

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

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Проектирование и эксплуатация автомобилей»

(наименование)

23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

(код и наименование направления подготовки / специальности)

Автомобили и тракторы

(направленность (профиль) / специализация)

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ)

на тему Модернизация заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

Обучающийся

А.В. Лебедев

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

канд. техн. наук, доцент А.С. Тизилов

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

Консультанты

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

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

доцент И.В. Дерябин

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

канд. экон. наук, доцент О.М. Сярдова

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

О.А. Головач

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

Тольятти 2022

Аннотация

Дипломный проект выполнен на тему: «Модернизация заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555».

Цель дипломного проекта – модернизация заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.

Пояснительная записка содержит шесть разделов, введение и заключение, список используемой литературы и используемых источников, приложения, всего 112 страниц с приложениями.

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

В первом разделе рассмотрены конструкции карьерных самосвалов, представленные на рынке.

Во втором разделе выполнен тягово-динамический расчёт автомобиля.

В третьем разделе проведён обзор конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555, выполнен кинематический и прочностной расчёт зубчатого зацепления в планетарном редукторе, прочностной расчёт планетарного редуктора с тремя сателлитами, прочностной расчёт планетарного редуктора с четырьмя сателлитами, расчёт подшипников на требуемую грузоподъёмность.

В четвертом разделе выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.

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

В шестом разделе определена эффективность модернизации заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 с экономической стороны.

Abstract

The topic of the given graduation project is: «The modernization of a rear drive axle of the «BelAZ-7555» quarry dump truck.

The aim of the work is to modernize the rear drive axle of the «BelAZ-7555» quarry dump truck.

The graduation project is on 112 pages. It consists of six parts, introduction and conclusion, list of references and appendices.

The graphic part is on 10 A1 sheets, which performed in the automated system for the development and execution of design and project documentation «KOMPAS-Graph». The graduation work fully complies with the approved assignment.

The first part covered the designs of quarry dump trucks on the market.

In the second part, the traction-dynamic properties of the considered vehicle were calculated.

In the third part we reviewed the rear axle structure of the «BelAZ-7555» quarry dump truck. We also performed the strength and kinematic calculation of toothed engagement in the planetary reduction gear, strength calculation of a planetary reducer with three and four satellites. The characteristics of the bearings for the required load capacity were determined.

In the fourth part we established the selection of technological process, determined the labor intensity, and developed the technological process for assembling the modernized rear drive axle of the quarry dump truck.

The fifth part dealt with the safety and ecological properties of the project.

The sixth part concentrated on the economic efficiency of the rear drive axle modernization of the «BelAZ-7555» quarry dump truck.

Содержание

Введение.....	6
1 Состояние вопроса	12
1.1 Карьерные самосвалы Caterpillar.....	12
1.2 Карьерные самосвалы Komatsu	14
1.3 Карьерные самосвалы фирмы Liebherr	16
1.4 Карьерные самосвалы фирмы Euclid-Hitachi	17
1.5 Карьерные самосвалы фирмы TEREX.....	18
1.6 Карьерные самосвалы производства ОАО БЕЛАЗ.....	21
2 Тягово-динамический расчет автомобиля	25
3 Конструкторская часть	41
3.1 Обзор конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555	41
3.2 Кинематический и прочностной расчёт зубчатого зацепления в планетарном редукторе	46
3.3 Прочностной расчёт планетарного редуктора с тремя сателлитами.....	50
3.4 Прочностной расчёт планетарного редуктора с четырьмя сателлитами	59
3.5 Расчёт подшипников на требуемую грузоподъёмность	68
4 Технологический раздел.....	71
4.1 Обоснование выбора технологического процесса.....	71
4.2 Определение трудоемкости сборки.....	74
4.3 Составление технологического процесса сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.....	75
5 Безопасность и экологичность проекта	79
5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.....	79
5.2 Идентификация профессиональных рисков.....	80

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков	81
5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта	87
5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555	90
6 Экономическая эффективность проекта	92
Заключение	100
Список используемой литературы и используемых источников	101
Приложение А. Спецификации	108

Введение

«ОАО «Белорусский автомобильный завод» – один из крупнейших мировых производителей карьерных самосвалов и транспортного оборудования для горнодобывающей и строительной промышленности.

