

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 Карьерный самосвал грузоподъемностью 60 тонн.

Модернизация заднего моста

Обучающийся

Д.С. Гнедко

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.В. Зотов

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

Консультанты

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

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

канд. техн. наук, доцент А.Н. Москалюк

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

канд. экон. наук, доцент Л.Л. Чумаков

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

Тольятти 2025

Аннотация

Дипломный проект на тему: «Карьерный самосвал грузоподъемностью 60 тонн. Модернизация заднего моста».

Цель работы: повышение надежности, долговечности и эксплуатационной эффективности заднего моста карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн за счет модернизации его конструкции.

Задачи работы:

- провести анализ существующих конструкций задних мостов карьерных самосвалов;
- выявить основные причины выхода из строя и слабые места конструкции;
- разработать предложения по модернизации заднего моста;
- провести расчеты на прочность, жесткость и долговечность модернизированного узла;
- оценить экономическую эффективность предлагаемых изменений.

Объект работы: задний мост карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн.

Методы исследования: анализ научной и технической литературы, компьютерное моделирование, инженерные расчеты, сравнительный анализ.

Основные результаты: разработана модернизированная конструкция заднего моста, обеспечивающая повышение надежности и долговечности узла, снижение эксплуатационных затрат и увеличение межремонтного интервала. Предложенное решение может быть внедрено на предприятиях горнодобывающей промышленности.

Структура работы включает введение, шесть разделов основного содержания, заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложение.

В первом разделе рассмотрены основные элементы конструкции карьерных самосвалов. Описана конструкция ведущего моста самосвала

БелАЗ-7555: гипоидная главная передача, планетарные колесные редукторы, блокируемый дифференциал и разгруженные полуоси. Подчеркнуты преимущества схемы – высокая надежность и устойчивость к нагрузкам.

Во втором разделе проведен анализ динамических характеристик карьерного самосвала БелАЗ-7555, представлены расчёты, определяющие тяговые возможности и динамику транспортного средства при различных режимах движения.

В третьем разделе проведен анализ конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555. В нём представлены кинематический и прочностной расчёты зубчатого зацепления планетарного редуктора, выполнен сравнительный прочностной анализ редукторов с трёхсателлитной схемой и с четырёхсателлитной компоновкой. Все расчёты выполнены с учётом эксплуатационных нагрузок, характерных для карьерной техники.

Четвертый раздел посвящен разработке технологического процесса сборки, представлен выбор оптимального метода, детальная схема выполнения операций.

В пятом разделе проведен комплексный анализ безопасности и экологичности проекта, оценены потенциальные риски для персонала и окружающей среды, разработаны инженерные и организационные меры по их минимизации, предложены решения, обеспечивающие соответствие проекта действующим нормам охраны труда и экологическим стандартам.

В шестом разделе проведена оценка финансовой целесообразности проекта, проведён расчёт ключевых показателей, подтверждающих его рентабельность и окупаемость.

Пояснительная записка на 115 страницах, объем графической части составляет 10 листов формата А1.

Abstract

The title of the graduation work is: «The 60-ton mining dump truck. Rear axle modernization».

The aim of the project is to improve the reliability and performance characteristics of a 60-ton mining dump truck through modernization of its rear axle design, while maintaining the required load-bearing capacity and operational durability under extreme mining conditions.

In the first part of the graduation project, an analytical review of existing 60-ton mining dump truck designs is presented, with special attention given to the rear axle construction of the BelAZ-7555 dump truck as a baseline for modernization.

In the second part, traction and dynamic calculations of the vehicle are performed to determine the operational loads and performance parameters that inform the modernization requirements.

The third section presents the engineering development of the modernized rear axle, including design solutions and structural calculations aimed at improving durability and maintenance characteristics.

The fourth section covers the technological aspects of the modernization, including justification of the selected manufacturing process and development of an optimized assembly technology for the upgraded rear axle.

The special part of the graduation work gives details about the safety and environmental friendliness of the project.

Finally, we calculate the economic efficiency of the project.

This research contributes to the advancement of heavy mining equipment technology, offering practical solutions to enhance the operational reliability and service life of critical components in extreme operating conditions.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	8
1.1 Обзор конструкций карьерных самосвалов грузоподъемностью 60 тонн	8
1.2 Обзор конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555	16
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	23
3 Конструкторский раздел.....	39
4 Технологический раздел.....	62
4.1 Обоснование выбора технологического процесса.....	63
4.2 Проектирование технологического процесса сборки модернизированного заднего моста карьерного самосвала.....	70
5 Безопасность и экологичность проекта	76
5.1 Структурно-функциональный анализ	78
5.2 Идентификация профессиональных рисков	79
5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков.....	82
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	89
5.5 Обеспечение экологической безопасности.....	93
6 Экономическая эффективность проекта.....	97
Заключение	105
Список используемой литературы и используемых источников.....	106
Приложение А. Спецификация.....	111

Введение

Карьерные самосвалы являются неотъемлемой частью технологического процесса на горнодобывающих предприятиях. Их основная задача – транспортировка больших объемов горной массы, что требует высокой грузоподъемности, надежности и эффективности.

Одним из ключевых узлов карьерного самосвала является задний мост, который обеспечивает передачу крутящего момента от двигателя к колесам и воспринимает значительные нагрузки от массы груза и дорожного покрытия. Однако, несмотря на постоянное совершенствование конструкций, задний мост остается одним из наиболее уязвимых элементов, подверженных интенсивному износу и поломкам.

Современные карьерные самосвалы грузоподъемностью 60 тонн эксплуатируются в тяжелых условиях: на неровных поверхностях, при высоких нагрузках, в условиях повышенной запыленности и перепадов температур. Эти факторы приводят к ускоренному износу деталей заднего моста, таких как шестерни главной передачи, подшипники, полуоси и корпусные элементы. Частые поломки и необходимость регулярного технического обслуживания увеличивают простои техники и затраты на ремонт, что негативно сказывается на экономической эффективности работы предприятий.

Актуальность темы дипломного проекта обусловлена необходимостью повышения надежности и эффективности заднего моста карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн. Современные условия эксплуатации, такие как увеличение объемов перевозок, работа в сложных климатических условиях и на неровных поверхностях, приводят к ускоренному износу элементов заднего моста, что влечет за собой частые простои техники и высокие затраты на ремонт и обслуживание. Модернизация заднего моста позволит снизить эксплуатационные расходы, увеличить срок службы узла и повысить общую производительность карьерного самосвала.

Целью работы является разработка и обоснование конструктивных решений по модернизации заднего моста карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн для повышения его надежности, долговечности и эффективности.

Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

- провести анализ существующих конструкций карьерных самосвалов;
- выявить основные причины выхода из строя и слабые места конструкции;
- разработать предложения по модернизации заднего моста;
- провести расчеты на прочность, жесткость и долговечность модернизированного узла;
- оценить экономическую эффективность предлагаемых изменений.

Объектом исследования является задний мост карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн. В работе используются методы анализа научной и технической литературы, компьютерного моделирования, инженерных расчетов и сравнительного анализа.

Практическая значимость работы заключается в разработке конструктивных решений, которые могут быть внедрены на предприятиях горнодобывающей промышленности для повышения надежности и снижения эксплуатационных затрат на обслуживание карьерных самосвалов. Результаты работы могут быть использованы для дальнейших исследований и разработок в области модернизации тяжелой карьерной техники.

1 Состояние вопроса

1.1 Обзор конструкций карьерных самосвалов грузоподъемностью 60 тонн

Карьерные самосвалы грузоподъемностью 60 тонн занимают важное место в линейке тяжелой техники, используемой в горнодобывающей промышленности. Они сочетают в себе достаточную грузоподъемность для эффективной транспортировки больших объемов горной массы и относительно компактные размеры, что делает их универсальными для работы в различных условиях.

Рассмотрим основные модели карьерных самосвалов этого класса, представленные на рынке ведущими производителями.

Карьерный самосвал БелАЗ-7555 – один из наиболее известных карьерных самосвалов грузоподъемностью 60 тонн. Эта модель широко используется в России и странах СНГ благодаря своей надежности и адаптации к сложным климатическим условиям.

БелАЗ-7555 представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Карьерный самосвал БелАЗ-7555

«Технические характеристики:

- грузоподъемность: 55-60 тонн;
- двигатель: дизельный, мощностью 700-757 л.с;
- крутящий момент: 2744 / 1400 Н·м (об/мин);
- удельный расход топлива при номинальной мощности: 216 г/ кВт·ч;
- задний мост: механический, с одноступенчатой главной передачей, коническим дифференциалом и планетарными колесными передачами;
- максимальная скорость: 55 км/ч.

Особенности:

- прочная конструкция рамы и кузова, рассчитанная на эксплуатацию в тяжелых условиях;
- гидромеханическая трансмиссия с автоматическим переключением передач;
- высокая ремонтпригодность и доступность запасных частей» [11].

Недостатки:

- высокий расход топлива;
- ограниченная эффективность системы охлаждения при высоких температурах.

Caterpillar 775 (рисунок 2) – популярная модель среди карьерных самосвалов среднего класса. Она известна своей надежностью и производительностью.

Технические характеристики:

- грузоподъемность: 64,6 тонн;
- двигатель: дизельный, мощностью 825 л.с;
- крутящий момент: 3896 / 1300 Н·м (об/мин);
- удельный расход топлива при номинальной мощности: 228 г/ кВт·ч;
- задний мост: механический, с одноступенчатой главной передачей, коническим дифференциалом и планетарными передачами;
- максимальная скорость: 67,6 км/ч.



Рисунок 2 – Карьерный самосвал Caterpillar 775

Особенности:

- электронная система управления, обеспечивающая оптимальную производительность;
- улучшенная система подвески, снижающая вибрации и нагрузки на раму;
- высокий уровень комфорта для оператора.

Недостатки:

- высокая стоимость техники и обслуживания;
- требовательность к качеству топлива и смазочных материалов.

Komatsu HD605 (рисунок 3) – современный карьерный самосвал, разработанный для работы в условиях интенсивной эксплуатации.

Технические характеристики:

- грузоподъемность: 69,4 тонн;
- двигатель: дизельный, мощностью 775 л.с;
- крутящий момент: 3644 / 1300 Н·м (об/мин);
- удельный расход топлива при номинальной мощности: 210 г/ кВт·ч;

- задний мост: механический, с одноступенчатой главной передачей, коническим дифференциалом и планетарными колесными передачами;
- максимальная скорость: 69,9 км/ч.



Рисунок 3 – Карьерный самосвал Komatsu HD605

Особенности:

- высокая топливная эффективность благодаря системе оптимизации расхода топлива;
- улучшенная система охлаждения, обеспечивающая стабильную работу в жарком климате;
- прочная конструкция кузова с защитой от перегрузок.

Недостатки:

- высокая стоимость техники;
- сложность ремонта из-за использования высокотехнологичных компонентов.

Terex TR60 (США) (рисунок 4) – карьерный самосвал, который зарекомендовал себя как надежная и простая в обслуживании машина.



Рисунок 4 – Карьерный самосвал Terex TR60

«Технические характеристики:

- грузоподъемность: 54,4 тонн;
- двигатель: дизельный, мощностью 567 л.с;
- крутящий момент: 3084.4 / 1200 Н·м (об/мин);
- удельный расход топлива при номинальной мощности: 201 г/ кВт·ч;
- задний мост: механический, с одноступенчатой главной передачей, коническим дифференциалом и планетарными колесными передачами;
- максимальная скорость: 57 км/ч» [11].

Особенности:

- простая и надежная механическая трансмиссия;
- усиленная конструкция рамы и кузова;
- низкие эксплуатационные затраты.

Недостатки:

- отсутствие современных систем автоматизации;
- ограниченная эффективность в условиях экстремальных нагрузок.

Hitachi EH1100-5 (Япония) (рисунок 5) – современный карьерный самосвал, разработанный для работы в тяжелых условиях.



Рисунок 5 – Карьерный самосвал Hitachi EH1100-5

Технические характеристики:

- грузоподъемность: 64,8 тонн;
- двигатель: дизельный, мощностью 760 л.с;
- крутящий момент: 3091 / 1300 Н·м (об/мин);
- удельный расход топлива при номинальной мощности: 214 г/ кВт·ч;
- задний мост: механический, с одноступенчатой главной передачей, коническим дифференциалом и планетарными колесными передачами;
- максимальная скорость: 58,2 км/ч.

Особенности:

- высокая надежность и долговечность конструкции;
- улучшенная система подвески, обеспечивающая плавность хода;
- электронная система контроля и диагностики.

К недостаткам можно отнести высокую стоимость техники и требовательность к качеству обслуживания.

XCMG XDR70 (рисунок 6) – китайский карьерный самосвал, который активно завоевывает рынок благодаря своей доступной цене и хорошим эксплуатационным характеристикам.



Рисунок 6 – Карьерный самосвал XCMG XDR70

Технические характеристики:

- грузоподъемность: 65 тонн;
- двигатель: дизельный, мощностью 771 л.с;
- крутящий момент: 3084 / 1200 Н·м (об/мин);
- удельный расход топлива при номинальной мощности: 220 г/ кВт·ч;
- задний мост: механический, с одноступенчатой главной передачей, коническим дифференциалом и планетарными колесными передачами;
- максимальная скорость: 58 км/ч.

Особенности:

- низкая стоимость по сравнению с аналогами;
- простая конструкция, облегчающая ремонт и обслуживание;
- адаптация к работе в сложных климатических условиях.

Недостатки:

- меньший ресурс работы по сравнению с западными аналогами;
- ограниченная доступность запасных частей в некоторых регионах.

Выполним сравнение характеристик рассмотренных карьерных самосвалов и составим сравнительную таблицу (таблица 1).

Таблица 1 – Сравнение характеристик карьерных самосвалов

Модель карьерного самосвала	Техническая характеристика				
	Грузоподъемность, т	Мощность двигателя л.с	Крутящий момент, Н·м	Удельный расход топлива, г/кВт·ч	Максимальная скорость, км/ч
БелАЗ-7555	60	757	1400	216	55
Caterpillar 775	64,6	825	1300	228	67,6
Komatsu HD605	69,4	775	1300	210	69,9
Terex TR60	54,4	567	120	201	57
Hitachi EH1100-5	64,8	760	1300	214	58,2
XCMG XDR70	65	771	1200	220	58

Все рассмотренные модели карьерных самосвалов грузоподъемностью 60 тонн имеют свои преимущества и недостатки. Западные производители (Caterpillar, Komatsu, Hitachi) предлагают высокотехнологичные решения с улучшенными системами управления и комфортом, но их техника отличается высокой стоимостью и требовательностью к обслуживанию. Белорусский БелАЗ и китайский XCMG представляют более доступные варианты, которые, однако, могут уступать в долговечности и ресурсе работы.

Общим для всех моделей является необходимость повышения надежности заднего моста, который подвергается значительным нагрузкам и часто становится причиной простоев техники. Это делает актуальной задачу модернизации данного узла для повышения эффективности эксплуатации карьерных самосвалов.

В последние годы ведущие производители карьерной техники, такие как Caterpillar, Komatsu, БелАЗ и Liebherr, активно работают над улучшением конструкций задних мостов. Внедряются новые материалы с повышенной износостойкостью, совершенствуются системы охлаждения и смазки, а также применяются современные технологии производства, такие как лазерная обработка и напыление защитных покрытий. Однако даже эти решения не всегда полностью устраняют проблемы, связанные с эксплуатацией задних мостов в экстремальных условиях.

В связи с этим актуальной задачей является разработка новых подходов к модернизации заднего моста карьерного самосвала, которые позволят повысить его надежность, увеличить срок службы и снизить затраты на обслуживание.

В рамках данного проекта предлагается рассмотреть возможность усиления конструкции заднего моста, улучшения теплоотвода и снижения нагрузок на ключевые элементы, что позволит повысить эффективность работы карьерного самосвала в целом.

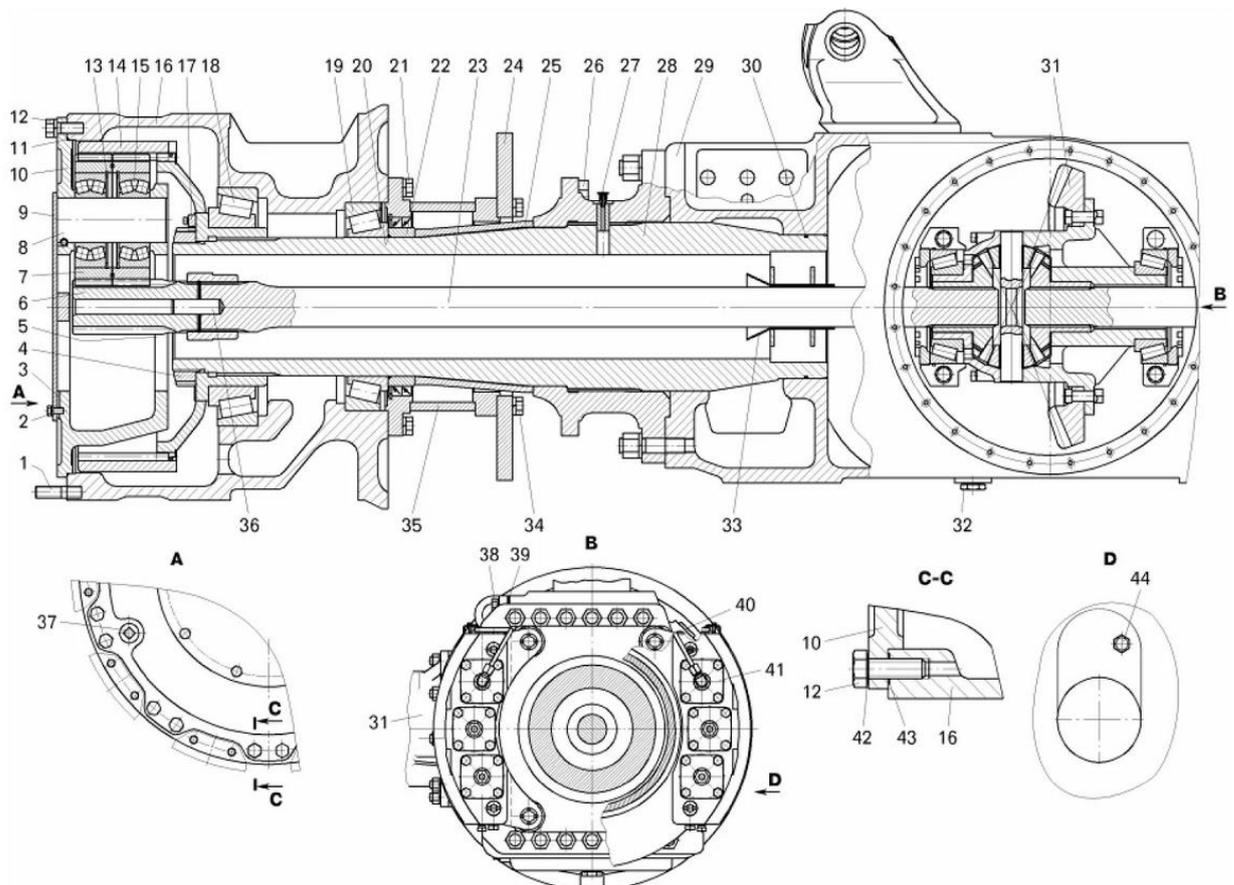
Таким образом, состояние вопроса свидетельствует о необходимости дальнейших исследований и разработок в области модернизации заднего моста карьерного самосвала, что делает данную тему актуальной и востребованной в современной горнодобывающей промышленности.

