы по характеру их изменения во времени подразделяют, на участке можно отметить:

- на постоянные, в том числе квазипостоянные;
- переменные, в том числе периодические;
- импульсные, в том числе регулярные и случайные.» [6]



«Опасные и вредные производственные факторы по характеру их действия во времени подразделяют:

- на постоянно действующие;
- периодически действующие, в том числе интермиттирующие;
- апериодически действующие, в том числе стохастические.

Опасные и вредные производственные факторы по непосредственности своего воздействия подразделяют:

- на непосредственно воздействующие на организм занятого трудом человека;
- опосредованно воздействующие на организм занятого трудом человека через другие порождаемые ими и непосредственно воздействующие на организм занятого трудом человека факторы.

Опасные и вредные производственные факторы производственной среды по источнику своего происхождения подразделяют:

- на природные (включая климатические и погодные условия на рабочем месте);
- технико-технологические;
- эргономические (то есть связанные с физиологией организма человека).

Опасные и вредные производственные факторы производственной среды по природе их воздействия на организм работающего человека подразделяют:

- на факторы, воздействие которых носит физическую природу;
- факторы, воздействие которых носит химическую природу;
- факторы, воздействие которых носит биологическую природу.»

[17]

«Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами физического воздействия на организм работающего человека, подразделяют на следующие типичные группы:

- опасные и вредные производственные факторы, связанные с силами и энергией механического движения, в том числе в поле тяжести:
- действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего, стоящего на опорной поверхности, на эту же опорную поверхность;
- действие силы тяжести в тех случаях, когда оно может вызвать падение работающего с высоты;
- неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов, воздействующие на работающего при соприкосновении с ним, а также жала насекомых, зубы, когти, шипы и иные части тела живых организмов, используемые ими для защиты или нападения, включая укусы;
- опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей и характеризующиеся повышенным уровнем общей вибрации; повышенным уровнем локальной вибрации;
- опасные и вредные производственные факторы, связанные с акустическими колебаниями в производственной среде и характеризующиеся повышенным уровнем и другими неблагоприятными характеристиками шума; повышенным уровнем инфразвуковых колебаний (инфразвука);
- отсутствие или недостаток необходимого естественного освещения;
- отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;
- повышенная яркость света;
- пониженная световая и цветовая контрастность;
- прямая и отраженная блескость;
- повышенная пульсация светового потока» [6]

«Опасные и вредные производственные факторы, обладающие свойствами психофизиологического воздействия на организм человека, подразделяют:

- на физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;
- нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса.

Физические перегрузки подразделяют:

- на статические, связанные с рабочей позой;
- динамические нагрузки, связанные с массой поднимаемого и перемещаемого вручную груза;
- динамические нагрузки, связанные с повторением стереотипных рабочих движений.

Физические перегрузки организма работающего, связанные с тяжестью трудового процесса, в целях оценки условий труда, разработки и принятия мероприятий по их улучшению характеризуются такими показателями, как:»

[6]

- физическая динамическая нагрузка;
- масса поднимаемого и перемещаемого груза вручную;
- стереотипные рабочие движения;
- статическая нагрузка;
- рабочая поза;
- наклоны корпуса тела работника;
- перемещение в пространстве.

«Нервно-психические перегрузки подразделяют:

- монотонность труда, вызывающая монотонию;
- эмоциональные перегрузки.» [6]

Выявленные профессиональные риски являются характерными для сборочного производства и тех условий труда, в которых производится работа.

Следовательно, указанные риски являются в применении средств и методов охраны труда для нейтрализации негативных последствий.

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

Методы снижения профессиональных рисков в целом направлены на нейтрализацию негативных последствий, вызываемых негативным воздействием.