На предприятии выпускаются карьерные самосвалы грузоподъемностью от 30 до 450 т., техника для обеспечения производственного цикла в карьерах, машины для подземных работ, бульдозеры, погрузчики, аэродромные тягачи» [1].

У БелАЗа действительно широкая линейка на рынке карьерной техники – 16 серий самосвалов в 15 классах грузоподъемности. А в каждом классе есть большое количество модификаций и исполнений.

«25 сентября 2013 года Белорусский автомобильный завод представил самый большой в мире самосвал «БелАЗ-75710» грузоподъемностью 450 тонн. Общая масса нового больше груза – 810 тонн, максимальная скорость – 64 километра в час. Автомобиль оснащён двумя дизельными двигателями и электрической передачей» [2].

«БелАЗ является экспортоориентированным предприятием: в 2017 году 95,7% продукции было поставлено на экспорт. Более 65% продукции реализуется в России. Он входит в число семи ведущих мировых концернов по производству карьерной техники.

За 2018 год БелАЗ произвёл 802 карьерных самосвала большой грузоподъемности (90 т. и выше), это рекорд за всю историю предприятия. Экспорт вырос на 30,3%, до 990,8 млн долл. Основная доля продукции поставлялась в Россию (58,4%) и страны СНГ (27,5%)» [2].

В 2020 году число произведённых карьерных самосвалов снизилось до минимальной за 20 лет отметки в 358 штук, в 2021 году наметился небольшой рост до 387 штук.

БелАЗ в уходящем году продолжил внедрение инновационных разработок. Самосвалы на аккумуляторных батареях, дизель-троллейбусы,

беспилотные технологии, роботизированные системы управления, «интеллектуальный» карьер – эти направления Белорусский автозавод разрабатывает уже не первый год.

В июне был представлен первый карьерный самосвал, работающий исключительно на электричестве, – БЕЛАЗ-7558Е грузоподъемностью 90 тонн. Он оснащен 15 литий-ионными аккумуляторными батареями, суммарная мощность которых составляет 675 кВт·ч. На одной зарядке электросамосвал сможет работать не менее 2 часов при полной загрузке 90 тонн и движении на подъем по уклону не более 10 процентов.

«После нескольких циклов «загрузка – транспортировка – разгрузка» потребуются проведение подзарядки в течение 20-25 минут от специальной зарядной станции» [3].

Белорусский автозавод одним из первых в мире изготовил карьерный самосвал такого класса на батарейках. Как показывают расчеты, стоимость перевозки тонны груза на БелАЗ-7558Е будет гораздо ниже, чем на самосвале с дизельным двигателем.

«По предварительным оценкам экономия при использовании аккумуляторной машины по сравнению с серийным самосвалом БЕЛАЗ такой же грузоподъемности за 10 лет эксплуатации может составить около 1 миллиона долларов» [3].

Еще один большой плюс: переход на чистую электротягу позволит значительно улучшить экологическую обстановку в карьерах.

В настоящее время опытный образец электросамосвала проходит испытания. Но уже в 2023 году БЕЛАЗ-7558Е начнут выпускать серийно. На заводе уверены, что на первых порах можно будет продавать ежегодно не менее 20 таких машин.

Еще одна новинка техники на альтернативных источниках энергии – дизель-троллейвоз БелАЗ-7530Е грузоподъемностью 220 тонн. Использование такой машины требует создания специальной

инфраструктуры, но преимущества новой технологии транспортировки должны с лихвой покрыть все дополнительные издержки.