1.2 Обзор конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555

«Ведущий мост самосвалов БелАЗ-7555В, 7555Е – типовой конструкции с двухступенчатой разнесенной главной передачей.

Он состоит из центрального конического редуктора с дифференциалом (далее – главной передачи), двух колесных передач планетарного типа, расположенных в приводе каждого ведущего колеса и картера моста с полуосями» [11].

Ведущий мост самосвалов БелАЗ-7555 представлен на рисунке 7.

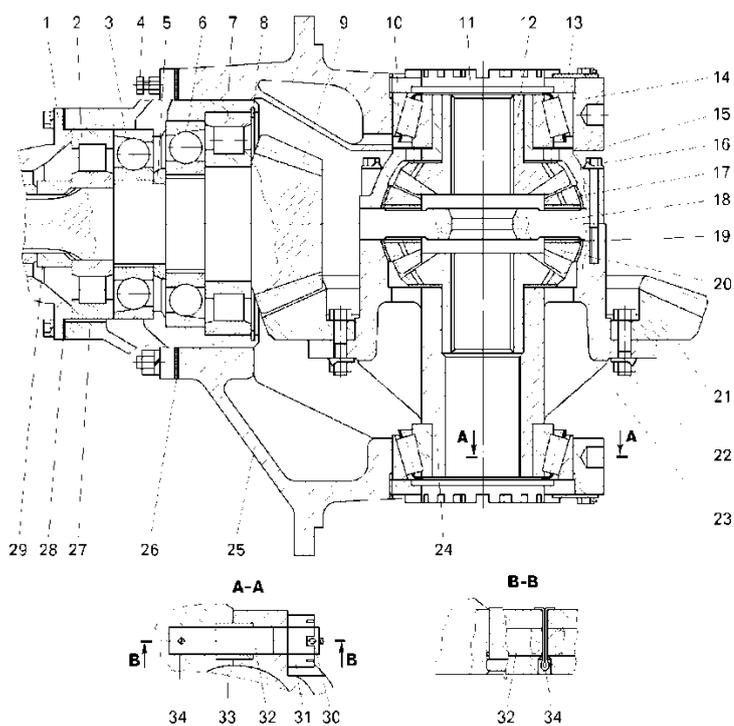


«1 – шпилька; 2, 12, 21, 26, 34, 38 – болты; 3, 39, 42 – прокладки; 4 – гайка подшипников; 5 – соединительная втулка; 6 – ведущая шестерня колесной передачи; 7 – сателлит; 8 – ось сателлита; 9 – крышка водила с упором; 10 – водило колесной передачи; 11, 20, 30, 43 – уплотнительные кольца; 13 – стопорное кольцо; 14 – шестерня коронная с кожухом; 15 – сферический роликовый подшипник; 16 – ступица заднего колеса; 17 – стопор гайки; 18, 19 – конические роликовые подшипники; 22 – кольцо распорное; 23 – полуось ведущего моста; 24 – диск тормозного механизма; 25 – втулка дистанционная; 27 – клапан; 28 – кожух полуоси; 29 – картер ведущего моста; 31 – главная передача с дифференциалом; 32 – пробка сливного отверстия картера моста; 33 – направляющий конус полуоси; 35 – фланец; 36 – центрирующий палец; 37 – пробка маслналивного (контрольного) отверстия колесной передачи; 40 – пробка маслналивного отверстия картера ведущего моста; 41 – корпус тормозного механизма; 44 – пробка контрольного отверстия уровня» [1]

Рисунок 7 – Ведущий задний мост

«Главная передача одноступенчатая, состоит из пары конических шестерен с круговыми зубьями и межколесного конического дифференциала. На главной передаче установлен тормозной механизм стояночной тормозной системы» [11].

Главная передача представлена на рисунке 8.



«1 – суппорт стояночного тормоза; 2,7 – радиальные роликовые подшипники; 3,6 – радиально-упорные шариковые подшипники; 4 – монтажный болт; 5 – распорная втулка; 8 – стопорное кольцо; 9 – ведущая коническая шестерня; 10 – конический роликовый подшипник; 11 – регулировочная гайка подшипников; 12 – шестерня полуоси; 13 – стопорная пластина; 14 – крышка подшипников; 15 – левая чашка дифференциала; 16 – болт крепления чашек дифференциала (со стопорной пластиной); 17 – опорная шайба сателлита; 18 – крестовина дифференциала; 19 – втулка сателлита; 20 – сателлит дифференциала; 21 – ведомая коническая шестерня; 22 – болт крепления ведомой конической шестерни к чашке дифференциала (со стопорной пластиной); 23 – опорная шайба шестерни полуоси; 24 – правая чашка дифференциала; 25 – картер главной передачи; 26 – регулировочные прокладки; 27 – картер подшипников ведущей конической шестерни; 28 – прокладка картера подшипников; 29 – распорная втулка; 30, 34 – шпильки; 31 – гайка; 32 – шпилька; 33 – сухарь крышки подшипников» [1]

Рисунок 8 – Главная передача с дифференциалом

«Ведущая коническая шестерня установлена консольно на четырех подшипниках двух радиально-упорных шариковых и двух радиальных роликовых.

Ведущая шестерня главной передачи вращается по часовой стрелке при движении самосвала передним ходом (если смотреть спереди автомобиля).

Регулирование натяга в радиально-упорных шариковых подшипниках ведущей шестерни главной передачи выполняется подбором необходимой толщины распорной втулки путем шлифования ее по торцам» [5].

«Смазка к подшипникам ведущей конической шестерни подводится по каналам, выполненным в картере подшипников ведущей шестерни и картере главной передачи.

При установке картера с ведущей конической шестерней паз и канал в картере подшипников ведущей шестерни должны находиться внизу и совпадать с отверстием в картере главной передачи.

Ведомая коническая шестерня крепится болтами со стопорной пластиной к правой чашке дифференциала.

Для регулирования зазора и взаимного положения шестерен в зацеплении между картером подшипников ведущей конической шестерни и картером главной передачи установлены регулировочные прокладки» [5].

«Комплект регулировочных прокладок содержит две картонные прокладки, покрытые слоем герметика или эмали и устанавливаемые со стороны картера подшипников и картера главной передачи, и металлические прокладки разной толщины, количество которых подбирается по потребности при регулировке.

Дифференциал установлен в картере редуктора на двух конических роликовых подшипниках 10. Осевой зазор в подшипниках и зазор в зацеплении конических шестерен регулируются гайками 11. Стопорение гаек подшипников производится пластинами 13, закрепленными на картере болтами. Подшипники дифференциала крепятся крышками 14 к картеру редуктора. Посадочные поверхности под подшипники обрабатываются после сборки картера с крышками, поэтому замена крышек с другого редуктора недопустима» [4].

«В крышках имеются установочные отверстия, в которые при установке редуктора на картере заднего моста входят штифты. Последние запрессованы в приливах картера. Дифференциал состоит из двух чашек, скрепленных между собой болтами. В коробке, образуемой чашками, в плоскости их разъема установлена крестовина 18, на шипах которой на бронзовых втулках свободно вращаются четыре сателлита 20.

Сателлиты находятся в зацеплении с полуосевыми шестернями 12. Между опорными поверхностями полуосевых шестерен и сателлитов с одной стороны и опорными поверхностями чашек дифференциала с другой – устанавливаются бронзовые шайбы 17 и 23.

Отверстия под крестовину обрабатываются в собранном комплекте чашек, поэтому чашки можно менять только комплектно» [7].

«Колесная передача планетарная, одноступенчатая с прямозубыми цилиндрическими шестернями. Ведущая шестерня 6 жестко связана с полуосью через муфту при помощи шлицевого соединения и находится в зацеплении с тремя сдвоенными сателлитами 7, (сателлит состоит из двух шестерен) каждый из которых установлен на сферическом радиальном роликовом подшипнике 15. От осевого смещения подшипники зафиксированы стопорными кольцами 13. Подшипники устанавливаются на осях 8, закрепленных своими концами в стенках водила» [4].

«Сателлиты находятся в зацеплении с коронной шестерней 14, выполненной с внутренними зубьями. Ступица опорной (коронной) шестерни неподвижно закреплена на кожухе полуоси при помощи шлицевого соединения. Водило 10, крепится болтами 12 к ступице 16 колеса и вращается вместе со ступицей.

Крутящий момент от главной передачи через полуось 23 и соединительную втулку 5 передается на ведущую шестерню колесной передачи и далее на сателлиты, которые перекачиваются по неподвижно закрепленной на кожухе полуоси коронной шестерне и вращают водило, соединенное со ступицей колеса.

Смазка шестерен планетарной передачи осуществляется разбрызгиванием из масляной ванны, расположенной в ступице колеса.

Система смазки ведущего моста объединенная, то есть полости колесной и главной передач сообщаются между собой.

Ступица колеса установлена на конических роликовых подшипниках 18, 19 на кожухе полуоси» [9].

При модернизации заднего ведущего моста оптимальным решением стало обновление планетарного редуктора. Этот элемент играет ключевую роль в передаче крутящего момента от двигателя непосредственно к колесам автомобиля.

Используемый планетарный редуктор представляет собой одноступенчатую конструкцию с фиксированным положением коронной шестерни, обеспечивающей надежную передачу вращения. Выбор именно такого типа механизма обусловлен его эффективностью, компактностью и способностью выдерживать значительные нагрузки, что делает его идеальным выбором для улучшения характеристик транспортного средства.

«По своему принципу планетарный редуктор в данном механизме является простым, состоящим из следующих элементов: солнечной шестерни, коронной шестерни, трёх сателлитов (сдвоенных, состоящих из двух зубчатых колёс)» [13].

Особенность конструкции заключается в том, что сателлиты выполнены не как обычные зубчатые колёса, а представляют собой спаренные элементы, объединённые в единую деталь.

Зубья на каждой половине сателлита расположены зеркально относительно друг друга – такое решение обеспечивает оптимальное сцепление между элементами в процессе функционирования механизма, повышает надёжность и прочность зубчатого зацепления, снижая износ деталей и повышая общую долговечность системы.

«Недостатки серийного образца планетарного редуктора:

- незначительная прочность зубчатого зацепления планетарной передачи;
- относительно невысокие значения коэффициента запаса прочности зубчатого зацепления и зубчатых колёс в частности;
- плохая долговечность зубчатого зацепления, связанная с точностью зубчатых колёс, в частности, трех сателлитов;

- сложности технологии изготовления зубчатых колёс, так как необходимо выполнять технологию по изготовлению зубчатого зацепления сдвоенных сателлитов» [8].

Цель модернизации состоит в создании планетарного редуктора с увеличенным числом сателлитов и изменением технологии их производства. Предлагается изготовить планетарный редуктор с четырьмя сателлитами, каждый из которых выполнен как отдельное зубчатое колесо, в отличие от серийной версии, где использовались спаренные детали. Для реализации данной идеи потребуется обеспечить особую точность при изготовлении зубчатых элементов, что позволит повысить эффективность передачи мощности и увеличить ресурс устройства.

Выводы по разделу.

Проведенный анализ конструкций различных моделей карьерных самосвалов выявил индивидуальные преимущества и ограничения каждой из них. Тем не менее, принимая во внимание такие факторы, как распространенность модели и перспективы её дальнейшей модификации, целесообразно выбрать наиболее подходящий для российских условий самосвал БелАЗ-7555. Учитывая широкое распространение данной техники на отечественных предприятиях горнодобывающей отрасли, дальнейшие расчеты будут основываться именно на технических характеристиках модели БелАЗ-7555.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Согласно поставленной задаче, планируется выполнение тяговых и динамических расчетов модернизированного карьерного самосвала марки БелАЗ-7555. Исходные данные, необходимые для расчёта, будут взяты исключительно из официального руководства по эксплуатации данной модели техники, предоставленного производителем. Это обеспечит достоверность и точность результатов анализа рабочих характеристик обновлённого автомобиля.

«Полная масса автомобиля находится по формуле:

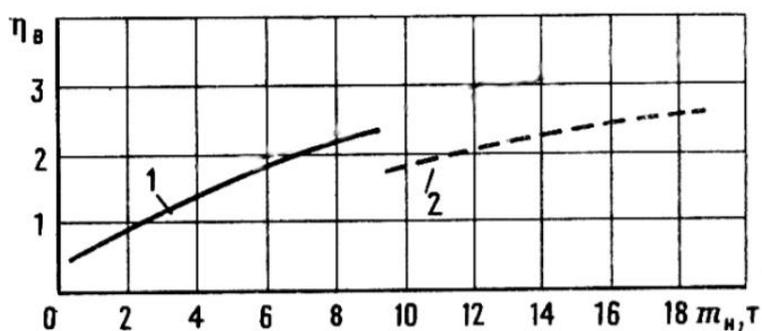
$$m_a = m_0 + m_H, \quad (1)$$

где m_0 – снаряженная масса автомобиля. Определяется по формуле (2);

m_H – номинальная грузоподъемность, согласно, руководству по эксплуатации грузоподъемность составляет 55000 кг.

$$m_0 = \eta_B \cdot m_H. \quad (2)$$

где η_B – показателем снаряженной массы. Принимается в соответствии с графиком зависимости показателя (рисунок 9), однако для самосвалов (двухосного) показатель принимаем равным 0,74.



1 – двухосные автомобили; 2 – трехосные автомобили

Рисунок 9 – График зависимости показателя использования массы от номинальной грузоподъемности» [8].

Подставляем значения в формулу (2) и получаем:

$$m_0 = 0,74 \cdot 55000 = 40500 \text{ кг} .$$

$$m_a = 40500 + 55000 = 95500 \text{ кг} .$$

«Распределение массы по осям проводится с учетом обеспечения равномерного износа шин, недостаточной поворачиваемости и проходимости автомобиля. При проведении расчета ориентируемся на распределение массы автомобиля-прототипа.

Масса, приходящаяся на переднюю ось, определяется по формуле:

$$m_1 = q_1 \cdot m_a , \quad (3)$$

где q_1 – доля полной массы автомобиля, приходящиеся на переднюю ось, принимаем 0,33» [33].

$$m_1 = 0,33 \cdot 95500 = 31500 \text{ кг} .$$

«Масса, приходящаяся на заднюю ось (тележку), кг:

$$m_2 = q_2 \cdot m_a , \quad (4)$$

где q_2 – доля полной массы автомобиля, приходящиеся на заднюю ось, принимаем 0,67» [29].

$$m_2 = 0,67 \cdot 95500 = 64000 \text{ кг} .$$

Подбор шин производим в следующем порядке:

«Определяем статическую нагрузку на переднее колесо по формуле:

$$G_{к1} = \frac{m_1 \cdot g}{n_{п.к.}}, \quad (5)$$

где $n_{п.к.}$ – количество передних колес;

g – ускорение свободного падения, 9,81 м/с²» [33].

$$G_{к1} = \frac{31500 \cdot 9,81}{2} = 154508 \text{ Н}.$$

«Определяем статическую нагрузку на заднее колесо по формуле:

$$G_{к2} = \frac{m_2 \cdot g}{n_{з.к.}}, \quad (6)$$

где $n_{з.к.}$ – количество задних колес» [29].

$$G_{к2} = \frac{64000 \cdot 9,81}{2} = 313920 \text{ Н}.$$

Определяя оптимальную марку шины с учётом максимальной величины статической нагрузки, ориентируемся на нормативные требования, изложенные в государственном стандарте ГОСТ 5513-97. Предварительно останавливаем выбор на шине типоразмера 24.00R35, которая наилучшим образом соответствует заданным условиям эксплуатации и техническим характеристикам транспортного средства.

«Далее необходимо рассчитать коэффициент, характеризующий степень использования допустимой максимальной скорости шины:

$$\lambda = \frac{V_{a_{\max}}}{V_{u_{\max}}}, \quad (7)$$

где $V_{a_{\max}}$ – максимальная скорость автомобиля, для БелАЗ-7555 – 55 км/ч;

$V_{u_{max}}$ – допустимая максимальная скорость движения, для шины, 24.00R35 – 75 км/ч» [29].

$$\lambda = \frac{55}{75} = 0,73.$$

«Зная размер шин, определяем статистический радиус колеса:

$$r_{cm} = 0,5 \cdot d + \lambda_z \cdot H, \quad (8)$$

где d – посадочный диаметр, для диаметра 35 дюйма равен 0,89 м;

λ_z – коэффициент вертикальной деформации, зависящий от типа шин, для шин с регулируемым давлением и арочных значение коэффициента принимается в диапазоне от 0,8 до 0,85;

H – высота профиля шины, для выбранной шины высота профиля составляет 0,76 м» [29].

$$r_{cm} = 0,5 \cdot 0,89 + 0,85 \cdot 0,76 = 1,1 \text{ м}.$$

«На дорогах с твердым покрытием используется равенство:

$$r_{cm} \approx r_D \approx r_K, \quad (9)$$

где r_D – динамический радиус колеса;

r_K – радиус качения колеса» [34].

«Лобовую площадь автомобиля выбираем, ориентируясь на прототип.

Для ориентировочной оценки лобовой площади используем зависимость:

$$F = \alpha \cdot B \cdot H_a, \quad (10)$$

где α – коэффициент заполнения площади, по рекомендации [1] для автобусов и грузовых автомобилей с кузовом в виде фургона или с тентом коэффициент равен 0,9;

B и H_a – наибольшие ширина и высота автомобиля, соответственно, значения этих величин принимаю, основываясь на данных выбранного прототипа БелАЗ-7555, 4,56 м и 4,74 м соответственно» [28].

$$F = 0,9 \cdot 4,56 \cdot 4,74 = 19,45 \text{ м}^2.$$

По выбранному коэффициенту обтекаемости, находим значение коэффициента сопротивления воздуха

«Коэффициент определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{в}} = C_x \cdot \frac{\rho_{\text{в}}}{2}, \quad (11)$$

где C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, для самосвалов коэффициент принимает в диапазоне от 0,8 до 1. Принимаем равным 0,95.

$\rho_{\text{в}}$ – плотность воздуха, при нормальных условиях (при давлении 760 мм.рт. ст.) – 1,293 кг/м³» [8].

$$k_{\text{в}} = 0,95 \cdot \frac{1,293}{2} = 0,61 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}.$$

«Передаточное число главной передачи рассчитывается из условия обеспечения заданной максимальной скорости автомобиля по выражению:

$$u_o = \frac{\omega_{max} \cdot r_k}{u_k \cdot u_{кол.} \cdot V_{max}}, \quad (12)$$

где ω_{max} – скорость вращения коленчатого вала двигателя, соответствующая максимальной скорости автомобиля, для самосвала БелАЗ-7555 скорость вращения равна максимальной, то есть 2100 об/мин или 220 рад/с;

r_k – радиус качения колеса, для колеса 24.00R35 радиус равен 1,1 м;

u_k – передаточное число коробки передач на высшей передаче, для механической коробки передач, используемой в самосвале передаточное число равно 0,76;

$u_{кол.}$ – передаточное число колесной передачи, равна 7,62» [29].

$$u_o = \frac{262 \cdot 0,36}{0,76 \cdot 7,62 \cdot 15,3} = 2,73.$$

«Расчет мощности двигателя, необходимой для движения автомобиля с заданной максимальной скоростью, производим по формуле:

$$N_v = \frac{G_a \cdot \psi_v \cdot V_{a_{max}} + k_v \cdot F \cdot V_{a_{max}}^3}{1000 \cdot \eta_{mp}}, \quad (13)$$

где G_a – полный вес автомобиля, Н. Определяется по формуле (13);

ψ_v – суммарный коэффициент сопротивления дороги на режиме максимальной скорости. По рекомендациям коэффициент принимаем равным значению коэффициента сопротивления качения, для асфальтобетонной дороги в удовлетворительном состоянии коэффициент равен 0,026;

η_{mp} – коэффициент полезного действия трансмиссии, который равен произведению коэффициентов полезного действия ее механизмов. Для грузовых автомобилей коэффициент полезного действия

принимают в диапазоне от 0,86 до 0,91. Принимаем равным 0,86» [34].

$$G_a = m_a \cdot g , \quad (14)$$

$$G_a = 95500 \cdot 9,81 = 936855 \text{ Н} .$$

$$N_v = \frac{936855 \cdot 0,026 \cdot 15,3 + 0,61 \cdot 19,45 \cdot 15,3^3}{1000 \cdot 0,80} = 519 \text{ кВт} .$$

Необходимо отметить, что у дизельных двигателей мощность при максимальной скорости совпадает с максимальной мощностью.