«Для предотвращения угроз профессиональной безопасности при управлении профессиональными рисками необходимо применять ко всем видам деятельности, связанными с опасностями, средства оперативного контроля. В качестве примеров выбора дополнительных мер управления профессиональными рисками можно рассмотреть:

- модификацию конструкции, позволяющую ликвидировать опасность, например, использование механических подъемных устройств для исключения профессионального риска, связанного с ручными подъемными операциями;
- замену опасного материала на менее опасный или уменьшение энергии системы (например, снижение усилий, силы тока, давления, температуры и т.п.);
- средства коллективной защиты: сигнализации, предупредительные надписи и знаки безопасности, маркировка пешеходных дорожек и т.д.;
- административные меры управления: процедуры обеспечения безопасности, проверки оборудования, контроль доступа, системы обеспечения безопасности работы, инструктажи по охране труда и т.д.;
- обеспечение работника дополнительными средствами индивидуальной защиты: очки защитные, средства защиты органов слуха, щитки защитные лицевые, респираторы, перчатки и т.д.» [8]

«Для обеспечения эффективной работы по идентификации опасностей и оценки профессиональными рисками, а также использования процессов обмена информацией и консультаций, заведующий обеспечивает:

- обмен информацией и консультирование в отношении рисков для безопасных условий труда и здоровья между различными уровнями, а также с работниками сторонних организаций;
- документирование соответствующих обращений внешних заинтересованных сторон, а также ответа на них.» [17]

В частности, снизить негативное воздействие профессиональных рисков или полностью устранить их воздействие можно следующими методами, для простоты восприятия сведенными в таблицу 11.

Таблица 11 – Методы и средства снижения профессиональных рисков

Вид выявленного вредного производственного фактора	Методы и средства снижения или устранения вредного производственного фактора	Используемые СИЗ
1	2	3
Факторы, приводящие к заболеваниям	Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды	Использование спецодежды Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания
Факторы, порождаемые физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды;	Применение средств коллективной защиты (нанесение предупреждающих надписей, информационных табличек, меток и т.д.) Модификация конструкции с целью снижения рисков	Применение низковольтных ламп в сетях освещения Использование спецодежды
Факторы, порождаемые химическими и физико-химическими свойствами используемых или находящихся в рабочей зоне веществ и материалов;	Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды	Использование спецодежды Использование средств защиты органов зрения и органов дыхания

Продолжение таблицы 11

1	2	3
Факторы, порождаемые социально-экономическими и организационно-управленческими условиями осуществления трудовой деятельности	Административные меры обеспечения безопасности труда Разработка рациональных режимов труда и отдыха Материальная компенсация вредных условий труда	Не предусмотрено
Факторы, порождаемые психическими и физиологическими свойствами и особенностями человеческого организма и личности работающего	Административные меры обеспечения безопасности труда Разработка рациональных режимов труда и отдыха Материальная компенсация вредных условий труда Обеспечение смены рода деятельности в течении дня	Не предусмотрено
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с силами и энергией механического движения	Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды	Защитные и вибропоглощающие перчатки, нарукавники. Наколенники и налокотники.
Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования)	Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды Административные меры обеспечения безопасности труда	Защитные перчатки, нарукавники. Наколенники и налокотники. Проведение инструктажа по правилам ТБ на производстве
Опасные и вредные производственные факторы, связанные с механическими колебаниями твердых тел и их поверхностей	Применение средств индивидуальной защиты, изолирующих от негативного воздействия окружающей среды Административные меры обеспечения безопасности труда	Защитные и вибропоглощающие перчатки, нарукавники. Наколенники и налокотники.
Отсутствие или недостаток необходимого освещения	Обеспечение индивидуальных средств освещения рабочего места Разработка и прокладка осветительных сетей	Индивидуальные переносные фонари и осветительные лампы

Продолжение таблицы 11

1	2	3
Физические перегрузки, связанные с тяжестью трудового процесса;	Административные меры обеспечения безопасности труда Механизация работ Внедрение в рабочий процесс машин и механизмов, заменяющих ручной труд	Проведение инструктажа по правилам ТБ на производстве
Нервно-психические перегрузки, связанные с напряженностью трудового процесса	Административные меры обеспечения безопасности труда Разработка рациональных режимов труда и отдыха Материальная компенсация вредных условий труда Обеспечение смены рода деятельности в течении дня	Не предусмотрено

Разработанные мероприятия по снижению негативного воздействия производственных рисков на работающих значительно снижают негативные последствия. Между тем, значительного результата можно достичь исключительно комплексным подходом к вопросу защиты рабочих в условиях сборочного цеха, когда административные и инженерные мероприятия дополняют и усиливают действия друг друга.