Так, дизель-троллейвоз может двигаться на подъеме в 1,8-2 раза быстрее аналогичного дизельного самосвала, а это обещает соответствующие рост производительности и увеличение объемов перевозок. Дизель-троллейвоз обеспечивает снижение расхода дизельного топлива до 80%, а это не только значительная экономия по деньгам (сама солярка нынче дорога плюс ее доставка на отдаленные рудники и карьеры), но и соответствующее снижение выбросов вредных веществ в окружающую среду. Помогут сэкономить деньги меньшие затраты на техобслуживание дизельного двигателя и его систем, а также возможность применения на таких машинах ДВС меньшей (достаточной для обеспечения движения в зоне погрузки/выгрузки и на спуске) мощности и, следовательно, меньшей стоимости.

При этом БелАЗ готов предлагать своим клиентам не только сами дизель-троллейвозы, но также комплексные решения по организации всей необходимой инфраструктуры, что значительно повышает привлекательность проекта в целом. Первой новую технологию опробует у себя Восточная горнорудная компания (ВГК) – один из крупнейших на Дальнем Востоке производителей угля.

«В 2022 году на территории Солнцевского угольного разреза в Углегорском районе Сахалинской области планируется выстроить соответствующую инфраструктуру для проведения комплексных эксплуатационных испытаний самосвалов БелАЗ в дизель-троллейном исполнении» [1].

Еще одно перспективное направление – создание беспилотных самосвалов, которые способны безукоризненно точно выполнять все необходимые операции и могут трудиться круглые сутки без перерывов на обед, практически в любых погодных условиях и при отсутствии хорошей видимости.

Работы по созданию роботизированных машин БелАЗ начал еще в 2009 году. Первыми в этом ряду стали 130-тонные самосвалы БелАЗ-7513R с интеллектуальной системой управления. И они уже зарекомендовали себя как высокопроизводительная техника в реальных условиях эксплуатации в российских карьерах. Теперь Белорусский автозавод работает над расширением модельного ряда.

Изготовлена опытная партия роботизированных самосвалов БелАЗ-7558R грузоподъемностью 90 т. Машины оснащены комплексом систем для автономного движения, который включает бортовой компьютер, оборудование позиционирования и навигации, датчики внутренних систем, сенсоры автоматического сканирования окружения, видеокамеры дистанционного присутствия и контроля. Самосвалы-роботы способны на основании данных, получаемых в процессе работы, построить модель движения, определить его возможность и направление, а также обнаружить посторонние объекты на своем пути.

В составе роботизированного промышленного комплекса БелАЗ новые самосвалы прошли первый этап испытаний на территории крупнейшего в Европе предприятия по добыче и переработке плотных горных пород РУПП «Гранит» (Микашевичи). Здесь, на месторождении «Ситницкое», был организован участок системы интеллектуального карьера:

- «возведено здание мобильного диспетчерского пункта;
- проведена сетевая и электрическая инфраструктура;
- установлено 48 мачт, через которые протянуто более 4 км кабелей;
- размещено оборудование, обеспечивающее покрытие территории объекта сетью 5G для управления роботизированным карьерным комплексом» [3].

В испытаниях также принимал участие фронтальный погрузчик с дистанционной системой управления БелАЗ-7825D с объемом ковша 11 м³.

БелАЗ реализует несколько прорывных проектов и в сегменте карьерной техники на газомоторном топливе. Интерес к этой теме со

стороны добывающих компаний последнее время постоянно растет, так как использование в качестве моторного топлива природного газа не только позволяет экономить средства, но и улучшает экологическую ситуацию в сильно загазованных карьерах. БелАЗ над газификацией своих самосвалов работает по двум направлениям – газодизель и чистый газ.

В этом году успешно завершились испытания газодизельного самосвала БелАЗ-7513С грузоподъемностью 130 т. Достигнуто 30-процентное замещение дизельного топлива сжиженным природным газом, что позволяет снизить расходы на топливо в течение года эксплуатации примерно на 56000 долл. Сейчас в Жодино ведется подготовка к серийному производству этой модели.

Самосвал, работающий исключительно на природном газе, был разработан совместно с российскими компаниями «Газовые Транспортные Системы» (Смоленск) и «Технология 1604» (Екатеринбург). Это 45-тонный БелАЗ-75476 с газопоршневым двигателем «Кунгур-550». А буквально на днях стало известно, что в экспериментальном цехе автозавода начата сборка 90-тонного карьерного самосвала БелАЗ-7558Н с газовым двигателем китайской компании Weichai.