«По полученным данным значений мощности определяем скоростную характеристику двигателя:

$$N_e = N_{\max} \cdot \left[a \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + b \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 - c \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right] , \quad (15)$$

где N_e – текущее значение эффективной мощности двигателя;

ω_e – текущее значение угловой скорости коленчатого вала, рад/с;

ω_N – угловая скорость коленчатого вала двигателя при максимальном значении мощности;

a, b, c – эмпирические коэффициенты, значения которых принимаются в соответствии с типом двигателя (таблица 2)» [29].

Таблица 2 – Значения коэффициентов для расчета внешней скоростной характеристики [29].

Тип двигателя	a	b	c
Бензиновый	1	1	1
Дизельный четырехтактный	0,53	1,56	1,09

Для построения графика эффективного момента применяется формула:

$$M_e = \frac{N_e}{\omega_e} \cdot 10^3. \quad (16)$$

Для удобства результаты расчетов заносим таблицу 3.

Таблица 3– Данные для построения внешней скоростной характеристики

Скорость вращения коленчатого вала, об/мин	700	900	1100	1300	1500	1700	1900	2100
Угловая скорость, рад/с	73,3	94,2	115,2	136,1	157,1	178	199	219,9
Мощность, кВт	160,7	221,9	285,0	346,2	403,4	453,1	492,7	519,0
Крутящий момент, Н м	2192,2	2355,9	2473,5	2544,1	2568,1	2545,4	2475,9	2360,0

Графическое изображение внешней скоростной характеристики представлены на рисунке 10.

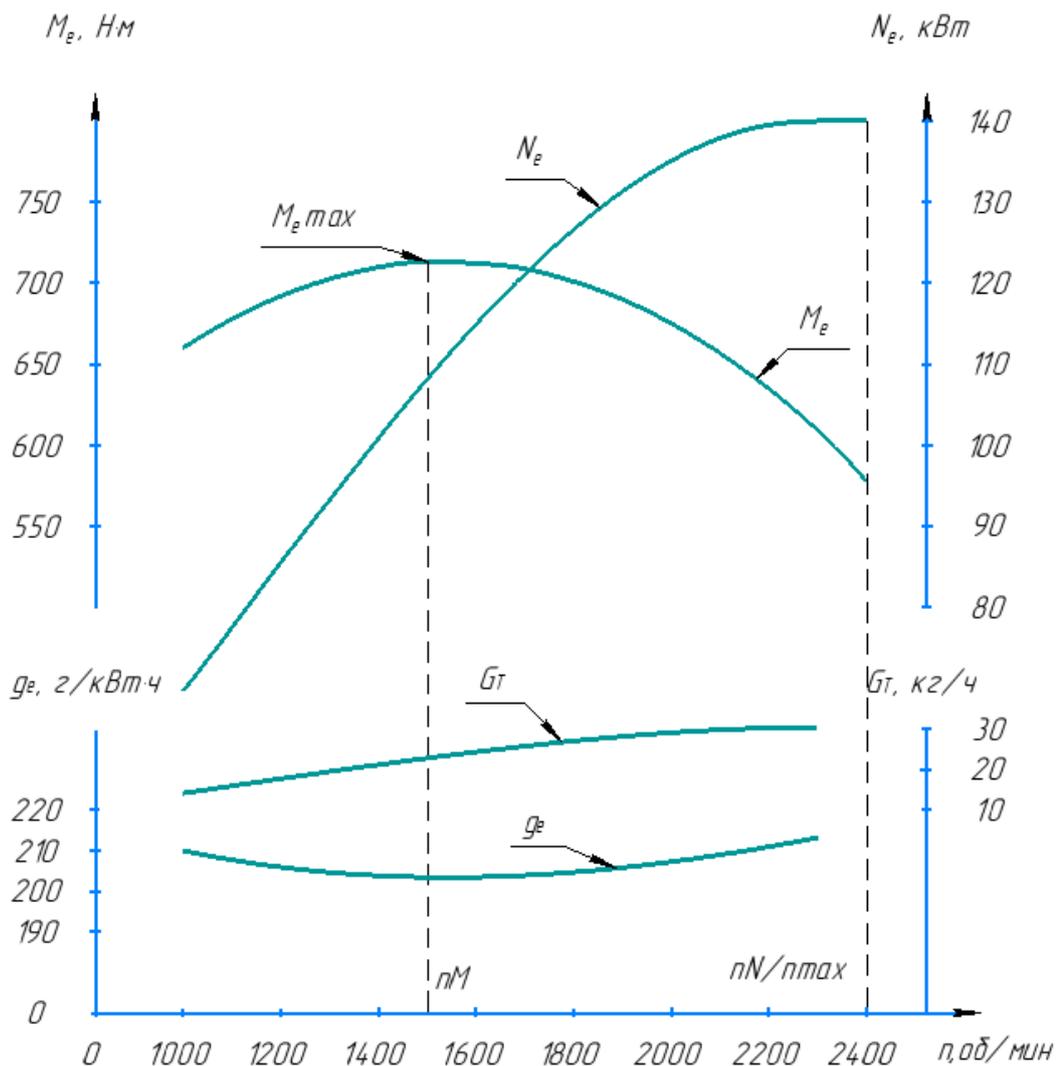


Рисунок 10 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

Расчет передаточных чисел коробки передач.

«Передаточное число первой передачи рассчитывается из условия преодоления заданного максимального сопротивления дороги, характеризующегося суммарным коэффициентом сопротивления по формуле:

$$u_I = \frac{G_a \cdot \psi_{\max}^I \cdot r_k}{M_{\max} \cdot u_0 \cdot u_d \cdot \eta_{mp}}, \quad (17)$$

где M_{\max} – максимальный крутящий момент двигателя, полученный с внешней скоростной характеристики двигателя, Н·м;
 ψ_{\max}^I – коэффициент сопротивления дороги на первой передаче, принимаем равным 0,3» [28].

Подставляем значения в формулу (17) и получаем:

$$u_I = \frac{100062 \cdot 0,3 \cdot 0,36}{376,5 \cdot 5,59 \cdot 1 \cdot 0,86} = 5,98.$$

Расчет передаточных чисел промежуточных передач.

«Передаточные числа промежуточных передач рассчитываются в предположении, что общий ряд передаточных чисел коробки передач должен представлять собой геометрическую прогрессию. Тогда расчет ведется по формуле:

$$u_m = \sqrt[n-1]{u_1^{n-s}}. \quad (18)$$

Однако на карьерном самосвале применяется коробка передач с повышающей (ускоряющей) высшей передачей, следовательно, передаточное

число последней выбирается не по закону геометрической прогрессии, а из конструкторских соображений.

По этой причине при расчете формулы (18) количество передач принимается меньше на 1 (для пятиступенчатой коробки передач – 4)» [28].

Результаты вычислений заносим в таблицу 4 и сравниваем с аналогом.

Таблица 4 – Передаточные числа коробки передач

Значения	Передаточные числа						
	Главная	1	2	3	4	5	ЗХ
Расчетные	5,59	5,98	2,44	1,56	1	0,64	6,57
Справочные	5,28	5,72	2,94	1,61	1	0,76	5,24

В дальнейшем при проведении расчетов предлагается использовать передаточные числа агрегатов автомобиля-аналога.

Тяговая характеристика и тяговый баланс автомобиля.

«Тяговая характеристика представляет собой зависимость силы тяги на колесах автомобиля от скорости движения по передачам, которая на разных передачах определяется по формуле:

$$F_T = \frac{M_e \cdot u_0 \cdot u_{kn} \cdot u_d \cdot \eta_{mp}}{r_k}, \quad (19)$$

Рекомендуется пользоваться выбранными выше значениями угловой скорости (при расчете внешней скоростной характеристики), приводя в соответствие с ними скорости автомобиля на разных передачах по формуле:

$$V_a = \frac{\omega_e \cdot r_k}{u_0 \cdot u_k \cdot u_d}. \quad (20)$$

Тяговый (силовой) баланс автомобиля описывается уравнением:

$$F_T = F_D + F_B + F_u, \quad (21)$$

где F_T – сила тяги на ведущих колесах, Н;

F_D – сила дорожного сопротивления, Н;

F_B – сила сопротивления воздуха, Н;

F_u – сила сопротивления разгону автомобиля» [29].

«В общем случае сопротивление дороги при движении автомобиля на подъеме определяется из выражения:

$$F_D = G_a \cdot \sin \alpha_D + G_a \cdot \cos \alpha_D \cdot f, \quad (22)$$

где f – коэффициент сопротивления качению;

α_D – угол подъема, град.» [29].

«При небольших значениях угла наклона дороги (до 10 град.), считают:

$$\sin \alpha_D \approx \operatorname{tg} \alpha_D = i; \quad \cos \alpha_D \approx 1. \quad (23)$$

$$F_D = G_a \cdot (i + f) = G_a \cdot \psi, \quad (24)$$

При движении автомобиль преодолевает силу сопротивления воздуха, которую определяют по формуле:

$$F_B = k_e \cdot F \cdot V^2. \quad (25)$$

Динамическая характеристика представляет собой зависимость динамического фактора автомобиля от скорости на разных передачах. В каждой расчетной точке на каждой передаче динамический фактор рассчитывается, согласно его определению, по формуле:

$$D = \frac{P_T - P_B}{G_a}. \quad (26)$$

Рассчитанные значения динамического фактора заносятся в таблицу, по которым строятся графики для каждой передачи.

Ускорение автомобиля в каждой расчетной точке определяется по формуле:

$$j = \frac{D - \psi}{\delta_{ep}} \cdot g, \quad (27)$$

где δ_{ep} – коэффициент, учитывающий влияние вращающихся масс» [29].

«Коэффициент, учитывающий влияние вращающихся масс автомобиля, может быть рассчитан по приближенной формуле:

$$\delta_{ep} = 1 + (\delta_1 + \delta_2 \cdot U_k^2), \quad (28)$$

где δ_1 , δ_2 – коэффициент учета вращающихся масс колес и двигателя соответственно. Значение коэффициента принимают в диапазоне от 0,03 до 0,05» [35].

«Затем требуется построить зависимость обратных ускорений от скорости. Поскольку при скоростях, близких к максимальной, ускорение стремится к нулю, то для расчета обратных ускорений ограничиваются скоростью 0,8-0,9 максимальной скорости» [29].

Расчет и построение графика времени и пути разгона.

«Для теоретического определения времени разгона и пути разгона предложено несколько графоаналитических методов. Будем основываться на методе Н.А. Яковлева» [28].

«Расчетный интервал скоростей разбиваем на мелкие участки, для каждого из которых считаем:

$$j = j_{cp} = \frac{j_n + j_k}{2}, \quad (29)$$

где j_{cp} – среднее ускорение на участке ΔV ;

j_n, j_k – соответственно ускорение в начале и конце участка» [35].

«Время разгона на участке, используя график, находим с помощью выражения:

$$\Delta t = \frac{\Delta V}{j_{cp}} = \frac{V_k - V_n}{j_{cp}}. \quad (30)$$

Время разгона до конечной скорости получаем сложением времени на отдельных участках:

$$t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n. \quad (31)$$

Путь за время при равноускоренном движении на каждом участке определяется по формуле:

$$\Delta S = \frac{V_n + V_k}{2} \cdot \Delta t = V_{cp} \cdot \Delta t. \quad (32)$$

Уравнение мощностного баланса автомобиля может быть получено из уравнения тягового баланса почленным умножением его на скорость автомобиля.

В общем случае уравнение мощностного баланса имеет вид:

$$N_T = N_f + N_n + N_g + N_u, \quad (33)$$

где N_T – мощность, подводимая к колесам;

N_f – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению;

N_n – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъема;

N_g – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздушной среды;

N_u – мощность, затрачиваемая на разгон автомобиля» [29].

«Величина мощности, подводимой к колесам, равна:

$$N_T = N_e \cdot \eta_{mp}, \quad (34)$$

где N_e – текущее значение мощности в расчетной точке внешней скоростной характеристики двигателя» [29].

«Мощность, затрачиваемая на преодоление суммарного сопротивления дороги, рассчитывается по формуле:

$$N_d = G_a \cdot \psi \cdot V_a \cdot 10^{-3}, \quad (35)$$

Зависимость мощности от скорости автомобиля представляет собой луч, выходящий из начала координат.

Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления воздушной среды, определяется по выражению:

$$N_g = k_g \cdot F \cdot V_a^3 \cdot 10^{-3}. \quad (36)$$

Мощность, затрачиваемая на разгон автомобиля, может быть рассчитана, как замыкающий член мощностного баланса:

$$N_u = N_T - N_\partial - N_\epsilon \gg [8]. \quad (37)$$

Расчет и построение характеристики топливной экономичности.

«Характеристика топливной экономичности представляет собой зависимость путевого расхода топлива в литрах на 100 км пробега автомобиля от скорости движения в заданных дорожных условиях. Эта характеристика строится только для высшей передачи переднего хода и для трех вариантов дорожных условий, характеризуемых значениями суммарного коэффициента сопротивления дороги.

Путевой расход топлива рассчитывается по формуле:

$$Q_s = \frac{g_{e_{\min}} \cdot k_\omega \cdot k_u \cdot (N_\partial + N_\epsilon)}{36 \cdot V_a \cdot \rho_T \cdot \eta_{mp}}. \quad (38)$$

где $g_{e_{\min}}$ – минимальный удельный эффективный расход топлива двигателем, г/(кВт ч);

k_ω – коэффициент, учитывающий изменение удельного эффективного расхода топлива от скоростного режима двигателя;

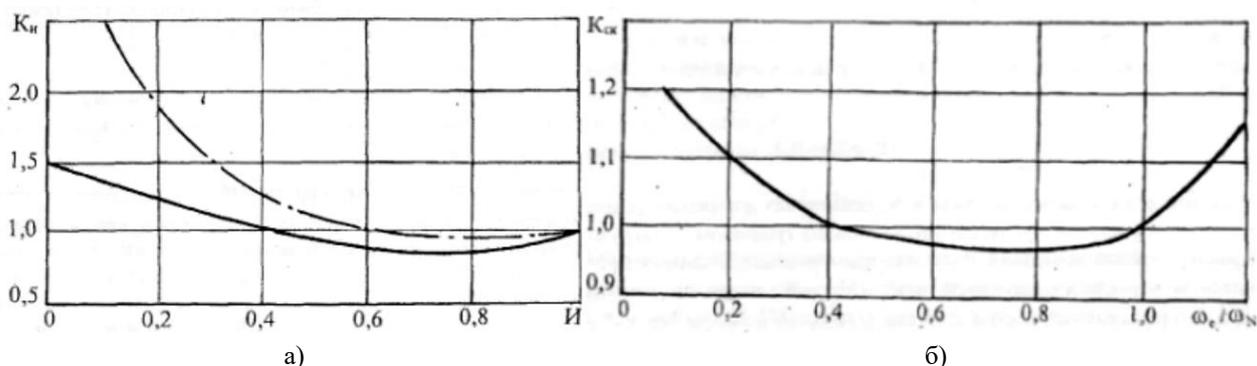
k_u – коэффициент, учитывающий изменение удельного эффективного расхода топлива от нагрузочного режима двигателя;

ρ_T – плотность топлива, кг/дм³ (кг/л)» [29].

Относительная нагрузка определяется по формуле:

$$U = \frac{N_\partial + N_\epsilon}{N_e \cdot \eta_{mp}}. \quad (39)$$

Значения поправочных коэффициентов могут быть определены в соответствии с графиками (рисунок 11).



а – изменение коэффициента, учитывающего изменение удельного эффективного расхода топлива от нагрузочного режима двигателя; б – изменение коэффициента, учитывающего удельного эффективного расхода топлива от скоростного режима двигателя

Рисунок 11 – Графики зависимости значения коэффициентов для определения топливной экономичности автомобиля

«Предельный для данной скорости значения расхода топлива в предположении, что двигатель работает по внешней скоростной характеристике определяется по формуле:

$$Q'_s = \frac{1,11 \cdot g_{e \min} \cdot k_{\omega} \cdot N_e}{36 \cdot V_a \cdot \rho_T} \gg [29]. \quad (40)$$

Для удобства все вычисления производились в программной среде Microsoft Excel, а уже после этого производилось построение графиков тягово-динамических характеристик в Компас-3D.

Выводы по разделу.

Выполнен тягово-динамический расчёт карьерного самосвала БелАЗ-7555. По результатам тягово-динамического расчёта мы получили основные тягово-динамические характеристики, а главное получили значение момента, которое понадобится для кинематического и прочностного расчёта.

3 Конструкторский раздел

Определение контактных и изгибных напряжений требует предварительного расчёта действующего момента.

Его можно найти двумя способами:

- на основе условий сцепления колеса с поверхностью,
- по параметрам двигателя внутреннего сгорания.

Из двух полученных значений выбирают наименьшее, которое и используют в последующих вычислениях.

Кинематика трансмиссии карьерного самосвала показана на рисунке 12

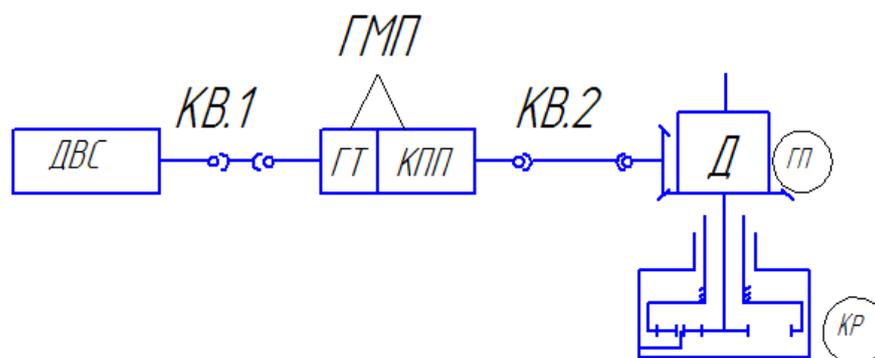


Рисунок 12 – Кинематическая схема трансмиссии

«Момент по ДВС определяется по следующей формуле:

$$M_{n/o}^{ДВС} = M_m \cdot i_{гмп} \cdot \eta_{гмп} \cdot \eta_{кв2} \cdot i_{гп} \cdot \eta_{гп} \cdot \frac{1}{2}, \quad (41)$$

где $i_{гмп}$ – передаточное число гидромеханического привода, принимаем равным 4,07;

$\eta_{гмп}$ – коэффициент полезного действия, равен 0,97;

$\eta_{кв2}$ – коэффициент полезного действия коленчатого вала, равен 0,995;

$i_{гп}$ – передаточное число главной передачи, равно 2,73;

$\eta_{гп}$ – коэффициент полезного действия главной передачи, равен 0,95» [11].