#### 4.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Обеспечение пожарной безопасности является важным элементом безопасности всего предприятия. Огонь наиболее опасный фактор при проведении работ, что особенно актуально для предприятия автомобильной промышленности, где используется большое количество легковоспламеняющихся жидкостей и материалов, которые могут послужить негативным фактором возникновения пожара.

Факторы пожарной опасности приведены в таблице 12.

Таблица 12 – Факторы пожарной опасности на участке и их классификация

Класс пожара	Источник пожарной опасности	Опасные факторы пожара	Способ тушения
<p>А – горение твердых веществ</p> <p>А1 – горение твердых материалов, сопровождаемое тлением</p> <p>А2 – горение твердых материалов, не сопровождаемое тлением</p>	<p>горючие твердые вещества, ветошь и обтирочный материал искры от режущего абразивного инструмента, открытое пламя газовых горелок, электрическая дуга и искры сварочного оборудования</p>	<p>Задымление помещения, высокая температура открытого пламени, низкая концентрация кислорода, выброс токсических веществ продуктов горения</p>	<p>Все виды огнетушащих веществ: вода, пена, порошки, хладоны</p>
<p>В – горение жидких веществ</p> <p>В2 – горение неполярных горючих и легковоспламеняющихся жидкостей и плавящихся при нагреве веществ</p>	<p>топливо, мазут, консистентные смазки и технические жидкости</p>	<p>Задымление помещения, высокая температура открытого пламени, низкая концентрация кислорода, выброс токсических веществ продуктов горения, объемное горение, взрыв</p>	<p>пена; тонкораспыленная вода; хладоны; огнетушащие порошки общего назначения; аэрозольное пожаротушение и инертные разбавители: N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, и т.п.</p>
<p>С - горение газообразных горючих веществ</p>	<p>сварочные газы, метан</p>	<p>Высокая температура открытого пламени, низкая концентрация кислорода, выброс токсических веществ продуктов горения, объемное горение, взрыв</p>	<p>объемное тушение и флегматизация газовыми составами; огнетушащие порошки общего назначения; пены, вода (для охлаждения оборудования)</p>



Для обеспечения пожарной безопасности на участке, требуется принятие противопожарных мероприятий, имеющих как организационный, так и инженерный характер. К таковым мероприятиям на участке сборки будут относиться:

- разработка комплекса норм и правил по обращению с горючими веществами и правил поведения персонала при проведении огневых работ и работ, связанных с горючими материалами;
- проведение регулярного инструктажа работников, с целью доведения информации о правилах проведения работ, связанных с горючими материалами и соблюдения норм пожарной безопасности;
- организация внутрипроизводственной пожарной охраны, осуществляющей функции надзора за соблюдением норм и правил по обращению с горючими веществами, а также норм и правил соблюдения противопожарной безопасности;
- организация хранения горючих и пожароопасных материалов в соответствии с их физико-химическими и противопожарными свойствами;
- оснащение участка средствами наблюдения и сигнализации за пожарной ситуацией, проведение инструктажа персонала о поведении в случае срабатывания пожарной сигнализации;
- оснащение участков средствами первичного пожаротушения в соответствии с классом возможного пожара.

#### **4.5 Обеспечение экологической безопасности технического объекта**

Рассматриваемый участок не относится к категории производств, представляющих повышенную антропогенную опасность для окружающей среды. Тем не менее, участок, как и любое производство производит отходы, образующиеся в результате своей деятельности, которые могут выступать в роли загрязнителей, поэтому требуется их определение. К загрязняющим отходам следует отнести следующее:

- отходы сборочного производства кузовов (обрезки листового металла, обрезки древесины, обрезки пластика);
- смыв с рук рабочих смазочных материалов и растворителей;
- металлическая и абразивная пыль, окалина, образующиеся в результате обработки элементов кузова;
- ветошь и обтирочные материалы, остающиеся после протирки деталей и очистки рук работников сборочного участка.