Белорусский автозавод, попав под западные санкции и лишившись нескольких поставщиков двигателей, ведет работы по их замещению. На самосвалах БелАЗ уже нашли применение моторы китайской компании Weichai Power. В этом году завершает фазу опытно-промышленной эксплуатации 240-тонный самосвал БелАЗ-75319 с двигателем 12ДМ-185А мощностью 2536 л.с., который создан Уральским дизель-моторным заводом (входит в состав ОАО «Синара-Транспортные Машины»). В отчетах об испытаниях говорится, что по своим техническим характеристикам новый самосвал практически ни в чем не уступает другим модификациям этой серии, которые используют двигатели Cummins QSK 60-C и MTU DD 16V4000.

Внедряет БелАЗ на свою технику и альтернативные системы электропривода. Так, в этом году появилась новая модификация самого большого 450-тонного самосвала – БелАЗ-75711. На этой машине вместо трансмиссии Siemens ММТ500 установили тяговый электропривод переменного тока КТЭ-450 от российской компании «Силовые машины».

Еще одна интересная новинка – это карьерный самосвал БелАЗ-75520 грузоподъемностью 60 т, являющийся копией китайского Weichai WT90. Машину впервые показали на Дне открытых дверей 25 сентября, однако до сих официально о ней ничего сказано не было. Несколько таких самосвалов собрали в Жодино из китайских машинокомплектов.

Конструкторы обеспечили новому тягачу потрясающую маневренность: водитель может управлять отдельно каждым из мостов, может заставить машину двигаться крабом или повернуть передние и задние колеса навстречу друг другу для уменьшения радиуса. Данная модель оснащается 136-сильным дизельным двигателем Deutz с электронной системой управления и диагностики, а также современной гидромеханической трансмиссией.

Для дипломного проекта была предложена тема «Модернизация заднего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555».

1 Состояние вопроса

Рассмотрим модели наиболее распространенных карьерных самосвалов.

1.1 Карьерные самосвалы Caterpillar

Разработанные для эксплуатации на строительных, карьерных и горных работах, модели CAT 770 (рисунок 1) грузоподъемностью 40 т. и 772 – 50 т. заменят модели 769 и 771, производимые Катерпиллером с 1962 и 1992 годов, соответственно. По сравнению с моделью 769 новый Cat 770 имеет грузоподъемность на 1 т больше, а модель 772 – на целых 6,5 т больше, чем у предшествующей модели 771 с ее 44,9 т. При 51,4 т модель 772 позволяет Катерпиллеру присоединиться к классу 50-тонных карьерных самосвалов.



Рисунок 1 – Карьерный самосвал фирмы Caterpillar

Новые машины будут выпускаться с пятью различными типами кузовов, что позволит выбирать комплектацию самосвалов в зависимости от

конкретных условий. Самосвалы 770 и 772 предлагаются с системами наклонного и горизонтального днища кузова с четырьмя различными пакетами стальных футеровок и двумя резиновыми прокладками. Отличительной особенностью моделей 770 и 772 является центрально расположенная кабина. Новая кабина сертифицирована в соответствии с ROPS и может быть установлена также на самосвалах шарнирно-сочлененной конструкции.

«Идея о центральном расположении кабины взамен традиционно бокового для самосвалов этого класса имеет ряд преимуществ. Помимо лучшей обзорности упрощается работа водителей-новичков на разных типах самосвалов. Кабина на 8% больше по объему, шире на 36 см, площадь стекол больше на 52%. В ней также имеются двойные широкообзорные и плоские зеркала с подогревом, а также удобное кресло с восемью степенями регулировки производства Caterpillar, расположенное в центре рабочего места водителя. Новое сиденье является более удобным, а его расположение оставляет достаточно свободного места для водителя, одновременно обеспечивая легкий доступ в кабину. Кроме того, машины имеют боковые лестницы, а также видеокамеру заднего вида WAVS с возможностью установки 18 см ЖК монитора» [7].