«Момент по сцеплению определим по формуле:

$$M_{n/o}^{сц} = \frac{F_t \cdot r_{\kappa}}{i_{кр} \cdot \eta_{кр}}, \quad (42)$$

где F_t – окружная сила, которая определяется по формуле (43);

r_{κ} – радиус колеса, принимаем 1,04 м;

$i_{кр}$ – передаточное число колесного редуктора, принимаем 7,143;

$\eta_{кр}$ – коэффициент полезного действия колёсного редуктора, равен 0,97.

$$F_t = \frac{2}{3} \cdot G_a \cdot \varphi, \quad (43)$$

где G_a – вес автомобиля, определяется по формуле (44);

φ – тяговый коэффициент, принимаем равным 0,8» [6].

$$G_a = m \cdot g. \quad (44)$$

Определяем момент по ДВС, подставляя значения в формулу и получаем:

$$M_{n/o}^{ДВС} = 5942 \cdot 4,07 \cdot 0,97 \cdot 0,995^2 \cdot 2,73 \cdot 0,95 \cdot \frac{1}{2} = 30120 \text{ Н}.$$

Теперь определим момент по сцеплению, подставляя значения в формулу (42) и получаем:

$$M_{n/o}^{сц} = \frac{249100 \cdot 1,04}{7,143 \cdot 0,97} = 37390 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Вес машины определяем по следующей формуле:

$$G_a = 95250 \cdot 9,81 = 934400 \text{ Н.}$$

$$F_i = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \cdot 934400 \cdot 0,8 = 249100 \text{ Н.}$$

Анализируя полученные значения обоих моментов, приходим к выводу, что для последующих инженерных расчётов целесообразно выбрать момент, рассчитанный по параметрам двигателя внутреннего сгорания. Поскольку этот показатель оказался меньше второго полученного значения, мы руководствуемся требованием методики и используем именно его в дальнейших вычислительных процедурах.

$$M_n = M_{n/o}^{ДВС}. \quad (45)$$

Так как $M_{n/o}^{ДВС} \leq M_{n/o}^{СИ}$, $M_{n/o}^{ДВС} \leq M_{n/o}^{СИ}$, следовательно, принимаем $M_n = M_{n/o}^{ДВС} = 30120 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Далее проведём расчёт контактной прочности по контактным напряжениям и напряжениям изгиба.

«В расчётах будем использовать ранее найденный момент. Целью этого расчёта является определение коэффициентов запаса активных поверхностей зубьев и определение предельных напряжений зубьев при максимальной нагрузке (ГОСТ 21354)» [18].

«Как известно, все планетарные редукторы, в большинстве случаев, состоят из сателлитов, коронной, солнечной шестерни и водила. Так как водило для нас никакого интереса не представляет, то мы остановимся на сателлитах, коронной и солнечной шестернях.

По принципу работы, в планетарном редукторе зубчатые колёса взаимодействуют парами: солнечная шестерня – сателлиты, коронная шестерня – сателлиты. Исходя из этого мы и проведём расчёт этих пар зубчатых колёс, как для серийного варианта планетарного редуктора, так и для нового модернизированного варианта, с целью определения

актуальности внедрения данного вида планетарного редуктора с 4-мя сателлитами и дальнейшего его внедрения в производство» [14].

Перейдём непосредственно к расчёту.

Расчёт контактной прочности.

«Для начала необходимо определиться с материалом и видом термообработки зубчатых колёс.

Сателлит, сталь 20ХН3А, термообработка – цементация, твёрдость рабочих поверхностей 59-65 HRC, $\sigma_T=800$ МПа. Солнечная шестерня, сталь 20ХН3А, термообработка – цементация, твёрдость рабочих поверхностей 59-65 HRC, $\sigma_T=800$ МПа. Коронная шестерня, сталь 40ХН, термообработка – азотирование, твёрдость рабочих поверхностей 59-65 HRC, $\sigma_T=780$ МПа.

В начале проведём расчёт старого серийного образца планетарного редуктора с целью определения его коэффициентов запаса прочности активных поверхностей зубьев и определение предельных напряжений изгиба зубьев при действии максимальной нагрузке» [21].

Предельные контактные напряжения.

«Для сателлита и солнечной шестерни определяются по следующей формуле, которую выбирают от вида термообработки.

$$\sigma_{\min} = 44 \cdot HRC_{cp} . \quad (46)$$

Так как у сателлита и солнечной шестерни одинаковый вид термообработки, то, следовательно, у них будет и одинаковая формула, а так как у них ещё и одинаковая твёрдость рабочих поверхностей, то, следовательно, у них будет и одинаковое значение предельного контактного напряжения:

$$\sigma_{\min} = 44 \cdot 60 = 2640 \text{ МПа} .$$

Немаловажным условием является то, что расчётное контактное напряжение должно быть меньше чем допускаемое контактное напряжение:

$$\sigma_n \leq [\sigma]_n. \quad (47)$$

Определяем контактные напряжения:

$$\sigma_n = \frac{z_b}{a_w} \cdot \sqrt{\frac{K_n \cdot M_n \cdot (u_\phi \pm 1)^3 \cdot k_c}{b \cdot u_\phi \cdot n}}, \quad (48)$$

где z_b – коэффициент для прямозубых колёс, принимаем равным 9600;

a_w – межосевое расстояние, принимаем 174,8 мм;

K_n – коэффициент зацепления, зависящий от числа зубьев, принимаем равным 1,2;

u_ϕ – передаточное число, равно 2,69;

b – ширина контакта зубчатых колёс, принимаем меньшую ширину;

n – число сателлитов, равно 3» [16].

$$\sigma_n = \frac{9600}{174,8} \cdot \sqrt{\frac{1,02 \cdot 30120 \cdot (2,69 \pm 1)^3 \cdot 1,1}{2,69 \cdot 153 \cdot 3}} = 2034 \text{ МПа}.$$

Условие (47) выполняется.

Определим первый коэффициент запаса прочности по формуле:

$$n_n = \frac{\sigma_{n\text{lim}}}{\sigma_n}, \quad (49)$$

$$n_n = \frac{2640}{2037} = 1,296.$$

Сателлит – солнечная шестерня.

Определим напряжения изгиба σ_F .

«Немаловажным условием является то, что расчётное напряжение изгиба должно быть меньше чем допускаемое напряжение изгиба:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F. \quad (50)$$

Напряжение изгиба, в отличие, от контактного напряжения, считается для каждого колеса в отдельности, по следующей формуле:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq [\sigma]_{F2}, \quad (51)$$

где K_F – коэффициент распределения нагрузки между зубьями, зависящий от твёрдости поверхности зубьев;

F_t – окружная сила, определяется по формуле (54);

b – ширина зубчатого венца;

m – модуль зацепления;

Y_{FS2} – коэффициент, учитывающий вид передачи (быстроходная или тихоходная);

Y_β – коэффициент, учитывающий влияние шероховатостей;

Y_ε – коэффициент, учитывающий влияние двухстороннего приложения нагрузки» [17].

«Окружная сила рассчитывается по следующей формуле:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot M \cdot k_c}{d_e \cdot n_w}, \quad (52)$$

где M – момент рассчитанный ранее;

k_c – коэффициент распределения нагрузки по сателлитам, для трёх сателлитов коэффициент равен 1,1;

d_e – делительный диаметр, принимаем равным 91 мм;

n_w – количество сателлитов в планетарном редукторе» [8].

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 30120 \cdot 1,1}{91 \cdot 3} = 242725 \text{ Н.}$$

«Допускаемое напряжение изгиба рассчитывается по следующей формуле:

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} \cdot Y_{N \text{ max}} \cdot k_{st}}{S_{st}}, \quad (53)$$

где $\sigma_{F \text{ lim}}$ – запас прочности: для сателлита и солнечной шестерни 750-800 МПа;

$Y_{N \text{ max}}$ – коэффициент, учитывающий вид поверхностной термообработки;

k_{st} – коэффициент, учитывающий действие перегрузок;

S_{st} – коэффициент запаса прочности, принимаем равный 2» [18].

Рассчитаем допускаемое напряжение изгиба для сателлита и шестерни в отдельности.

Для сателлита:

$$[\sigma]_F = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{2,0} = 1300 \text{ МПа.}$$

Для солнечной шестерни:

$$[\sigma]_F = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{2,0} = 1300 \text{ МПа} .$$

Рассчитываем действующие напряжения изгиба для сателлита и шестерни в отдельности, подставив значения в формулу (53).

Для солнечной шестерни:

$$\sigma_F = \frac{\frac{1,35}{1,14} \cdot 242725 \cdot 3,3}{183 \cdot 7} = 740,47 \text{ МПа} .$$

Условие выполняется.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности для сателлита:

$$n_n = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F} , \tag{54}$$

$$n_n = \frac{1300}{740,47} = 1,75 .$$

$$\sigma_F = \frac{\frac{1,35}{1,14} \cdot 242725 \cdot 3,51}{153 \cdot 7} = 942,02 \text{ МПа} .$$

Условие выполняется.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности по формуле (54):

$$n_n = \frac{1300}{942,02} = 1,38 .$$

Сателлит – коронная шестерня

«Для сателлита и коронной шестерни предельные контактные напряжения определяются по следующей формуле, которую выбирают от вида термообработки» [14].

Для сателлита:

$$\sigma_{H \lim} = 44 \cdot HRC_{cp}, \quad (55)$$

$$\sigma_{H \lim} = 44 \cdot 60 = 2640 \text{ МПа} .$$

Для коронной шестерни:

$$\sigma_{H \lim} = 3 \cdot H_{HV}, \quad (56)$$

$$\sigma_{H \lim} = 3 \cdot 380 = 1140 \text{ МПа} .$$

Важнейшим критерием правильности расчётов служит условие, согласно которому расчётное контактное напряжение обязательно должно оставаться ниже допустимого уровня напряжения контакта материалов. Соблюдение данного ограничения гарантирует надежность и безопасность конструкции в реальных условиях эксплуатации.

$$\sigma_n \leq [\sigma]_n. \quad (57)$$

Определяем контактные напряжения по формуле:

$$\sigma_n = \frac{9600}{174,8} \cdot \sqrt{\frac{1,02 \cdot (30120 \cdot \frac{35}{13} \cdot 0,985) \cdot (2,457 \pm 1)^3 \cdot 1,1}{2,457 \cdot 153 \cdot 3}} = 861,02 \text{ МПа} .$$

Условие (57) выполняется.

Определим ещё первый коэффициент запаса прочности по следующей формуле:

$$n_n = \frac{\sigma_{F \lim}}{\sigma_F}, \quad (58)$$

$$n_n = \frac{1300}{861,02} = 1,51.$$

Сателлит – коронная шестерня.

Определим напряжения изгиба.

Немаловажным условием является то, что расчётное напряжение изгиба должно быть меньше чем допускаемое напряжение изгиба:

$$\sigma_F \leq [\sigma]_F. \quad (59)$$

Напряжение изгиба, в отличие, от контактного напряжения, считается для каждого колеса в отдельности, по следующей формуле:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq [\sigma]_{F2}, \quad (60)$$

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot M \cdot k_c}{d_e \cdot n_w}, \quad (61)$$

+

Допускаемое напряжение изгиба рассчитывается по следующей формуле:

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \lim} \cdot Y_{N \max} \cdot k_{st}}{S_{st}}, \quad (62)$$

Рассчитаем допускаемое напряжение изгиба для сателлита и шестерни в отдельности.

Для сателлита:

$$[\sigma]_F = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{2,0} = 1300 \text{ МПа}.$$

Для коронной шестерни:

$$[\sigma]_F = 3 \cdot H_{HV}, \quad (63)$$

$$[\sigma]_F = 3 \cdot 380 = 1140 \text{ МПа}.$$

Рассчитываем действующие напряжения изгиба для сателлита и шестерни в отдельности:

Для коронной шестерни (формула 62):

$$\sigma_F = \frac{1,35}{1,14} \cdot \frac{239081 \cdot 3,53}{186 \cdot 7} = 767,6 \text{ МПа}.$$

Условие выполняется.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности:

$$n_{F_b} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F}, \quad (64)$$

$$n_n = \frac{1140}{767,6} = 1,485.$$

Однако согласно ГОСТ 21354-87 $\sigma_F = 1800 \text{ МПа}$ для стали 40ХН с видом термообработки – азотирование.

Тогда, следовательно:

$$[\sigma]_F = \frac{1800}{2} = 900 \text{ МПа}. \quad (65)$$

Исходя из этого получаем следующее значение коэффициента запаса прочности для коронной шестерни:

$$n_{F_b} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F}, \quad (66)$$

$$n_{F_b} = \frac{900}{767,605} = 1,172.$$

Для сателлита:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon, \quad (67)$$

$$\sigma_F = \frac{1,35 / 1,14 \cdot 239081 \cdot 3,51}{153 \cdot 7} = 927,88 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, так как $927,88 \text{ МПа} < 1300 \text{ МПа}$;

Рассчитаем коэффициент запаса прочности:

$$n_n = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F}, \quad (68)$$

$$n_n = \frac{1300}{927,88} = 1,401.$$

Сателлит – солнечная шестерня.

«Предельные контактные напряжения для сателлита и солнечной шестерни определяются по следующей формуле, которую выбирают от вида термообработки.

$$\sigma_{n \text{ lim}} = 44 \cdot HRC_{cp}. \quad (69)$$

Так как у сателлита и солнечной шестерни одинаковый вид термообработки, то, следовательно, у них будет и одинаковая формула, а так как у них ещё и одинаковая твёрдость рабочих поверхностей, то у них будет и одинаковое значение предельного контактного напряжения:

$$\sigma_{n \text{ lim}} = 44 \cdot 60 = 2640 \text{ МПа.}$$

Немаловажным условием является то, что расчётное контактное напряжение должно быть меньше чем допускаемое контактное напряжение $\sigma_H \leq [\sigma]_H$ » [25].

«Определяем контактные напряжения:

$$\sigma_H = \frac{z_b}{a_w} \cdot \sqrt{\frac{K_H \cdot T_1 \cdot (u_\phi \pm 1)^3 \cdot \kappa_c}{b_2 \cdot u_\phi \cdot n_w}}, \quad (70)$$

где z_b – коэффициент для прямозубых колёс, принимаем 9600;

a_w – межосевое расстояние, равно 17,018;

u_ϕ – передаточное число, равно 2,5;

b_2 – ширина контакта зубчатых колёс, принимаем 135 мм;

n_w – число сателлитов, принимаем 4;

T_1 – момент, найденный ранее, принимаем 30120 Н·м;

K_H – коэффициент зацепления, зависящий от числа зубьев, принимаем 1,02» [10].

$$\sigma_H = \frac{9600}{178,0181} \cdot \sqrt{\frac{1,02 \cdot 30120 \cdot (2,5 + 1)^3 \cdot 1,5}{2,5 \cdot 135 \cdot 4}} = 1806 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется: $\sigma_H \leq [\sigma]_H$, 1806 МПа \leq 2640 МПа.

Определим первый коэффициент запаса прочности n_H по следующей формуле:

$$n_H = \frac{\sigma_{H\text{lim}}}{\sigma_H}, \quad (71)$$

$$n_H = \frac{2640}{1806} = 1,462.$$

Сателлит – солнечная шестерня.

Определим напряжения изгиба.

«Немаловажным условием является то, что расчётное напряжение изгиба должно быть меньше чем допускаемое напряжение изгиба $\sigma_F \leq [\sigma]_F$ » [30].

«Напряжение изгиба, в отличие, от контактного напряжения, считается для каждого колеса в отдельности, по следующей формуле:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq [\sigma]_{F2}, \quad (72)$$

где K_F – коэффициент распределения нагрузки между зубьями, зависящий от твёрдости поверхности зубьев;

F_t – окружная сила;

b – ширина зубчатого венца;

m – модуль зацепления;

Y_{FS2} – коэффициент, учитывающий вид передачи (быстроходная или тихоходная);

Y_β – коэффициент, учитывающий влияние шероховатостей;

Y_ε – коэффициент, учитывающий влияние двухстороннего приложения нагрузки» [19].

«Окружная сила рассчитывается по следующей формуле:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot M \cdot k_c}{d_e \cdot n_w}, \quad (73)$$

где M – момент рассчитанный ранее;

k_c – коэффициент распределения нагрузки по сателлитам, для четырёх сателлитов, принимаем 1,15;

d_e – делительный диаметр;

n_w – количество сателлитов в планетарном редукторе» [21].

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 30120 \cdot 1,5}{91 \cdot 4} = 190319 \text{ Н.}$$

Рассчитаем напряжение изгиба для сателлита:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq [\sigma]_{F2}. \quad (74)$$

«Допускаемое напряжение изгиба рассчитывается по следующей формуле:

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} \cdot Y_N \cdot k_{st}}{S_{st}}, \quad (75)$$

где $\sigma_{F \text{ lim}}$ – запас прочности, для сателлита и солнечной шестерни 750-

800 МПа;

Y_N – коэффициент, учитывающий вид поверхностной термообработки;

k_{st} – коэффициент, учитывающий действие перегрузок;

S_{st} – коэффициент запаса прочности, принимаем равный 2» [13].

Рассчитаем допускаемое напряжение изгиба для сателлита и шестерни в отдельности.

Для сателлита:

$$[\sigma]_F = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{2,0} = 1300 \text{ МПа.}$$

Для солнечной шестерни:

$$[\sigma]_F = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{2,0} = 1300 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем действующие напряжения изгиба для сателлита и шестерни в отдельности:

Для солнечной шестерни:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon, \quad (76)$$

$$\sigma_F = \frac{1,35 / 1,14 \cdot 190319 \cdot 3,3}{165 \cdot 7} = 643,94 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, так как $643,94 \text{ МПа} < 1300 \text{ МПа}$.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности.

$$n_n = \frac{\sigma_{F\text{lim}}}{\sigma_F} = \frac{1300}{643,94} = 2,02 \quad (77)$$

Для сателлита:

$$\sigma_F = \frac{1,35 / 1,14 \cdot 190319 \cdot 3,51}{135 \cdot 7} = 837,12 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, так как $837,12 \text{ МПа} < 1300 \text{ МПа}$;

Рассчитаем коэффициент запаса прочности: $n_n = \frac{\sigma_{F\text{lim}}}{\sigma_F} = \frac{1300}{837,12} = 1,553$.

Сателлит – коронная шестерня.

«Предельные контактные напряжения для сателлита и коронной шестерни определяются по следующей формуле, которую выбирают от вида термообработки» [30].

Для сателлита:

$$\sigma_{H\lim} = 44 \cdot HRC_{cp} \quad (78)$$

$$\sigma_{H\lim} = 44 \cdot HRC_{cp} = 44 \cdot 60 = 2640 \text{ МПа.}$$

Для коронной шестерни:

$$\sigma_{H\lim} = 3 \cdot H_{HV} \quad (79)$$

$$\sigma_{H\lim} = 3 \cdot 380 = 1140 \text{ МПа.}$$

Немаловажным условием является то, что расчётное контактное напряжение должно быть меньше чем допускаемое контактное напряжение $\sigma_H \leq [\sigma]_H$.

Определяем контактные напряжения:

$$\sigma_H = \frac{z_b}{a_w} \cdot \sqrt{\frac{K_H \cdot T_1 \cdot (u_\phi \pm 1)^3 \cdot \kappa_c}{b_2 \cdot u_\phi \cdot n_w}}, \quad (80)$$

$$\sigma_H = \frac{9600}{178,0181} \cdot \sqrt{\frac{1,02 \cdot (30120 \cdot 35 / 14 \cdot 0,985) \cdot (2,5 - 1)^3 \cdot 1,1}{2,5 \cdot 135 \cdot 4}} = 795,32 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется: $\sigma_H \leq [\sigma]_H$, $795,32 \text{ МПа} \leq 1300 \text{ МПа}$.