В качестве мероприятий, обеспечивающих требования экологической безопасности, принимаются следующие:

- утилизация отходов в соответствии с классами опасности;
- очистка сточных вод перед сливом их в канализационный коллектор от остатков ГСМ и растворителей;
- «соблюдение требований, предъявляемых к размещению, строительству и эксплуатации потенциально опасных объектов, а также к осуществлению потенциально опасной деятельности» [19]

#### **4.6 Заключение по разделу**

В разделе был произведен анализ деятельности на сборочном участке предприятия, осуществляющем сборку коробки передач грузового автомобиля. Выявлены вредные и опасные производственные факторы, произведена их классификация. В соответствии с выявленными факторами произведена разработка мероприятий по снижению их воздействия на рабочих, либо их полной нейтрализации.

Разработаны мероприятия по снижению пожарной опасности, в соответствии с выявленными классами пожарной опасности.

Разработаны мероприятия по снижению антропогенного воздействия предприятия на окружающую среду.

## **5 Экономический раздел дипломного проекта**

### **5.1 Анализ объекта дипломного проектирования**

В дипломном проекте была произведена разработка коробки передач грузового автомобиля. Узел представляет собой четырехступенчатую коробку передач с планетарной передачей и демультипликатором, подключаемым при помощи электромеханического привода из кабины транспортного средства.

Сама конструкция может быть изготовлена в условиях мелкосерийного производства. В процессе производства применяются операции литейные, токарные, фрезерные, шлифовальные. Работы проводятся в условиях специализированного предприятия. Также в условиях специализированного предприятия производится монтаж разработанного узла.

В экономическом разделе дипломного проекта необходимо произвести расчет себестоимости конструкции. Себестоимость будет являться отражением экономических затрат на производство, понесенных предприятием в процессе изготовления конструкции. Поэтому, расчет себестоимости будет являться главным показателем того, насколько разработанная конструкция будет влиять на стоимость изделия в целом.

### **5.2 Исходные данные для расчета**

Исходные данные для расчета экономических показателей проекта сведем для удобства восприятия в таблицу 13. В таблице отражены основные параметры и значения, используемые при расчете себестоимости производимого узла в условиях мелкосерийного производства.

Таблица 13 – Исходные данные для экономического расчета

Наименование	Обозначение	Значение
Годовая программа, шт	ПР <sub>год</sub>	1000
Штучное время сборки, мин	ВР <sub>шт</sub>	69,88
Часовая ставка заработной платы: 3 разряд	С <sub>час</sub>	160,45
4 разряд		185,25
5 разряд		210,30
6 разряд		250,50
Доплата часового фонда, %	Кд	8
Доплата за профессиональный навык, %	Кпф	12
Доплата за вредные условия труда, %	Квр	12
Премииальный фонд, %	Прем	20
Отчисления в фонд социального страхования, %	ФСС	30
Транспортно-заготовительные расходы, %	К <sub>т-з</sub>	3
Содержание и эксплуатация оборудования, %	К <sub>с-эк</sub>	4
Общие производственные расходы, %	ОПР	25
Расходы на общую хозяйственность, %	ОХД	30
Внепроизводственные расходы, %	ВПР	3

Общие исходные данные будут использованы при выполнении расчетов

### 5.3 Расчет затрат на материалы

Произведем расчет материальных затрат, которые предприятие несет в процессе производства коробки передач. Расчет выполняется исходя из разработанной технологии производства конструкции, а также исходя из информации о конструкторских особенностях. Результаты расчета сведем в таблицу 14.