Определим ещё первый коэффициент запаса прочности n_H по следующей формуле:

$$n_H = \frac{\sigma_{H\lim}}{\sigma_H}, \quad (81)$$

$$n_H = \frac{1300}{795,32} = 1,635.$$

Сателлит – коронная шестерня.

Определим напряжения изгиба.

«Немаловажным условием является то, что расчётное напряжение изгиба должно быть меньше чем допускаемое напряжение изгиба $\sigma_F \leq [\sigma]_F$ » [30].

Напряжение изгиба, в отличие, от контактного напряжения, считается для каждого колеса в отдельности, по следующей формуле:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq [\sigma]_{F2}. \quad (82)$$

«Окружная сила рассчитывается по формуле:

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot M \cdot k_c}{d_e \cdot n_w}, \quad (83)$$

где M – момент рассчитанный ранее;

k_c – коэффициент распределения нагрузки по сателлитам, для трёх сателлитов, принимаем равным 1,15;

d_e – делительный диаметр;

n_w – количество сателлитов в планетарном редукторе» [22].

$$F_t = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 74170 \cdot 1,15}{245 \cdot 4} = 174072 \text{ Н}.$$

Рассчитаем напряжение изгиба для сателлита:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon \leq [\sigma]_{F2}, \quad (84)$$

«Допускаемое напряжение изгиба рассчитывается по следующей формуле:

$$[\sigma]_F = \frac{\sigma_{F \text{ lim}} \cdot Y_N \cdot k_{st}}{S_{st}}, \quad (85)$$

где $\sigma_{F \text{ lim}}$ – запас прочности для сателлита, который составляет от 750 до 800 МПа;

Y_N – коэффициент, учитывающий вид поверхностной термообработки;

k_{st} – коэффициент, учитывающий действие перегрузок;

S_{st} – коэффициент запаса прочности, принимаем равным 2» [22].

Рассчитаем допускаемое напряжение изгиба для сателлита и шестерни в отдельности.

Для сателлита:

$$[\sigma]_F = \frac{800 \cdot 2,5 \cdot 1,3}{2,0} = 1300 \text{ МПа.}$$

Для коронной шестерни:

$$[\sigma]_F = 3 \cdot H_{HV}, \quad (86)$$

$$[\sigma]_F = 3 \cdot 380 = 1140 \text{ МПа.}$$

Рассчитываем действующие напряжения изгиба для сателлита и шестерни в отдельности:

Для коронной шестерни:

$$\sigma_F = \frac{1,35 / 1,14 \cdot 174072 \cdot 3,53}{168 \cdot 7} = 618,76 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, так как $618,76 \text{ МПа} < 1140 \text{ МПа}$.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности:

$$n_{F_b} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F},$$

$$n_{F_b} = \frac{1140}{618,76} = 1,842.$$

Однако согласно ГОСТ 21354-87 $\sigma_F=1800$ МПа для стали 40ХН с видом термообработки – азотирование. Тогда, следовательно:

$$[\sigma]_F = \frac{1800}{2} = 900 \text{ МПа.}$$

Исходя из этого, получаем следующее значение коэффициента запаса прочности для коронной шестерни:

$$n_{F_b} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F} = \frac{900}{618,76} = 1,455.$$

Для сателлита:

$$\sigma_F = \frac{K_F \cdot F_t}{b \cdot m} \cdot Y_{FS2} \cdot Y_\beta \cdot Y_\varepsilon,$$

$$\sigma_F = \frac{1,35 / 1,14 \cdot 174072 \cdot 3,51}{135 \cdot 7} = 765,65 \text{ МПа.}$$

Условие выполняется, так как $765,65 \text{ МПа} < 1300 \text{ МПа}$;

Рассчитаем коэффициент запаса прочности:

$$n_F = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F},$$

$$n_F = \frac{1300}{765,65} = 1,698.$$

«Исходя из проделанного расчета можно и необходимо сделать следующие выводы:

- а) при сравнении полученных коэффициентов запаса прочности старого серийного образца планетарного редуктора с тремя сателлитами и нового модернизированного образца планетарного редуктора с четырьмя сателлитами, видно что запасы прочности у нового модернизированного варианта значительно выше чем у старого серийного образца, что говорит о целесообразности внедрения данного типа планетарного редуктора.
- б) исходя из предыдущего пункта, можно сказать следующее: что с увеличением запасов прочности зубчатых пар, увеличится надежность и работоспособность данного механизма» [7].

Выполним расчёт подшипников.

«Исходные данные:

- частота вращения, об/мин 1200;
- диаметр под посадку подшипника, мм 90;
- ширина подшипника, мм 62;
- внешний диаметр, мм 190;
- радиальная сила, кН 310;
- осевая сила, кН 1,15;
- продолжительность работы, ч 10000» [1].

«Предварительно выбираем конический однорядный подшипник с уплотнительным кольцом по ГОСТ 8328, тип 42000. Схема установки подшипника – враспор (рисунок 13).

Осевые составляющие от действия радиальных нагрузок:

$$F_{a1} = e \cdot F_r, \quad (87)$$

$$F_{a1} = 0,37 \cdot 310 = 114,7 \text{ кН},$$

$$F_{a1} = F_{a1} + F_a, \quad (88)$$

$$F_{a1} = 114,7 + 1,15 = 115,85 \text{ кН}.$$

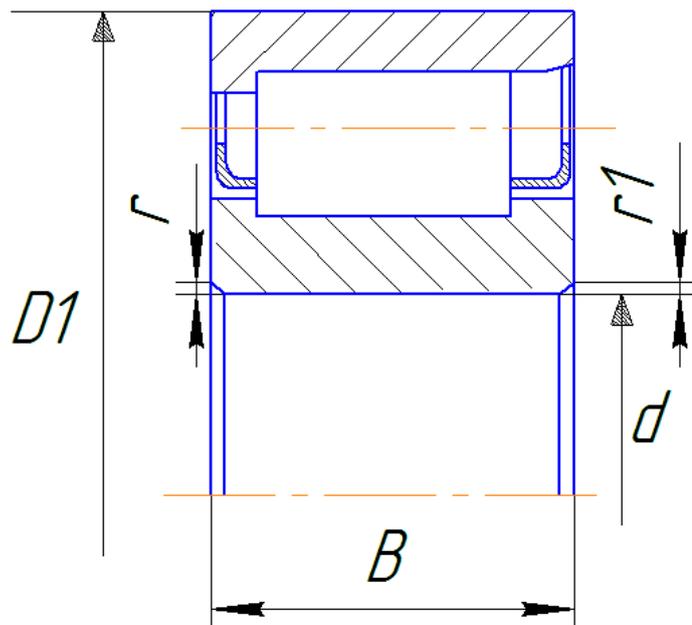


Рисунок 13 – Роликовый конический однорядный подшипник с уплотнительным кольцом

Находим коэффициент радиальной и осевой нагрузки:

$$\frac{F_{a1}}{V \cdot F_{r1}} = \frac{114,7}{310} = 0,37 = e \Rightarrow X = 1, Y = 0, \quad (89)$$

где V – коэффициент вращения, принимаем 1» [2].

«Находим эквивалентную радиальную нагрузку:

$$P_E = (V \cdot X \cdot F_r + Y \cdot F_{a1}) \cdot k_b \cdot k_t, \quad (90)$$

где k_b – коэффициент, учитывающий динамичность внешней нагрузки, принимаем равным 1,3;

k_t – коэффициент, учитывающий влияние температуры подшипникового узла, принимается равной 1» [23].

$$P_E = (1 \cdot 1 \cdot 310 + 0 \cdot 114,7) \cdot 1,3 \cdot 1 = 31,13 \text{ кН.}$$

Найдём требуемую динамическую грузоподъёмность:

$$C_{TP} = P_E \sqrt[3]{\frac{L_n \cdot n \cdot 60}{10^6}}, \quad (91)$$

$$C_{TP} = 31,13 \cdot \sqrt[3]{\frac{10000 \cdot 1200 \cdot 60}{10^6}} = 27,9 \text{ кН} < C_{0r}.$$

Предварительно выбранный подшипник подобран верно.

Спецификация на модернизированный задний ведущий мост карьерного самосвала БелАЗ-7555 представлена в Приложении А (рисунки А1-А.5).

Выводы по разделу.

В рамках раздела выполнено:

- изучение компоновки ведущего моста;
- расчёт контактных напряжений и изгибной выносливости зубьев планетарной передачи;
- сравнение двух схем редуктора (трёх и четырёх сателлитной) с позиции распределения нагрузок;
- верификация подшипников по критерию статической и динамической грузоподъёмности.

Полученные данные формируют основу для выбора рационального варианта исполнения редуктора.

4 Технологический раздел

Технологический процесс сборки автомобилей и тракторов представляет собой строго регламентированную последовательность операций по соединению деталей и компонентов.

В ходе данного процесса осуществляется:

- поэтапная интеграция отдельных элементов в функциональные узлы,
- комплексирование механизмов в единую систему,
- формирование готового транспортного средства.

Все операции выполняются в соответствии с:

- техническими спецификациями производителя,
- нормативными требованиями безопасности,
- параметрами качества сборки,
- производственными стандартами предприятия.

Ключевыми характеристиками процесса являются:

- четкая последовательность операций,
- контроль на каждом этапе сборки,
- соблюдение технологических нормативов,
- обеспечение заданных эксплуатационных качеств конечного продукта.

Результатом процесса становится полностью функциональное транспортное средство, соответствующее всем заявленным техническим и эксплуатационным требованиям.

Трудоемкость сборочных работ при производстве автомобилей и тракторов определяется совокупностью следующих ключевых факторов:

- конструктивные особенности: сложность и количество соединяемых узлов; степень унификации деталей; применение модульных принципов сборки;

- технологические аспекты: тип организации производства (конвейерная/позиционная сборка); степень механизации и автоматизации процессов; используемое оборудование и оснастка; требования к точности соединений;
- человеческий фактор: квалификация рабочих; организация рабочих мест; система контроля качества; применение нормативов времени.

Габаритные характеристики изделия являются определяющим параметром при проектировании процесса сборки:

- для крупногабаритных конструкций (корпуса машин, рамы) требуются: подъемно-транспортное оборудование (мостовые краны, тельферы), специализированные сборочные стенды, позиционная организация работ;
- мелкие узлы и компоненты позволяют применять: роботизированные сборочные комплексы, конвейерные линии, высокую степень автоматизации.

4.1 Обоснование выбора технологического процесса

Рациональная организация сборки – это оптимизация процесса сборки изделий для минимизации времени, затрат и трудоёмкости при обеспечении высокого качества.

Основные принципы рациональной организации сборки:

- разделение сборки на узлы и подузлы;
- сборка сложных изделий разбивается на отдельные узлы, которые собираются параллельно, это ускоряет процесс и позволяет специализировать рабочие места;
- поточный метод сборки: организация конвейерных линий с чётким тактом (ритмом) работы. Каждая операция выполняется за фиксированное время на отдельной рабочей позиции;

- механизация и автоматизация: использование сборочных роботов, автоматических линий, пневмо- и электроинструмента;
- внедрение систем ЧПУ (числового программного управления) для точной сборки;
- стандартизация и унификация: применение одинаковых крепёжных элементов, соединений и методов сборки; использование модульных конструкций для упрощения сборки;
- оптимизация трудовых процессов: изучение и устранение лишних движений (методы научной организации труда);
- правильная организация рабочего места (эргономика, доступность инструментов): контроль качества на каждом этапе, встроенный контроль (проверка узлов после каждой операции), использование систем визуализации дефектов (например, контрольные метки, датчики);
- логистика и снабжение: чёткое планирование подачи деталей и комплектующих к месту сборки (система «just-in-time»); минимизация простоев из-за нехватки материалов.

Методы оптимизации сборки:

- метод групповой сборки – одновременная сборка однотипных изделий;
- комплекточные тележки/контейнеры – предварительная подготовка деталей для каждой операции;
- использование CAD/CAM-систем – цифровое моделирование сборки для выявления ошибок до производства.

Учитывая ограниченный спрос на модернизированный задний мост карьерного самосвала грузоподъёмностью 60 тонн, наиболее эффективным решением станет организация сборки по мелкосерийному принципу.

Такой подход позволит:

- минимизировать издержки за счёт гибкости производства,
- избежать избыточных запасов комплектующих,

– адаптировать процесс под индивидуальные требования заказчиков.

В отличие от массового выпуска, мелкосерийная сборка обеспечит экономическую целесообразность при небольшом количестве заказов.

В условиях мелкосерийного выпуска применяется стационарная непоточная сборка, при которой процесс делится на два ключевых этапа:

- узловая сборка – формирование отдельных компонентов конструкции;
- общая сборка – компоновка готовых узлов в конечное изделие.

Работы выполняются специализированными бригадами, что обеспечивает:

- гибкость производственного процесса,
- эффективное использование квалификации персонала,
- возможность параллельного выполнения операций.

«Для определения такта выпуска продукции используем формулу:

$$T_{д} = \frac{F_{д} \cdot 60 \cdot m}{N}, \quad (92)$$

где $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным $F_{д} = 2070$ ч. для стационарной сборки на необорудованных станках;
 m – количество смен, принимается равным $m = 1$;
 N – годовой объем выпуска, принимается равным $N = 120$ шт.» [12].

$$T_{д} = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{120} = 1035 \text{ ч.}$$

«Такой подход позволяет оптимизировать затраты при ограниченных объемах производства» [12].

После завершения проектирования разрабатывается технологическая карта сборки, включающая:

- графическую схему последовательности операций,

- детальное описание всех сборочных этапов.

Данный подход обеспечивает:

- четкую стандартизацию производственных этапов,
- контроль трудоемкости операций,
- минимизацию технологических простоев.

Спецификация операций узловой и общей сборки модернизированного заднего моста карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн приведена в таблице 5.

Таблица 5 – Перечень операций с указанием трудоемкости и необходимого оборудования технологического процесса сборки модернизированного заднего моста карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Взять картер заднего моста с рычагами в сборе	Чистота поверхности, отсутствие трещин и деформаций	0,8
Осмотреть картер заднего моста с рычагами в сборе	Контроль геометрии, соответствие чертежу	1
Взять шпильки 50 шт.	Резьба без повреждений, класс прочности 8.8	0,5
Наживить шпильки 50 шт.	Предварительная затяжка без перекоса	5
Завернуть шпильки 50 шт. с моментом 20-30 Н·м	Калиброванный моментный ключ, равномерная затяжка	7
Взять кольцо 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,3
Осмотреть кольцо	Проверка на биение и дефекты	0,2
Установить кольцо на шпильки	Плотная посадка без зазоров	0,9
Взять кожух полуоси 2 шт.	Отсутствие коррозии, чистота посадочных мест	0,4
Осмотреть кожух полуоси 2 шт.	Контроль герметичности и геометрии	0,3
Установить кожух полуоси 2 шт.	Фиксация стопорными кольцами, совмещение по меткам	2
Взять шайбы 50 шт.	Плоскостность, отсутствие деформаций	0,5
Установить шайбы 50 шт. на шпильки	Равномерное распределение, исключение перекоса	2,5
Взять гайки 50 шт.	Класс прочности 10.9, резьба без повреждений	0,5
Наживить гайки 50 шт.	Предварительная затяжка с контролем усилия	5» [12]

Продолжение таблицы 5

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Завернуть гайки 50 шт. с моментом 20-30 Н·м	Поэтапная затяжка крест-накрест	7
Взять механизм тормозной в сборе 2 шт.	Проверка износа колодок, работоспособность пружин	0,8
Осмотреть механизм тормозной в сборе 2 шт.	Контроль состояния поверхностей трения	0,6
Установить механизм тормозной в сборе 2 шт.	Совмещение с посадочными местами, фиксация болтами	20
Взять кольцо 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,3
Осмотреть кольцо 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить кольцо 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	0,8
Взять уплотнение резинометаллическое 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,3» [12]
Осмотреть уплотнение резинометаллическое 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,2
Установить уплотнение резино-металлическое 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	2
Взять фланец 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,6
Осмотреть фланец 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить фланец 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	4
Взять уплотнение резинометаллическое 2 шт.	Соответствие размерам	0,3
Осмотреть уплотнение резинометаллическое 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,2
Установить уплотнение резинометаллическое 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	2
Взять фланец 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,6
Осмотреть фланец 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить фланец 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	4
Взять кольцо внутреннее 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,4
Осмотреть кольцо внутреннее 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить кольцо внутреннее 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	4
Взять полуось 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,8
Осмотреть полуось 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,6
Установить полуось 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	10

Продолжение таблицы 5

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
«Взять кольцо 4 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	0,5
Осмотреть кольцо 4 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить кольцо 4 шт.		6
Взять ступицу заднего колеса 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	1
Осмотреть ступицу заднего колеса 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,9
Установить ступицу заднего колеса 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	25
Взять шпильки 20 шт.	Резьба без повреждений, класс прочности 8.8	0,3
Наживить шпильки 20 шт.	Предварительная затяжка без перекоса	2
Завернуть шпильки 20 шт. с моментом 20-30 Н·м	Калиброванный моментный ключ, равномерная затяжка	3
Взять шестерню коронную с кожухом 2 шт.	Отсутствие заусенцев, соответствие размерам	1
Осмотреть шестерню коронную с кожухом 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,6
Установить шестерню коронную с кожухом 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	17
Взять гайку подшипников 2 шт.	Класс прочности 10.9, резьба без повреждений	0,8
Осмотреть гайку подшипников 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,4
Завернуть гайку подшипников 2 шт. с моментом 60-90 Н·м	Калиброванный моментный ключ, равномерная затяжка	3
Контролировать установку подшипника	Отсутствие перекоса	1
Взять уплотнитель 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,9
Осмотреть уплотнитель 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить уплотнитель 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	3
Взять водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.	Соответствие размерам	1
Осмотреть водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,8
Установить водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.	Люфт не более 0,05 мм, смазка подшипников	45
Взять шайбы 18 шт.	Плоскостность, отсутствие деформаций	0,4» [12]
Установить шайбы 18 шт.	Равномерное распределение, исключение перекоса	2

Продолжение таблицы 5

Содержание основных и вспомогательных переходов	Технические требования	Время операции, мин
Взять болты 36 шт.	Класс прочности 10.9, резьба без повреждений	0,8
«Наживить болты 36 шт.	Предварительная затяжка с контролем усилия	4
Завернуть болты 36 шт.	Калиброванный моментный ключ, равномерная затяжка	8
Взять прокладку крышки водила 2 шт.	Соответствие размерам	1
Осмотреть прокладку крышки водила 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,3
Установить прокладку крышки водила 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	3
Взять крышку водила 2 шт.	Соответствие размерам	2
Осмотреть крышку водила 2 шт.	Контроль состояния поверхностей	0,8
Установить крышку водила 2 шт.	Совмещение с посадочными местами	25
Взять шайбы 18 шт.	Плоскостность, отсутствие деформаций	0,8
Установить шайбы 18 шт.	Равномерное распределение, исключение перекоса	2» [12]
Взять болты 9 шт.	Класс прочности 10.9, резьба без повреждений	0,5
Наживить болты 9 шт.	Предварительная затяжка с контролем усилия	1
Завернуть болты 9 шт.	Калиброванный моментный ключ, равномерная затяжка	2
Заправить ведущий мост маслом	Масло марки SAE 85W-90, уровень по метке	5
Проверить на наличие подтеков масла	Визуальный контроль, герметичность стыков	4
Собранный ведущий мост должен быть проверен на стенде или пробегом на автомобиле	Испытание под нагрузкой 60 тонн, контроль вибрации и шума	240
Итого:		504

Для оптимизации производственного графика выполним расчет суммарной продолжительности всех технологических операций по формуле:

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots + t_{onm} . \quad (93)$$

Методика расчета основана на суммировании нормированного времени по всем позициям технологической карты с применением поправочных коэффициентов.

Полученные данные позволяют точно планировать производственные мощности и загрузку оборудования.

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

$$t_{\text{ит}}^{\text{общ}} = t_{\text{он}}^{\text{общ}} + t_{\text{он}}^{\text{общ}} \cdot \left(\frac{\alpha + \beta}{100} \right), \quad (94)$$

где α – часть оперативного времени на организационно-техническое обслуживание рабочего места в процентах $\alpha=2-3\%$, принимаем $\alpha=3\%$;

β – часть оперативного времени для перерыва и отдыха в процентах $\beta=4-6\%$, принимаем $\beta=5\%$ » [23].

$$t_{\text{ит}}^{\text{общ}} = 504 + 504 \cdot \left(\frac{3+5}{100} \right) = 544,32 \text{ мин.}$$

4.2 Проектирование технологического процесса сборки модернизированного заднего моста карьерного самосвала

Формируем поэтапную последовательность монтажных работ, фиксируем необходимый инструмент и оснастку для каждой операции, далее рассчитываем нормативное время выполнения и сводим всё в таблицу 6.

Таблица 6 – Технологический процесс сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
005	Сборочная	1	Взять картер заднего моста с рычагами в сборе	Сборочный стенд, подъемный кран (грузоподъемность ≥ 3 тонн, мягкие стропы),	260
		2	Осмотреть картер заднего моста с		

Продолжение таблицы 6

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
			рычагами в сборе	гидравлический пресс (усилие до 50 тонн, точность $\pm 0,01$ мм), динамометрический ключ с индикатором, специальные оправки, набор торцевых головок, струбцины, индикатор часового, кондуктор для шпилек, толщиномер прокладок, дефектоскоп, термометр инфракрасный, шумомер, лоток для крепежа, устройство для заправки масла, лазерный центровщик. Литиевая смазка Litol-24 – для подшипников, моторное масло SAE 85W-90 – для заправки моста, анаэробный герметик Loctite 574 – для фланцевых соединений, обезжириватель на основе ацетона	
		3	Взять шпильки 50 шт.		
		4	Наживить шпильки 50 шт.		
		5	Завернуть шпильки 50 шт. с моментом 20-30 Н·м		
		6	Взять кольцо 2 шт.		
		7	Осмотреть кольцо		
		8	Установить кольцо на шпильки		
		9	Взять кожух полуоси 2 шт.		
		10	Осмотреть кожух полуоси 2 шт		
		11	Установить кожух полуоси 2 шт		
		12	Взять шайбы 50 шт.		
		13	Установить шайбы 50 шт. на шпильки		
		14	Взять гайки 50 шт.		
		15	Наживить гайки 50 шт.		
		16	Завернуть гайки 50 шт. с моментом 20-30 Н·м		
		17	Взять механизм тормозной в сборе 2 шт.		
		18	Осмотреть механизм тормозной в сборе 2 шт.		
		19	Установить механизм тормозной в сборе 2 шт.		
		20	Взять кольцо 2 шт.		
		21	Осмотреть кольцо 2 шт.		
		22	Установить кольцо 2 шт.		
		23	Взять уплотнение резинометаллическое 2 шт.		
		24	Осмотреть уплотнение резинометаллическое 2 шт.		
		25	Установить уплотнение резинометаллическое 2 шт.		
		26	Взять фланец 2 шт.		

Продолжение таблицы 6

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		27	Осмотреть фланец 2 шт.		
		28	Установить фланец 2 шт.		
		29	Взять уплотнение резинометаллическое 2 шт.		
		30	Осмотреть уплотнение резинометаллическое 2 шт.		
		31	Установить уплотнение резинометаллическое 2 шт.		
		32	Взять фланец 2 шт.		
		33	Осмотреть фланец 2 шт.		
		34	Установить фланец 2 шт.		
		35	Взять кольцо внутреннее 2 шт.		
		36	Осмотреть кольцо внутреннее 2 шт.		
		37	Установить кольцо внутреннее 2 шт.		
		38	Взять полуось 2 шт.		
		39	Осмотреть полуось 2 шт.		
		40	Установить полуось 2 шт.		
		41	Взять кольцо 4 шт.		
		42	Осмотреть кольцо 4 шт.		
		43	Установить кольцо 4 шт.		
		44	Взять ступицу заднего колеса 2 шт.		
		45	Осмотреть ступицу заднего колеса 2 шт.		
		46	Установить ступицу заднего колеса 2 шт.		
		47	Взять шестерню коронную с кожухом 2 шт.		
		48	Осмотреть шестерню коронную с кожухом 2 шт.		
		49	Установить шестерню коронную с кожухом 2 шт.		
		50	Взять гайку подшипников 2 шт.		

Продолжение таблицы 6

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		51	Осмотреть гайку подшипников 2 шт.		
		52	Завернуть гайку подшипников 2 шт. с моментом 60-90 Н·м		
		53	Контролировать установку подшипника		
		54	Взять уплотнитель 2 шт.		
		55	Осмотреть уплотнитель 2 шт.		
		56	Установить уплотнитель 2 шт.		
		57	Взять водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.		
		58	Осмотреть водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.		
		59	Установить водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.		
		60	Взять шайбы 18 шт.		
		61	Установить шайбы 18 шт.		
		62	Взять болты 36 шт.		
		63	Наживить болты 36 шт.		
		64	Завернуть болты 36 шт.		
		65	Взять прокладку крышки водила 2 шт.		
		66	Осмотреть прокладку крышки водила 2 шт.		
		67	Установить прокладку крышки водила 2 шт.		
		68	Взять крышку водила 2 шт.		
		69	Осмотреть крышку водила 2 шт.		
		70	Установить крышку водила 2 шт.		
		71	Взять шайбы 18 шт.		
		72	Установить шайбы 18 шт.		
		73	Взять болты 9 шт.		
		74	Наживить болты 9 шт.		
		75	Завернуть болты 9 шт.		
		76	Заправить ведущий мост маслом		

Продолжение таблицы 6

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
010	Регулировочная	1	Проверить на наличие подтеков масла	Стенд для испытаний	244
		2	Собранный ведущий мост должен быть проверен на стенде или пробегом на автомобиле		

Дополнительные требования при сборке и испытаниях.

Все детали должны быть обезжирены и очищены от стружки, пыли и остатков старой смазки.

Использовать только сертифицированные моющие средства (например, ацетон или уайт-спирит).

Проверить посадочные места под подшипники и шестерни с помощью калибров и индикаторов (допуск: $\pm 0,02$ мм).

Отклонение оси картера от номинала – не более 0,05 мм/м.

Запрессовка подшипников сателлитов проводится с нагревом до 80–100°C (индукционный нагреватель).

Зазор между зубьями шестерён – 0,1–0,15 мм, проверяется щупом или лазерным сканером.

Колодки должны быть притерты (провести 3–5 циклов «торможение-отпускание» на стенде).

Зазор между колодкой и барабаном – 0,2–0,3 мм.

Критические соединения (фланцы, подшипники) затягиваются в три этапа:

- предварительная затяжка – 50% от номинала,
- доворот на 90°,
- окончательный момент (60–90 Н·м для подшипников, 20–30 Н·м для шпилек).

Все болты и гайки обрабатываются анкерным составом Loctite 243.

Контроль состояния крепежа после первых 50 часов эксплуатации.

Предварительные испытания:

- провести гидравлическое тестирование под давлением 0,3 МПа в течение 10 минут (утечки недопустимы);
- контроль точек соединения с помощью течеискателя;
- вращение моста на стенде без нагрузки (30 мин., скорость – 50 об/мин);
- замер вибрации (допуск – $\leq 2,5$ мм/с).

Стендовые тесты:

- циклы нагрузки: 30 мин. при 30 тоннах, 60 мин. при 60 тоннах;
- контроль параметров: температура масла – не выше 90°C, уровень шума – ≤ 85 дБ.

Пробеговые испытания:

- 500 км по полигону с переменной нагрузкой (30–60 тонн);
- проверка люфтов и состояния крепежа после пробега.

Графическая часть выпускной квалификационной работы включает технологическую схему сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.

Выводы по разделу.

Предлагаемый раздел посвящен детальному обоснованию выбора оптимального технологического процесса, расчету затрат рабочего времени на сборочные операции и разработке наглядного представления обновленного технологического процесса сборки модернизированной конструкции заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555. Визуализация этапов реализации предложенного процесса выполнена в виде подробных схем и чертежей, представленных в графическом приложении выпускной квалификационной работы.

5 Безопасность и экологичность проекта

Автомобилестроение – сложная отрасль с многоэтапным производственным циклом, требующая комплексного подхода к вопросам безопасности.

Согласно данным Международной организации труда (ILO):

- ежегодно происходит 2,78 миллионов смертей из-за профессиональных заболеваний;
- 374 миллиона несчастных случаев на производстве с потерей трудоспособности;
- экономические потери достигают 3,94% мирового ВВП.

Структура отраслевых рисков:

- травмы при работе с прессами (42% случаев),
- отравления парами красок (23%),
- поражения током (15%),
- падения с высоты (12%).

В таблице 7 представлен сравнительный анализ по странам (в % от ВВП).

Таблица 7 – Сравнительный анализ затрат на несчастные случаи (% ВВП) по странам

Страна	Затраты (% ВВП)	Особенности регулирования
Германия	2,8-3,2%	Система обязательного страхования Berufsgenossenschaften
США	3,1-3,5%	Workers' compensation и судебные иски
Япония	2,6-2,9%	Пожизненные компенсации при профзаболеваниях
Россия	3,5-4,1%	Высокий уровень скрытого травматизма
Бразилия	4,2-4,8%	Неформальный сектор до 35% занятости

Типичные затраты на 1 тяжелый несчастный случай составляют:

- Европа: 250000-400000 евро;
- США: 500000-1200000 долларов (с учетом судебных исков);
- Китай: 800000-1500000 йен.

В дипломном проекте необходимо учитывать специфические риски и современные тенденции отрасли.

Рассмотрим особенности производственной и экологической безопасности в автомобилестроении.

Технологические риски:

- работа с прессовым оборудованием (риск травматизма),
- сварочные операции (опасность возгораний, поражения током),
- окрасочные работы (взрывоопасность, токсичные испарения),
- конвейерные линии (движущиеся механизмы).

К мерам обеспечения безопасности относятся:

- автоматизация опасных процессов (роботизированная сварка и покраска; автоматические прессы с оптической защитой; конвейеры с датчиками присутствия персонала);
- системы контроля (мониторинг концентрации ЛВЖ в окрасочных цехах; термоконтроль электрооборудования; видеонаблюдение за опасными зонами);
- защита персонала (специальные СИЗ для разных участков (термостойкая одежда для сварщиков, респираторы для маляров); антистатические комплекты для работы с электроникой; системы принудительной вентиляции).

Основные источники воздействия на экологическую безопасность:

- выбросы лакокрасочных материалов,
- сточные воды гальванических производств,
- отходы полимерных материалов,
- шумовое воздействие испытательных стендов.

Таким образом, современное автомобилестроение требует интегрированного подхода к безопасности, сочетающего технические инновации, экологическую ответственность и экономическую эффективность.

В долгосрочной перспективе каждый рубль, вложенный в профилактику профессиональных рисков, приносит предприятию ориентировочно 3-5 рублей совокупной выгоды за счет синергетического эффекта от улучшения всех ключевых показателей деятельности.

5.1 Структурно-функциональный анализ

Для детального исследования сборочного цикла, либо технологического процесса обслуживания, включая его конструктивные параметры и организационно-технические условия, необходимо разработать технологический паспорт (таблица 8).

Таблица 8 – Технологический паспорт технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

Технологический процесс	Технологическая операция, вид выполняемых работ	Наименование должности работника, выполняющего технологический процесс, операцию	Оборудование, техническое устройство, приспособление	Материалы, вещества
Обслуживание модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555	1 Проверка уровня масла в картере заднего моста и колесной передаче. 2 Регулировка зазоров в подшипниках ведущей шестерни и дифференциала. 3 Регулировка зацепления конических шестерен и зазора между головкой упорного болта и торцом ведущей шестерни	Слесарь по ремонту автомобилей пятого разряда	Сборочный стенд, подъемный кран (грузоподъемность ≥ 3 тонн, мягкие стропы), гидравлический пресс (усилие до 50 тонн, точность $\pm 0,01$ мм), динамометрический ключ с индикатором, специальные оправки, набор торцевых головок, трубины, индикатор часового, кондуктор для шпилек	Литиевая смазка Litol-24 – для подшипников, моторное масло SAE 85W-90 – для заправки моста, анаэробный герметик Loctite 574 обезжириватель на основе ацетона

Данный документ является обязательным требованием для:

- технически сложных изделий,
- продукции, подлежащей обязательной сертификации,
- оборудования с повышенными требованиями безопасности.

Функциональное назначение технологического паспорта:

- систематизация производственных данных – фиксация ключевых параметров сборки;
- обеспечение контроля качества – регламентация технологических норм и допусков;
- оптимизация технического обслуживания – упрощение диагностики и ремонта;
- повышение безопасности эксплуатации – четкие инструкции по монтажу и обслуживанию

Преимущества оформления паспорта:

- упрощение процедур сертификации и аудита,
- снижение рисков производственного брака,
- повышение прозрачности технологических процессов,
- обеспечение соответствия международным стандартам (ISO, ГОСТ, ТР ТС).

Таким образом, технологический паспорт служит не только формальным требованием, но и практическим инструментом управления качеством на всех этапах жизненного цикла изделия.

5.2 Идентификация профессиональных рисков

Комплексная оценка производственных угроз является ключевым элементом системы охраны труда, направленной на сохранение здоровья персонала и устойчивую работу предприятия.

Реализация данного процесса требует последовательного выполнения четырех взаимосвязанных этапов:

- выявление потенциальных угроз: комплексное обследование рабочих мест на предмет наличия физических факторов (шум, вибрация, излучение), химических агентов (токсичные вещества, аэрозоли), биологических опасностей (микроорганизмы, аллергены), психофизиологических нагрузок (стресс, монотонность операций), эргономических проблем (неудобные позы, чрезмерные нагрузки);
- количественная и качественная оценка угроз: расчет вероятности возникновения опасных ситуаций; прогнозирование возможного ущерба здоровью сотрудников; ранжирование рисков по степени значимости;
- разработка защитных мер: внедрение многоуровневой системы защиты, включающей технические усовершенствования (модернизация оборудования); организационные изменения (оптимизация рабочих процессов); средства индивидуальной защиты; целевые программы обучения персонала; периодические контрольные проверки;
- динамический контроль и совершенствование: регулярный аудит условий труда; анализ эффективности принятых мер; своевременная корректировка защитных мероприятий.

Практическая значимость систематической оценки производственных рисков заключается в:

- создании безопасной рабочей среды,
- предупреждении профессиональных заболеваний,
- снижении экономических потерь от несчастных случаев,
- повышении производственной дисциплины,
- обеспечении соответствия требованиям регуляторных органов.

Реализация данного подхода позволяет трансформировать систему охраны труда из формального требования в действенный инструмент повышения эффективности производства.

В представленной таблице 9 систематизированы данные по выявленным профессиональным рискам, характерным для процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 представлена в таблице 9.

Таблица 9 – Результаты идентификации профессиональных рисков

Выполняемая работа	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
<p>«1 Проверка уровня масла в картере заднего моста и колесной передаче. 2 Регулировка зазоров в подшипниках ведущей шестерни и дифференциала. 3 Регулировка зацепления конических шестерен и зазора между головкой упорного болта и торцом ведущей шестерни</p>	Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях деталей самосвала	Элементы конструкции самосвала
	Запыленность и загазованность воздуха	Поднимающаяся пыль от инструмента, ног, транспорта
	Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования	Электроинструмент, стенд для обкатки ведущих мостов, станки
	Возможность поражения электрическим током	Электроинструмент, стенд для обкатки ведущих мостов
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс» [32].
	«Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой. Напряжение зрительных анализаторов	Однообразно повторяющиеся технологические операции. [7]. Операции требующие повышенного внимания и точности»
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	

Риск-анализ осуществлён в строгом соответствии с рекомендациями стандарта ГОСТ 12.0.230-2007. Представленная таблица чётко

демонстрирует взаимосвязь технологических процессов с потенциальными опасностями, позволяя оперативно выявлять проблемные зоны и разрабатывать эффективные меры профилактики, направленные на снижение риска возникновения профзаболеваний и производственного травматизма среди сотрудников предприятия.

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

Для эффективного снижения профессиональных рисков применяется комплекс технических, организационных и индивидуальных мер.

Технические решения:

- автоматизация опасных процессов (роботизированные линии),
- установка защитных ограждений и блокировок,
- внедрение систем принудительной вентиляции,
- использование инструментов с антивибрационными свойствами.

Организационные мероприятия:

- оптимизация режимов труда и отдыха,
- введение ротации персонала на вредных участках,
- разработка четких регламентов безопасной работы,
- организация производственного контроля.

Средства индивидуальной защиты:

- специализированные костюмы (термостойкие, химически стойкие),
- антистатические комплекты,
- респираторы с многоуровневой фильтрацией,
- защитные каски с системой вентиляции.

Инженерные разработки:

- системы дистанционного управления,
- датчики контроля опасных факторов,
- аварийные остановки оборудования,

- звуковая и световая сигнализация.

Профилактические программы:

- медицинские осмотры,
- специальная оценка условий труда,
- тренинги по безопасности,
- психологическая поддержка.

Особое внимание уделяется:

- внедрению цифровых систем мониторинга,
- использованию эргономичного инструмента,
- применению экологичных материалов,
- совершенствованию технологических процессов.

Реализация данных мер позволяет:

- снизить уровень травматизма на 40-60%,
- уменьшить профзаболеваемость,
- повысить производительность труда,
- обеспечить соответствие международным стандартам.

Эффективность применяемых методов регулярно оценивается через:

- анализ показателей травматизма,
- медицинскую статистику,
- результаты специальной оценки условий труда,
- опросы сотрудников.

«Для эффективного решения обозначенных проблем необходимо:

- применять нормативно-обоснованные меры,
- реализовывать адресные мероприятия,
- обеспечивать системный контроль» [3].