Таблица 14 – Расчет материальных затрат на производство

Материал	Единицы	Расход	Цена, руб	Сумма, руб.
1	2	3	4	5
Заготовка поковка	кг	8	230,20	1841,60
Чугун литейный	кг	12	180,00	2160,00
Грунтовка	кг	0,1	75,00	7,50
Краска	кг	0,2	120,00	24,00
Круг сортовой Сталь 45, d = 120	кг	6	95,00	570,00
Круг сортовой Сталь 45, d = 60	кг	4	95,00	380,00
Круг сортовой Сталь 45, d = 40	кг	4,25	95,00	403,75
Круг, бронза	кг	2,5	750,50	1876,25
Масло промышленное	кг	0,5	115,00	57,50
Прочие				750,00
ИТОГО				8070,60
Транспортно-заготовительные расходы				242,12
ВСЕГО				8312,72

Рассчитана общая сумма затрат на материалы.

#### 5.4 Расчет затрат на покупные изделия и полуфабрикаты

Произведем расчет затрат на приобретение покупных изделий и полуфабрикатов, которые предприятие несет в процессе производства коробки передач. Расчет выполняется исходя из информации о конструкторских особенностях. Результаты расчета сведем в таблицу 15.

Таблица 15 – Затраты на покупные изделия и полуфабрикаты

Покупные изделия и полуфабрикаты	Количество	Цена, руб.	Сумма, руб.
1	2	3	4
Болты М10	8	25,00	200,00
Болты М8	8	14,00	112,00
Винты М8	10	10,00	100,00
Подшипник 305 ГОСТ 5720-75	2	350,00	700,00
Подшипник 302 ГОСТ 5720-76	4	275,00	1100,00

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4
Шайбы	26	0,50	13,00
Прочие			350,00
ИТОГО			2575,00
Транспортно-заготовительные расходы			77,25
ВСЕГО			2652,25

Рассчитана общая сумма затрат на покупные изделия и полуфабрикаты, затрачиваемые на производство конструкции.

### 5.5 Расчет затрат на заработную плату

Произведем расчет затрат заработную плату и сопутствующие издержки, таких как цеховые и производственные расходы, которые предприятие несет в процессе производства коробки передач. Расчет выполняется исходя из информации о технологии производства изделия. Результаты расчета сведем в таблицу 16.

Таблица 16 – Расчет затрат на заработную плату

Операция	Разряд	Трудоемкость, ч/час	Тарифная ставка	Заработная плата
Литейная	5	8,0	210,30	1682,40
Сварочная	5	12,0	210,30	2523,60
Токарная	6	8,0	250,50	2004,00
Фрезерная	6	8,0	250,50	2004,00
Шлифовальная	6	4,0	250,50	1002,00
Долбежная	5	10,0	210,30	2103,00
Термическая	5	2,5	210,30	525,75
Сверлильная	4	0,5	185,25	92,63
Слесарная	4	0,5	185,25	92,63
Сборочная	4	1,1	185,25	203,78
Окрасочная	3	1,0	160,45	160,45
Испытательная	5	1,5	210,30	315,45
ИТОГО				12709,68
Премияльные доплаты				3050,32
Основная заработная плата				15760,00

Рассчитана общая сумма затрат на основную заработную плату, затрачиваемые на производство единицу конструкции. Дальнейшие затраты рассчитываются исходя из суммы основной заработной платы.

Затраты по дополнительной заработной плате рассчитываются по формуле:

$$\text{ДОП}_{\text{зп}} = \text{Зосн} \cdot \text{Кд}, \quad (47)$$

где Кд – доплата часового фонда, Кд = 8%

$$\text{ДОП}_{\text{зп}} = 15\,760 \cdot 0,08 = 1\,260,00 \text{ руб}$$

Засчитаем затраты на отчисления в фонд социального страхования:

$$\text{СОЦ} = (\text{Зо} + \text{ДОП}_{\text{зп}}) \cdot \text{ФСС} \quad (48)$$

где ФСС – Отчисления в фонд социального страхования, ФСС = 30%

$$\text{СОЦ} = (15\,760,00 + 1\,260,00) \cdot 0,30 = 5\,106,24 \text{ руб}$$

Произведем расчет общепроизводственных расходов:

$$\text{Робщ} = \text{Зо} \cdot \text{ОПР} \quad (49)$$

где ОПР – общие производственные расходы, ОПР = 25%

$$\text{Робщ} = 15\,760,00 \cdot 0,25 = 3\,940,00 \text{ руб}$$

Произведем расчет общехозяйственных расходов:

$$\text{Рохр} = \text{Зо} \cdot \text{ОХД} \quad (50)$$

где ОХД – коэффициент общехозяйственных расходов, ОХД = 30%

$$\text{Рохр} = 15\,760,00 \cdot 0,3 = 4\,728,00 \text{ руб}$$

Расчет себестоимости коробки передач представим в таблице 17.

Таблица 17 – Себестоимость разработанной коробки передач

Статьи затрат	Значение	
	Сумма	%
Сырье и материалы	8312,72	13,9%
Покупные изделия и полуфабрикаты	2652,25	4,4%
Зарплата основная	15760,00	26,3%
Зарплата дополнительная	1260,80	2,1%
Отчисления на соцстрах	5106,24	8,5%
Расходы на содержание оборудования	16390,40	27,4%
Общепроизводственные расходы	3940,00	6,6%
Общехозяйственные расходы	4728,00	7,9%
Производственная себестоимость	58150,40	97,1%
Внепроизводственные расходы	1744,51	2,9%
Полная себестоимость	59894,91	100,0%

Полная себестоимость аналогичной по конструкции коробки передач составляет 75 000 – 120 000 рублей, согласно данным торговых площадок, специализирующихся на автомобильных компонентах.

В экономическом разделе был произведен расчет себестоимости изготовления конструкции. Определены расходы по основным статьям затрат. Определены наиболее расходные статьи затрат на производство конструкции. На основании произведенного расчета можно сделать вывод, что разработанная конструкция находится в рыночном ценовом сегменте, а разработанная коробка передач будет являться конкурентной по цене.



## Заключение

Разработка коробки передач для грузового автомобиля является темой выпускной квалификационной работы – дипломного проекта.

Данное транспортное средство может эксплуатироваться в различных дорожных условиях, благодаря большому диапазону передач коробки. Подобный тип агрегата может найти свое применение прежде всего в технике, эксплуатирующейся в качестве самосвальной и бортовой грузовой, поскольку передачи позволят перемещаться как по дорогам общего пользования, так и вне подобных дорог.

Разрабатываемая коробка передач предназначена для эксплуатации при температурах окружающей среды от плюс 50°С до плюс 40°С.

В процессе выполнения дипломного проекта была выполнена разработка четырехступенчатой, трехвальной коробки передач (КП), с планетарной передачей и демультипликатором. В качестве привода включения КОМ применен электромеханический привод, что позволяет производить дистанционное включение из кабины автомобиля.

Выполнен тяговый расчет транспортного средства. В результате расчета определены основные характеристики динамики и разгона транспортного средства. Установлена внешняя скоростная характеристика. В соответствии с полученными расчетами произведен дальнейший расчет коробки передач.

Определены расчетами передаточные числа и число передач проектируемой коробки передач.

Результатом выполнения конструкторского раздела явился расчет зубчатых колес и корпуса коробки передач. Расчет был выполнен по методике общего машиностроения без применения отраслевых стандартов расчета зубчатых передач, применяемых, как правило при расчетах коробок передач и узлов трансмиссии легкового автомобиля. Все полученные в результате расчетов значения использованы в проектировании конструкции коробки передач, учтены габаритные размеры зубчатых колес и осей, толщина стенок

корпуса коробки. Правильность выполненных расчетов подтверждается проверочными расчетами крепежных элементов механизма переключения передач. Чертеж коробки передач представлен в графической части дипломного проекта.