Нормативно-обоснованные меры по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	<p>Организационно-технические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии 	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля»	<p>Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания.</p> <p>Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией.</p> <p>Санитарно-гигиенические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования; – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; <p>обеспечение дистанционного управления оборудованием</p>	<p>Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].</p>
«Повышенный уровень шума»	<p>Мониторинг здоровья работников:</p> <ul style="list-style-type: none"> – систематическое проведение аудиометрии для сотрудников шумных цехов; – создание индивидуальных аудиограмм для отслеживания динамики слуха; – включение исследований в программу периодических медосмотров. <p>Инструктаж по:</p> <ul style="list-style-type: none"> – правилам эксплуатации СИЗ органов слуха; – технике подбора и применения противозумных устройств; – методам проверки плотности прилегания защитных средств. <p>Техническая модернизация:</p> <ul style="list-style-type: none"> – плановый контроль уровня шума оборудования – внедрение шумопоглощающих 	<p>Защитные противозумные наушники, беруши противозумные» [20].</p>

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> – технологий (вибрационные демпферы, звукоизолирующие кожухи, акустические экраны); – приоритетная замена устаревшего шумного оборудования. <p>Организация рабочего процесса:</p> <ul style="list-style-type: none"> – введение регламентированных «тихих пауз»; – создание зон акустической разгрузки; – оптимизация графика работы с учетом шумовой нагрузки. <p>Тренинги по:</p> <ul style="list-style-type: none"> – техникам стрессоустойчивости; – методам звуковой релаксации; – профилактике слухового утомления. <p>Консультации корпоративного психолога</p> <p>Инженерные решения:</p> <ul style="list-style-type: none"> – установка звукопоглощающих панелей; – применение антивибрационных креплений; – модернизация вентиляционных систем; – использование шумоподавляющих материалов 	
«Возможность поражения электрическим током	<p>Образовательные мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – проведение специализированных курсов по принципам безопасной эксплуатации электроустановок, методам идентификации опасных участков, правилам применения электротехнических средств; – организация регулярных тематических семинаров с разбором реальных случаев <p>Практическая подготовка</p> <ul style="list-style-type: none"> – ежеквартальные тренировки по алгоритмам действий в 	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<p>аварийных ситуациях, технике безопасного отключения оборудования, особенностям работы под напряжением;</p> <ul style="list-style-type: none"> – внедрение системы ежегодной аттестации электротехнического персонала <p>Техническая защита:</p> <ul style="list-style-type: none"> – оснащение рабочих мест современными устройствами защитного отключения, диэлектрическими коврами и инструментами, сигнализаторами напряжения, заземляющими устройствами нового поколения. <p>Профилактический контроль:</p> <ul style="list-style-type: none"> – внедрение системы планово-предупредительных ремонтов: – ежемесячный осмотр силовых линий, – термографический контроль соединений, – диагностика изоляции электрооборудования, – ведение электронного журнала технического состояния. <p>Административный надзор:</p> <ul style="list-style-type: none"> – реализация трехступенчатой системы контроля, – ежедневный осмотр ответственным лицом, – еженедельная проверка начальником участка, – месячная комиссия инспекция, – автоматизированная система учета нарушений <p>Медицинское сопровождение:</p> <ul style="list-style-type: none"> – углубленные медосмотры для электротехперсонала: – проверка нервной системы – контроль сердечно-сосудистых показателей тесты на скорость реакции 	

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
«Отсутствие или недостаток естественного света»	<p>Оптимальное расположение рабочих мест с акцентом на естественный свет (размещение столов и зон активности рядом с окнами или в хорошо освещённых участках).</p> <p>Использование прозрачных конструкций для свободного проникновения дневного света (стеклянные перегородки, свето пропускающие стены или другие решения, обеспечивающие равномерное освещение без искусственных источников)</p>	—
«Напряжение зрительных анализаторов. Статические нагрузки, связанные с рабочей позой»	<p>Оздоровительно-профилактические мероприятия:</p> <ul style="list-style-type: none"> – медицинские осмотры (предварительный (при поступлении на работу) и периодические (в течение трудовой деятельности) и других медицинских осмотров согласно ст. 212 ТК РФ; – правильное оборудование рабочих мест, обеспечение технологической и организационной оснащённости средствами комплексной и малой механизации; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [27]. 	—
Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> – чередование задач и ротация видов деятельности, периодическая смена рабочих операций для предотвращения однообразия и поддержания вовлечённости; – внедрение элементов автономности и разнообразия, предоставление сотрудникам возможности влиять на порядок выполнения задач и варьировать методы работы; 	—

Продолжение таблицы 10

Профессиональный риск	Мероприятия для уменьшения профессиональных рисков	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> – регламентированные перерывы и микропаузы, введение коротких перерывов для отдыха и смены активности в течение рабочего дня; – использование технологических решений, автоматизация рутинных процессов и применение интерактивных систем для повышения вариативности труда; – психологическая разгрузка и мотивация, организация зон отдыха, проведение мини-тренингов или использование геймификации для поддержания интереса; – оптимизация эргономики рабочего места, создание комфортных условий, снижающих физическое и эмоциональное напряжение (например, регулируемая мебель, динамическое освещение). <p>Мероприятия подбираются с учетом специфики труда и рекомендаций по охране здоровья (СНиП, СанПиН, ТК РФ).</p>	

Данный подход гарантирует не только формальное соблюдение требований охраны труда, но и создание по-настоящему безопасной производственной среды.

Все мероприятия должны быть задокументированы и включены в систему управления охраной труда предприятия.

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

План пожарной безопасности – это документ, регламентирующий порядок действий при пожаре, эвакуации людей и материальных ценностей, а также меры по предотвращению возгораний.

Этот план должен быть доступен всем сотрудникам и регулярно пересматриваться.

План пожарной безопасности содержит:

- ответственных за пожарную безопасность;
- профилактику (проверки оборудования, хранение горючих материалов);
- порядок действий при пожаре: оповещение (сигнализация, вызов МЧС); эвакуация (схемы путей, сборные пункты); тушение (огнетушители, пожарные краны);
- проверки и обновления (регулярные тренировки, корректировка плана).

Производим анализ потенциальных источников пожаров и определяем опасные факторы, способные их вызвать (таблица 11).

Таблица 11 – Идентификация классов и опасных факторов пожара

Участок	Оборудование	Класс пожара	Опасные факторы пожара	Сопутствующие проявления факторов пожара
«Агрегатный участок»	Технологическое оборудование, применяемое на агрегатном участке	В	Пламя и искры, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения	Образующиеся в процессе пожара осколки, части разрушившихся строительных зданий, инженерных сооружений, оборудования, технологических установок» [24].

Классификация пожарной техники (по ГОСТ Р 53325-2012 и нормам МЧС) включает следующие основные категории:

- первичные средства пожаротушения: огнетушители (пенные, порошковые, углекислотные, хладоновые); пожарные щиты и инвентарь (вёдра, лопаты, ящики с песком, кошмы (противопожарные полотна), багры, топоры, ломы);
- пожарные автомобили: основные (АЦ – автоцистерны, АНР – насосно-рукавные); специальные (автолестницы, дымоудаление, аварийно-спасательные);
- пожарные поезда, суда, вертолёты (для спецобъектов);
- мотопомпы (переносные насосы для воды);
- установки пожаротушения: автоматические системы (водяные (спринклерные, дренчерные), газовые, порошковые, аэрозольные);
- пожарные краны и рукава (в зданиях);
- пожарная сигнализация и связь (извещатели (дымовые, тепловые, ручные));
- приёмно-контрольные приборы (ПКП);
- системы оповещения (громкоговорители, световые табло);
- средства индивидуальной защиты (СИЗ) для пожарных: костюмы, каски, дыхательные аппараты (ДАСВ), теплоотражающие экраны; для эвакуируемых: противогазы, самоспасатели (например, «Феникс»);
- специальная техника: роботы-пожарные (для АЭС, химических объектов); термокамеры и тепловизоры для поиска очагов.

«Выполним классификацию средств пожаротушения, применяемых для данного технического объекта:

- первичные средства пожаротушения – внутренний пожарный кран, щит пожарный с песком и инвентарем (лом, багор пожарный, топор, комплект для резки электропроводов, лопата совковая, полотно асбестовое), универсальный огнетушитель порошковый ОП-10 – 1 шт., воздушно-пенный огнетушитель ОВП-12 – 1 шт.;

- мобильные средства пожаротушения предназначены для тушения пожаров с возможностью перемещения (мотопомпа для тушения возгораний);
- стационарные средства пожаротушения состоят из трубопроводов, в случае с наполнением из воды, пара или пены. Система трубопроводов соединяет автоматические устройства и оборудование. Приборы реагируют на повышенную температуру, сигнал передается на датчики. Затем происходит включение насосов, подающих воду» [16].

Разработка планов действий по пожарной безопасности – обязательная процедура для организаций, зданий и сооружений, регламентированная ФЗ №69 «О пожарной безопасности» и Правилами противопожарного режима в РФ.

Цели разработки планов:

- предотвращение пожаров (профилактика нарушений);
- обеспечение безопасности людей (эвакуация, первая помощь);
- минимизация ущерба (быстрое тушение, защита имущества);
- соответствие закону (избежание штрафов и приостановки деятельности).

Рассмотрим основные виды планов по пожарной безопасности.

План эвакуации при пожаре состоит из графической части (схема путей эвакуации, выходы, места огнетушителей) и текстовой инструкции (действия персонала, вызов МЧС, порядок отключения оборудования). Его разработка обязательна для всех общественных зданий, офисов, школ, больниц.

Инструкция о мерах пожарной безопасности включает в себя Правила содержания территории, электрооборудования, хранения ЛВЖ (легковоспламеняющихся жидкостей), порядок проведения огневых работ, ответственных лиц и их обязанности.

План противопожарных мероприятий содержит:

- регулярные проверки (электропроводки, систем сигнализации);

- обучение персонала (инструктажи, тренировки);
- техническое обслуживание средств пожаротушения.

План ликвидации аварийных ситуаций оформляется для опасных объектов (АЗС, склады ГСМ, химические производства). Включает взаимодействие с МЧС, локализацию возгораний, защиту окружающей среды.

Разработка планов состоит из 5 этапов:

- анализ объекта (категория пожарной опасности, особенности здания);
- определение рисков (где возможны возгорания, слабые места);
- разработка документов (схемы, инструкции, приказы);
- согласование (при необходимости – с МЧС или экспертами);
- обучение персонала и проведение тренировок.

План мероприятий по обеспечению пожаробезопасности при проведении сервисного обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 детально описан в таблице №12.

Таблица 12 – Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
«Наличие сертификата соответствия продукции требованиям пожарной безопасности»	Все приобретаемое оборудование должно в обязательном порядке иметь сертификат качества и соответствия» [15]
«Обучение правилам и мерам пожарной безопасности в соответствии с Приказом МЧС России 645 от 12.12.2007»	Проведение обучения, а также различных видов инструктажей по тематике пожарной безопасности под роспись» [22]
«Проведение технического обслуживания, планово-предупредительных ремонтов, модернизации и реконструкции оборудования»	Выполнение профилактики оборудования в соответствии с утвержденным графиком работ. Назначение приказом руководителя лица, ответственного за выполнение данных работ» [24]
«Наличие знаков пожарной безопасности и знаков безопасности по охране труда по	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда,

Продолжение таблицы 12

Мероприятия, направленные на предотвращение пожарной опасности и обеспечению пожарной безопасности	Предъявляемые требования к обеспечению пожарной безопасности
ГОСТ	установленные в соответствии с нормативно-правовыми актами РФ» [15].
«Рациональное расположение производственного оборудования без создания препятствий для эвакуации и использованию средств пожаротушения	Эвакуационные пути в пределах помещения должны обеспечивать безопасную, своевременную и беспрепятственную эвакуацию людей
Обеспечение исправности, проведение своевременного обслуживания и ремонта источников наружного и внутреннего противопожарного водоснабжения	Не допускается использование неисправных средств пожаротушения также средств с истекшим сроком действия» [31]
«Разработка плана эвакуации при пожаре в соответствии с требованиями статьи 6.2 ГОСТ Р 12.2.143–2009, ГОСТ 12.1.004–91 ССБТ	Наличие действующего плана эвакуации при пожаре, своевременное размещение планов эвакуации в доступных для обозрения местах
Размещение информационного стенда по пожарной безопасности	Наличие средств наглядной агитации по обеспечению пожарной безопасности» [15]

Рассмотрим обязанности работодателя по пожарной безопасности.

Контроль горючих отходов: не допускать скопления легковоспламеняющихся материалов, включить регулярную уборку в систему противопожарных мер. Обучение персонала: четко разъяснять сотрудникам риски, связанные с используемыми материалами и технологическими процессами; вводный инструктаж для новых работников; ознакомить каждого нового сотрудника с разделами плана пожарной безопасности, которые касаются его личной защиты в ЧС.

Техническое обслуживание оборудования: проводить плановые проверки и ремонт теплогенерирующих установок, чтобы исключить риск возгорания.

5.5 Обеспечение экологической безопасности

Экологическая безопасность – это комплекс мер, направленных на сохранение природных систем и предотвращение их разрушения в результате человеческой деятельности.

Ключевые аспекты:

- защита экосистем от загрязнения, истощения и необратимых изменений;
- рациональное использование ресурсов (воды, почвы, воздуха, биоразнообразия);
- минимизация антропогенного воздействия на окружающую среду.

Основные направления:

- контроль загрязнений (промышленные выбросы, отходы, химические вещества);
- сохранение биоразнообразия (защита редких видов, восстановление лесов);
- устойчивое развитие (баланс между экономикой и экологией).

Экологическая безопасность – не просто синоним охраны природы, а системный подход к гармоничному взаимодействию человека и окружающей среды.

Осуществляем выявление потенциально вредных и опасных экологических воздействий, возникающих в ходе технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555. Полученные сведения систематизируем в сводной таблице №13, предназначенной для последующего анализа и разработки мер экологической безопасности.

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

Технологический процесс	Антропогенное воздействие на окружающую среду:		
	атмосферу	гидросферу	литосферу
«Обслуживание модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555»	Мелкодисперсная пыль в воздушной среде, испарения смазочно-охлаждающей жидкости с поверхности новых деталей.	Масло трансмиссионное	Спецодежда пришедшая в негодность, твердые бытовые / коммунальные отходы коммунальный мусор), металлический лом, стружка» [11].

Последствия игнорирования негативных факторов

- ухудшение здоровья населения (респираторные, онкологические заболевания),
- деградация экосистем (исчезновение видов, опустынивание),
- экономические потери (ущерб сельскому хозяйству, туризму),
- климатические катастрофы (учащение экстремальных погодных явлений).

Идентификация вредных экологических факторов – первый шаг к разработке стратегий устойчивого развития и снижению антропогенной нагрузки на природу.

Для минимизации вреда от пыли и СОЖ требуется комплексный подход:

- технический – фильтрация и модернизация оборудования,
- организационный – обучение персонала, контроль норм,
- экологический – правильная утилизация отходов.

Составляем сводную таблицу 14 с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ.

Таблица 14 – Сводная таблица с мероприятиями по минимизации вреда от пыли и СОЖ

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
Мелкодисперсная пыль	Фильтрация: <ul style="list-style-type: none">– циклоны – грубая очистка крупных частиц (эффективность ~70–80%).– рукавные фильтры – задерживают частицы до 1 мкм (эффективность 95–99%).– электрофильтры – для субмикронной пыли (используют коронный разряд).– мокрые скрубберы – улавливание пыли водой (актуально для литейных цехов).	–
Испарения СОЖ и масляных аэрозолей	Маслоуловители (коалесцентные фильтры) – отделяют масло от воздуха	ПДК для металлической пыли – 0,5–10 мг/м ³ (зависит от металла).

Продолжение таблицы 14

Вредный фактор	Способ устранения	Примечание
	Угольные адсорбенты – для летучих органических соединений (ЛОС). Плазменно-каталитические очистители – разложение паров СОЖ на СО ₂ и Н ₂ О	ПДК для масляных аэрозолей – 5 мг/м ³ (СанПиН 1.2.3685-21).
Отходы различного типа: металлическая стружка и лом; промасленная ветошь, спецодежда; твердые коммунальные отходы (ТКО)	Переплавка на металлургических заводах. Обезжиривание + сжигание в печах. Сортировка + захоронение/переработка. Регенерация или сжигание в цементных печах	–
Опасные отходы	Масла (код 4 13 101–4 13 110). Промасленные материалы (код 4 13 201–4 13 204) – класс опасности 3–4	–

«Мероприятия по минимизации воздействия пыли и смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) разрабатываются для защиты здоровья работников, охраны окружающей среды и повышения эффективности производственных процессов» [3].

Выводы по разделу.

В рамках обеспечения производственной и экологической безопасности проекта выполнены следующие работы:

- составлен технологический паспорт процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555;
- проведена оценка профессиональных рисков с разработкой эффективных методов их минимизации;
- определен класс пожарной опасности производства, выявлены ключевые факторы возгорания и предложены превентивные меры;
- проанализировано воздействие на окружающую среду при технологическом процессе обслуживания оборудования, разработан комплекс природоохранных мероприятий.

6 Экономическая эффективность проекта

«Для определения финансовых затрат на модернизацию заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 воспользуемся формулой:

$$C_{\text{кон}} = C_{\text{к.д}} + C_{\text{о.д}} + C_{\text{сб.п}} + C_{\text{п.д}} + C_{\text{о.н}}, \quad (95)$$

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

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

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

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

$C_{\text{о.н}}$ – общепроизводственные накладные расходы на изготовление конструкции, р.» [15].

Настоящая конструкторская разработка направлена на модернизацию заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 и не предусматривает производство новых корпусных деталей, поэтому $C_{\text{к.д}} = 0$ р.

«Затраты на изготовление оригинальных деталей определяем по формуле:

$$C_{\text{о.д}} = C_{\text{прн}} + C_{\text{м}}, \quad (96)$$

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

$C_{\text{м}}$ – стоимость материала заготовок для изготовления оригинальных деталей, р.» [15].

«Зарботную плату рассчитываем по формуле:

$$C_{\text{ИП}} = t \cdot C_{\text{ч}} \cdot k_t, \quad (97)$$

где t – средняя трудоемкость на изготовление отдельных деталей, в данной конструкции модернизация осуществляется путем замены 3 двухрядных сателлитов на 4 сателлита, которые необходимо изготовить, трудоёмкость на изготовление сателлита – 2,3 чел.-ч.

$C_{\text{ч}}$ – часовая ставка рабочих, отчисляемая по среднему разряду, р./ч;

k_t – коэффициент, учитывающий доплаты к основной зарплате, принимаем равным 1,030» [23].

«Тарифная ставка определяется на основании минимального размера оплаты труда (далее – МРОТ). Для Самарской области с 1 января 2025 года МРОТ составляет 23562 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $23562/(7 \cdot 21) = 160,28$ р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80» [14].

Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $160,28 \cdot 1,42 = 227,6$ р./ч.

$$C_{\text{ИП}} = 9,2 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 2156,74 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

$$C_{\text{Д}} = \frac{(5 \dots 12) \cdot C_{\text{ИП}}}{100}, \quad (98)$$

$$C_{\text{Д}} = \frac{10 \cdot 2156,74}{100} = 215,67 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{СОЦ}} = \frac{30 \cdot (C_{\text{ПП}} + C_{\text{Д}})}{100}, \quad (99)$$

$$C_{\text{СОЦ}} = \frac{30 \cdot (2156,74 + 215,67)}{100} = 711,72 \text{ р.},$$

$$C_{\Sigma\text{ПП}} = 2156,74 + 215,67 + 711,72 = 3084,13 \text{ р.}$$

В таблице 15 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 15 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	2156,74
Дополнительная заработная плата	215,67
Начисления на заработную плату	711,72
Итого:	3084,13

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

$$C_M = C \cdot Q_3, \quad (100)$$

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

Q_3 – масса заготовки, кг» [20].

В таблице 16 представлена стоимость материала для изготовления оригинальных деталей.

Таблица 16 – Стоимость материала заготовок на изготовление оригинальных деталей

Наименование детали	Материал	Количество, шт.	Общая масса материала, кг	Цена за 1 кг, руб.	Сумма, руб.
Сателлит	Сталь 20ХН3А	4	50	83,5	4175
Итого:	–	–	–	–	4175

$$C_M = 50 \cdot 83,5 = 4175 \text{ р.}$$

$$C_{од} = 2156,75 + 4175 = 6331,75 \text{ р.}$$

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

$$C_{сб.п} = C_{сб} + C_{д.сб} + C_{соц.сб}, \quad (101)$$

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

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

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

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

$$C_{сб} = T_{сб} \cdot C_{д.сб} \cdot k_t, \quad (102)$$

где $T_{сб}$ – нормативная трудоемкость на сборку конструкции, чел.-ч» [23].

«Значение определяем по формуле:

$$T_{сб} = k_c \cdot \Sigma t_{сб}, \quad (103)$$

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

k_c – коэффициент, учитывающий непредусмотренные работы, 1,1...1,5» [25].

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

$$T_{CB} = 1,25 \cdot 4 = 6 \text{ чел.-ч.}$$

Тогда заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке, определяется:

$$C_{CB} = 6 \cdot 227,6 \cdot 1,03 = 1406,57 \text{ р.,}$$

$$C_{д.СБ} = 0,1 \cdot 1406,57 = 140,66 \text{ р.,}$$

$$C_{СОЦ.СБ} = 0,3 \cdot (1406,57 + 140,66) = 464,17 \text{ р.}$$

$$C_{СБ.П} = 1406,57 + 140,66 + 464,17 = 2011,4 \text{ р.}$$

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

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

Значение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	1406,57
Дополнительная заработная плата	140,66
Страховые взносы в фонды	464,17
Итого	2011,4

«Общепроизводственные накладные расходы на изготовление приспособления определяем по формуле:

$$C_{ОН} = \frac{(C_{ПР}' \cdot R_{ОН})}{100}, \quad (104)$$

где $C_{ПР}'$ – основная заработная плата производственных рабочих, участвующих в изготовлении, р.;

$R_{ОН}$ – процент общепроизводственных накладных расходов, %»

[26].

$$C'_{\text{ПР}} = (C_{\text{ПР}} + C_{\text{СБ}}). \quad (105)$$

Подставив числовые значения в формулы (104, 105), получим:

$$C'_{\text{ПР}} = 2156,74 + 1406,57 = 3563,31 \text{ р.}$$

$$C_{\text{ОН}} = \frac{(3563,31 \cdot 15)}{100} = 534,5 \text{ р.}$$

Чтобы завершить сборку указанной конструкции, потребуется дополнительно закупить следующие комплектующие: уплотнительные прокладки, трансмиссионное масло специально для мостов и крепежные изделия (метизы).

Перечень покупных деталей представлен в таблице 18.

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

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Прокладка	4	560	2240
Болт	10	39,2	392
Гайка	10	28	280
Шайба	10	16,8	168
Масло Mobilube GX 85W/90А в ведущий мост (20 л.)	1	19824	19824
Итого:			22904

$$C_{\text{ИД}} = 2240 + 392 + 280 + 168 + 19824 = 22904 \text{ р.}$$

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

$$C_{\text{КОН}} = 0 + 3084,13 + 2011,4 + 543,5 + 22904 = 28534,03 \text{ р.}$$

Таблица 19 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	0
Затраты на изготовление оригинальных деталей	3084,13
Затраты на сборку	2011,4
Общепроизводственные накладные расходы	543,5
Стоимость покупных изделий (деталей)	22904
Итого:	28534,03

Итоговая сумма расходов на проведение модернизации заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 составляет 28534,03 рублей. Полная стоимость готового комплекта с учётом установки на транспортное средство, включая поправочный коэффициент монтажа (1,125), достигает 32 100,78 рубля.

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

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

$$\mathcal{E}_Г = C_{ПР} - C_{КОН}, \quad (106)$$

где $C_{ПР}$ – стоимость прототипа, р.» [15];

$$\mathcal{E}_Г = 55000 - 32100 = 22900 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

$$O_{ОК} = \frac{C_{КОН}}{\mathcal{E}_Г}, \quad (107)$$

$$O_{ОК} = \frac{32100}{22900} = 1,4 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

$$\mathcal{E}_{\text{ЭФ}} = \mathcal{E}_Г - 0,15 \cdot C_{\text{КОН}} \quad (108)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ЭФ}} = 22900 - 0,15 \cdot 32100 = 18085 \text{ р.}$$

В таблице 20 представлены основные показатели проекта.

Таблица 20 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	55000	32100
Экономия от снижения трудоемкости при внедрении конструкции	р.	-	22900
Экономический эффект	р.	-	18085
Срок окупаемости	год	-	1,4

Выводы по разделу.

Подводя итог выполненного раздела, можно утверждать, что проект является эффективным с экономической точки зрения, в том числе по следующим причинам.

- быстрая окупаемость – 1,4 года при общих затратах 32100 р., что соответствует отраслевым нормативам для подобных проектов;
- предполагаемое снижение эксплуатационных расходов – экономия ~23500 р./год за счёт сокращения затрат на ТО и простоев;
- долгосрочная выгода – повышение надёжности и безопасности узлов, снижение риска аварийных простоев;
- масштабируемость – для предприятий с парком от 10 самосвалов эффект усиливается за счёт оптовых закупок и снижения себестоимости.

Для дальнейшего развития проекта:

- внедрить систему мониторинга состояния мостов для оптимизации обслуживания;
- рассмотреть возможность тиражирования проекта на другие модели карьерной техники.

Заключение

В рамках дипломного проекта проведена модернизация заднего моста карьерного самосвала грузоподъемностью 60 тонн с целью повышения его надёжности, долговечности и эффективности. Актуальность работы обусловлена высокой нагрузкой на трансмиссию карьерной техники и необходимостью снижения эксплуатационных затрат.

По результатам проведённого тягово-динамического расчёта определены основные технические показатели трансмиссии карьерного самосвала рассчитаны: передаточные отношения, частоты вращения валов, величина передаваемых крутящих моментов и мощность, развиваемая насосным и турбинным колёсами гидротрансформатора.

Геометрический расчёт зубчатых передач редуктора позволил определить оптимальные параметры колёс, после чего выполнена верификация их прочности, включая анализ оси ведущего моста. Расчёты подтвердили достаточный запас прочности в критических сечениях, что свидетельствует о корректности выбора конструктивных решений.

Разработан технологический процесс сборки модернизированного редуктора с оценкой трудоёмкости операций. Также рассмотрены аспекты безопасности и экологичности проекта.

При модернизации учтены требования:

- охраны труда (снижение вибрации и шума, безопасность обслуживания);
- промышленной экологии (применение экологичных смазочных материалов, минимизация потерь на трение).

Экономический анализ показал целесообразность модернизации: затраты составили 32100 р. при сроке окупаемости 1,4 года, что соответствует для подобных конструкций.

Проект демонстрирует техническую реализуемость, надёжность и экономическую эффективность модернизации.

Список используемой литературы и используемых источников

1. Автомобили БелАЗ [Текст]: [Устройство и техн. обслуживание] / З. Л. Сироткин, А. Н. Казарез, М. Ф. Шумский и др. Москва: Транспорт, 1969. 397 с.
2. Автомобили-самосвалы БелАЗ-540А, 7540, 75401, 75402, 548А, 754В, 75482, одноосный тягач БелАЗ-531 и их модификации] = Autobasculantele БелАЗ-540А, 7540, 75401, 75402, 548А, 7548, 75482, automobluл de tracțiune cu un sin-gur ax БелАЗ-531 și modificările lor: Autobasculantele БелАЗ-540А, 7540, 75401, 75402, 548А, 7548, 75482, automobluл de tracțiune cu un sin-gur ax БелАЗ-531: [руководство по эксплуатации] / СССР, Автоэкспорт. Москва : Внешторгиздат, 1984. 300 с.
3. Автомобильный транспорт на карьерах. Конструкции. Эксплуатация. Расчет [Текст]: учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Открытые горные работы" направления подготовки «Горное дело» и по специальности «Горные машины и оборудование» направления подготовки «Технологические машины и оборудование» / В. С. Квагинидзе [и др.]. Москва: Горная книга, 2011. 405 с.
4. Белоусов Б. Н. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности / Б.Н. Белоусов, С.Д. Попов. Москва: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006 (М.: Типография "Наука"). 727 с.
5. Вахламов В. К. Техника автомобильного транспорта: Подвиж. состав и эксплуатац. свойства: Учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Организация перевозок и упр. на трансп. (автомобил. трансп.) направления подгот. дипломир. специалистов «Организация перевозок и упр. на трансп.» / В.К. Вахламов. Москва: Academia, 2004 (ГУП Сарат. полигр. комб.). 521 с.
6. Галимзянов, Р. К. Теория автомобиля: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальности 190201 – «Автомобиле- и

тракторостроение» / Р. К. Галимзянов; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Южно-Уральский гос. ун-т, Каф. «Автомобили». Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2007. 219 с.

7. Галкин В. И. Транспортные машины: учебник для вузов. Москва: Издательство «Горная книга»: Издательство МГГУ, 2010. 587 с.

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

9. ГОСТ 5.21-72 Автомобили-самосвалы БелАЗ-540А, БелАЗ-540, их модификации и исполнения. Требования к качеству аттестованной продукции = Dump trucks БелАЗ-540А, БелАЗ-540, derivatives and versions. Requirements for quality of certified production : Dump trucks БелАЗ-540А, БелАЗ-540, derivatives and versions. Requirements for quality of certified production : государственный стандарт Союза ССР : издание официальное : утвержден и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 27.07.1972 г. : взамен ГОСТ 5.21-67 : срок введения установлен с 01.08.72 : в части п. 2.12 с 01.01.73 / Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР. Переиздание 1975 г. с изменением № 2, опубликованным 1975 г. Москва: Изд-во стандартов, 1976. 6 с.

10. Конаков А. М. Трансмиссия тракторов и автомобилей : учеб. пособие для студентов вузов обучающихся по агроинженер. специальностям / А. М. Конаков; М-во высш. образования РФ, Нижегород. гос. с.-х. акад. Н. Новгород: Нижегород. гос. с.-х. акад., 2004. 106 с.

11. Конструирование, сравнительная оценка и выбор задних мостов тяжелых грузовиков [Текст]. Москва: ЦБТИ, 1957. 82 с.

12. Куликов М. И. Трансмиссия тяговых машин: Учеб. пособие / М. И. Куликов, Е. М. Крашенинников; Петрозавод. гос. ун-т им. О. В. Куусинена. Петрозаводск: ПГУ, 1986. 103 с.

13. Лавриков, И. Н. Экономика автомобильного транспорта [Текст]: учебное пособие для студентов, обучающихся по специальностям 190601 "Автомобили и автомобильное хозяйство" и 190702 "Организация и безопасность движения (автомобильный транспорт)" и специалистов автомобильного транспорта / И. Н. Лавриков, Н. В. Пеньшин ; М-во образования и науки Российской Федерации, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования «Тамбовский гос. технический ун-т». Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. 115 с.

14. Нагруженность картера заднего моста карьерного самосвала : Оператив.-информ. материалы / АН БССР, Ин-т пробл. надежности и долговечности машин. Минск: ИНДмаш, 1981 (1987). 45 с.

15. Норин В. А. Разработка технологического процесса изготовления деталей [Текст]: дипломное проектирование: учебное пособие / В. А. Норин [и др.]; М-во образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строит. ун-т. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский гос. архитектурно-строит. ун-т, 2013. 161 с.

16. Песков В. И. Трансмиссия автомобиля [Текст]: учебное пособие для студентов специальностей 190201 «Автомобиле-и тракторостроение» и 190601 «Автомобили и автомобильное хозяйство» / В. И. Песков; М-во образования и науки РФ, Гос. образовательное учреждение высш. проф. образования, Нижегородский гос. технический ун-т им. Р. Е. Алексеева. - Нижний Новгород: Нижегородский гос. технический ун-т, 2010. 103 с.

17. Плютов Ю. А. Расчеты прочности рамных конструкций карьерных автосамосвалов : учеб. пособие для студентов вузов / Ю. А. Плютов, С. В. Доронин, Т. В. Астахова ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. агентство по образованию, Гос. ун-т цв. металлов и золота. Красноярск: ГУЦМиЗ, 2005. 87 с.

18. Сологуб, В. А. Автопрактикум. Ч. 2. Трансмиссия большегрузных автомобилей : учеб. пособие. - Оренбург : ОГУ, 2012. - 111 с.

19. Сухочев Г. А. Разработка технологического процесса изготовления детали: Учеб. пособие / Г.А. Сухочев, К.А. Яковлев; М-во образования Рос. Федерации, Воронеж. гос. лесотехн. акад. Воронеж: ВГЛТА, 2002. 67 с.

20. Транспортное обеспечение производства: учебное пособие / О. А. Лукашук, В. С. Великанов, А. А. Маркина, К. Ю. Летнев ; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина. - Екатеринбург: УрФУ, 2024. 133 с.

21. Черепанов Л. А. Наземные транспортно-технологические средства. Выполнение дипломного проекта: электронное учебно-методическое пособие / Л. А. Черепанов; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения. Тольятти: Тольяттинский гос. ун-т, 2021. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) 12 см.

22. Чыонг М. Т. Исследование задних мостов грузовых автомобилей: диссертация кандидата технических наук : 05.00.00. Минск, 1972. 244 с.

23. Ямалетдинов М. М. Машины и оборудование для природообустройства: учебное пособие для аудиторной и самостоятельной работы / М. М. Ямалетдинов; Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет». Уфа: Башкирский ГАУ, 2022. 275 с.

24. Янкин, Ю. С. Экономика автомобильного транспорта : рабочая программа, методические указания и задание на курсовую работу для студентов специальности 150200 - Автомобили и автомобильное хозяйство / Янкин Юрий Сергеевич ; Министерство образования Российской Федерации, Московский государственный открытый университет, Кафедра автомобильного хозяйства и двигателей. Москва: МГОУ, 2001. 52 с.

25. Янсон, Р. А. Базовые машины в строительстве. В 2-х ч. Ч. 1, Ч. 2. Научное издание. Москва: Издательство АСВ, 2011. 368 с.

26. Arnold, M. Simulation Algorithms in Vehicle System Dynamics / M. Arnold // Technical Report 27. - Martin-Luther-University Halle, Department of Mathematics and Computer Science, 2004. 27 p.
27. Lowndes, E.M. Development of an Intermediate DOF Vehicle Dynamics Model for Optimal Design Studies / E.M. Lowndes, - Raleigh, 1998. 209 p.
28. Pettersson, M. Driveline Modeling and Control / M. Pettersson. Linkoping, 1997. 150 p.
29. Puhs, Allen E., Hybrid vehicles. CRC Press, London, NewYork 2009. 505 p.
30. Wagner G. Transmission options / Gerhard Wagner// Automotive Engineering International. 2001. Vol. 7 (109). 64-70 p.

Приложение А Спецификации

Инв. №	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
<i>Документация</i>									
A4						25.ДПО1.104.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1	
A1						25.ДПО1.104.61.00.000.ВО	Чертеж общего вида	1	
<i>Сборочные единицы</i>									
A1	1					25.ДПО1.104.61.01.000	Зеркало заднего вида	2	
	2					25.ДПО1.104.61.02.000	Передние фары	2	
	3					25.ДПО1.104.61.03.000	Подъемная лестница	1	
	4					25.ДПО1.104.61.04.000	Водительское сиденье	1	
	5					25.ДПО1.104.61.05.000	Дворники	2	
	6					25.ДПО1.104.61.06.000	Огнетушитель	1	
	7					25.ДПО1.104.61.07.000	Передние колеса	1	
	8					25.ДПО1.104.61.08.000	Кабина	1	
	9					25.ДПО1.104.61.09.000	Защитное ограждение	1	
	10					25.ДПО1.104.61.10.000	Парус дампера	1	
	11					25.ДПО1.104.61.11.000	Кузов	1	
	12					25.ДПО1.104.61.12.000	Гидроцилиндр подъема	1	
	13					25.ДПО1.104.61.13.000	Передний мост	1	
	14					25.ДПО1.104.61.14.000	Задний мост	1	
						25.ДПО1.104.61.00.000			
						Общий вид			
						Белаз-7555			
						ТГУ, АТс-2001а			
						Лит. Лист Листов			
						Д 1 1			
						Инв. № подл. Разраб. Гнедко Д.С. Пров. Зотов А.В. Н.контр. Зотов А.В. Утв. Бабровский А.В.			

Копировал

Формат А4

Рисунок А.1 – Спецификация на общий вид Белаз-7555

Продолжение Приложения А

Перв. примен.	Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
Справ. №	A1			25.ДПО1104.61.00.000.СБ	Сборочный чертёж	2		
					<u>Документация</u>			
						<u>Сборочные единицы</u>		
			5	25.ДПО1104.61.05.000	Клапан	2		
			7	25.ДПО1104.61.07.000	Картер заднего моста	1		
			8	25.ДПО1104.61.08.000	Главная передача	1		
			9	25.ДПО1104.61.09.000	Полуось заднего моста	2		
			10	25.ДПО1104.61.10.000	Шестерня коронная	2		
			11	25.ДПО1104.61.11.000	Водило	2		
Подп. и дата			13	25.ДПО1104.61.13.000	Рычаг	1		
			16	25.ДПО1104.61.16.000	Ступица	2		
			19	25.ДПО1104.61.19.000	Карпус	4		
			23	25.ДПО1104.61.23.000	Пробка М42	1		
			24	25.ДПО1104.61.24.000	Цилиндр	1		
					<u>Детали</u>			
			28	25.ДПО1104.61.00.028	Прокладка	2		
			30	25.ДПО1104.61.00.030	Втулка	2		
			31	25.ДПО1104.61.00.031	Прокладка картера	1		
Подп. и дата			35	25.ДПО1104.61.00.035	Уплотнитель	2		
Инв. № подл.				25.ДПО1104.61.00.000				
	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата			
	Разраб.	Гнедко Д.С.				Лит.	Лист	
	Проб.	Зотов А.В.				Д	1	
	Н.контр.	Зотов А.В.				ТГУ, АТс-2001а		
Утв.	Бабровский А.В.							
Задний мост с тормозами, ступицами и рычагом								
Копировал						Формат А4		

Рисунок А.2 – Спецификация на задний ведущий мост Белаз-7555

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
		36	25.ДПО1.104.61.00.036	Прокладка крышки водила	2	
		45	25.ДПО1.104.61.00.045	Гайка подшипников	2	
		46	25.ДПО1.104.61.00.046	Стопор гайки	2	
		47	25.ДПО1.104.61.00.047	Кольцо распорное	2	
		48	25.ДПО1.104.61.00.048	Втулка	8	
		49	25.ДПО1.104.61.00.049	Болт специальный	8	
		57	25.ДПО1.104.61.00.057	Вилка штока	1	
		58	25.ДПО1.104.61.00.058	Пластина	1	
		59	25.ДПО1.104.61.00.059	Палец	1	
				<i>Стандартные изделия</i>		
		65		Болт М8-6gx16.68.019 ГОСТ 7796-70	2	
		67		Болт М12-6gx25.68.019 ГОСТ 7796-70	18	
		69		Болт М18-6gx55.68.019 ГОСТ 7796-70	24	
		72		Гайка М16-6Н.6.35.019 ГОСТ 5915-70	2	
		73		Шайба А.8.01.08кп.019 ГОСТ 11371-78	2	
		74		Шайба А.12.01.08кп.019 ГОСТ 11371-78	4	
		77		Шайба 8 Т.65Г.06 ГОСТ 6402-70	2	
		78		Шайба 12 0Т.65Г.06 ГОСТ 6402-70	18	
		79		Шайба 16 0Т.65Г.06 ГОСТ 6402-70	2	
		80		Шайба 18Т.65Г.06 ГОСТ 6402-70	24	
				<i>Прочие изделия</i>		
		110		Накладка 7555В-3510190-01 БАТИ-206 ТУ 2571-004-05759706-2006	1	
		111		Накладка с колодкой в сборе ТУ 2571-004-00152129-2007	1	
		112		Накладка 7555В-3510190-04 Тр70-08 ТУ Ч 26.8-05495578-039-2008	1	
			Гнездо Д.С. Зотов А.В.	25.ДПО1.104.61.00.000		Лист 2
		Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	

Копировал

Формат А4

Рисунок А.3 – Спецификация на задний ведущий мост Белаз-7555