В разделе охраны труда и безопасности был произведен анализ деятельности на сборочном участке предприятия, осуществляющем сборку коробки передач грузового автомобиля. Выявлены вредные и опасные производственные факторы, произведена их классификация. В соответствии с выявленными факторами произведена разработка мероприятий по снижению их воздействия на рабочих, либо их полной нейтрализации. Разработаны мероприятия по снижению пожарной опасности, в соответствии с выявленными классами пожарной опасности. Разработаны мероприятия по снижению антропогенного воздействия предприятия на окружающую среду.

В экономическом разделе был произведен расчет себестоимости изготовления конструкции коробки передач. Определены расходы по основным статьям затрат. Определены наиболее расходные статьи затрат на производство конструкции. На основании произведенного расчета можно сделать вывод, что разработанная конструкция находится в рыночном ценовом сегменте, а разработанная коробка передач будет являться конкурентной по цене.

На основании всей выполненной работы, можно сказать, что поставленные задачи в рамках дипломного проектирования выполнены.

## Список используемых источников

1. Богатырев, А. В. Автомобили : учебник / А.В. Богатырев, Ю.К. Есеновский-Лашков, М.Л. Насоновский ; под ред. проф. А.В. Богатырева. – 3-е изд., стереотип. – Москва : ИНФРА-М, 2019. – 655 с. – (Высшее образование: Бакалавриат). – [www.dx.doi.org/10.12737/2530](http://www.dx.doi.org/10.12737/2530). - ISBN 978-5-16-101092-1.
2. Березина, Е. В. Автомобили: конструкция, теория и расчет: Учебное пособие / Е.В. Березина. - М.: Альфа-М: НИЦ Инфра-М, 2012. - 320 с.: ил.; . - (ПРОФИЛЬ). ISBN 978-5-98281-309-1. - Текст : электронный.
3. Вахламов, В. К. Автомобили: Основы конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений/ В.К. Вахламов – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.
4. Ведущие мосты тракторов и автомобилей: Учебное пособие / Кобозев А.К., Швецов И.И., Койчев В.С. - Москва :СтГАУ - "Агрус", 2016. - 64 с.
5. Высочкина, Л. И. Автомобили: конструкция, расчет и потребительские свойства [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие по курсовому проектированию / сост. Л.И. Высочкина, М.В. Данилов, В.Х. Малиев и др. - Ставрополь, 2013. - 68 с.
6. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» по технологической операции, видам работ, оборудованию, производственному цеху, участку»
7. Карташевич А.Н. «Тракторы и автомобили. Конструкция» / А.Н. Карташевич, А.В. Понталев, А.В. Гордеенко // учебное пособие, Изд-во Инфра-М, 2013 – 313 с.
8. Корниенко, Евгений. Информационный сайт по безопасности жизнедеятельности [Электронный ресурс] / Е. Корниенко. – Электрон. текстовые дан. – Москва: [б.и.], 2018. – Режим доступа [http://www.kornienko-ev.ru/teoria\\_auto/page233/page276/index.html](http://www.kornienko-ev.ru/teoria_auto/page233/page276/index.html), свободный

9. Лукаш, Ю. А. Экономические расчеты в бизнесе [Электронный ресурс] : большое практ. справ. пособие / Ю. А. Лукаш. - Москва : Флинта, 2012. - 210 с. - ISBN 978-5-9765-1369-3.

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

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

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

13. Сергеев, В.А. Проверочный расчет зубчатых передач трансмиссии автомобилей / В.А. Сергеев. – Минск : БНТУ, 2016. – 61 с.

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

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

16. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей: учебник / В. М. Власов [и др.] ; под ред. В. М. Власова. - Гриф МО. - Москва : Academia, 2003. - 477 с. : ил. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 473. - Прил.: с. 421-472. - ISBN 5-7595-1150-8 : 191-82.

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

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

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

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

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

22. Everyday English For Technical Students (Mechanical engineering, metallurgy and transport department) [Электронный ресурс]/ – Электрон. текстовые данные.– Самара: Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019.– 350 с.