В стандартную комплектацию входит рация Cat Messenger System, получаемая с завода Joliet, штат Иллинойс, США. На обеих машинах установлены новые дизельные двигатели ACERT. На модели Cat 770 установлен шестицилиндровый двигатель C15 объемом 15,2 л и мощностью 355 кВт, а на более крупной 772 - двигатель C18 объемом 18 л и мощностью 399 кВт. Оба двигателя сертифицированы в соответствии с требованиями Tier 3/Stage 3a, имеют топливную систему Cat MEUI и обеспечивают экономию топлива по сравнению с предыдущими двигателями того же класса. Расход топлива для модели C15 снизился на 2% и на 1% – для C18. Этого добились за счет снижения потерь при помощи новой системы гидравлической вентиляции. Caterpillar также удвоил интервалы замены

масла на обеих машинах с 250 до 500 ч. Обе модели имеют трансмиссии с системой охлаждения, состоящей из радиатора модульного типа фирмы Behr, разработанного специально для Caterpillar на основе одноходовой схемы. Новый блок охлаждения имеет в 3,5 раза больший межреберный зазор, что облегчает его обслуживание. Это позволило уйти от двухходовой схемы, применявшейся для моделей 769 и 771. Оба самосвала массой 71,2 т и 82,1 т оснащены семискоростной коробкой передач производства Caterpillar с возможностью переключения при невыключенном сцеплении с электронной системой контроля трансмиссии и новой дифференциальной схемой, изготавливаемой также, как и самосвалы моделей 770 и 772, на заводе Caterpillar Decatur, штат Иллинойс, США.

Трансмиссии для этих моделей выпускаются на заводе East Peoria, штат Иллинойс, США; двигатели собирают в Моссвилле, Иллинойс, США, после чего они доводятся на заводе Decatur в соответствии с требованиями заказчика. Такие характеристики как ресурс автомобиля, приводы вентиляторов, контроль двигателя и показатели мощности также устанавливаются заводом Decatur. Дополнительные спецификации шасси моделей 770 и 772 включают систему пневматических тормозов Bendix, разработанную по требованиям Caterpillar, а также систему автоматического управления замедлителем (ARC) с целью управления торможением на уклонах для поддержания оптимальной скорости спуска, что также позволяет снизить расход топлива. Предполагается, что в будущем на моделях 770 и 772 будут серийно устанавливаться пневматические тормоза, что, по утверждению Caterpillar позволит на 35% увеличить интенсивность торможения. Помимо этого, удлинилась колесная база, а все применяемые подшипники изготовлены фирмой SKF.

1.2 Карьерные самосвалы Komatsu

Гордостью фирмы Komatsu является линейка карьерных внедорожных самосвалов (рисунок 2). В ней представлены машины грузоподъемностью от

25 до 290 т. Есть самосвалы как с механическим, так и с электрическим приводом. Объединяет все эти машины высочайшая надежность, экономичность, повышенная прочность. Особое внимание уделяется устойчивости, комфорту водителя и удобству управления.



Рисунок 2 – Карьерный самосвал фирмы Komatsu

Кузова, изготовленные из стали с высокой прочностью на растяжение, равной 130 кг/см^3 , обладают высокой сопротивляемостью ударам и износу. Надежные тормоза, высокопрочная рама, полностью гидравлическое рулевое управление делают эти машины чрезвычайно надежными, безопасными и легкими в управлении.

«Карьерные самосвалы – главные рабочие лошади горнодобывающей индустрии, хотя, если исходить из размеров, быстрее их можно назвать «рабочими слонами». Эти гиганты предусмотрены для перевозки кусковых либо сыпучих пород из открытых карьеров месторождений нужных ископаемых, для строительства больших промышленных объектов либо гидротехнических сооружений (плотин, дамб) – одним словом, там, где

нужно перевезти очень большой размер породы на маленьком плече. Размер самосвальной платформы карьерных самосвалов в зависимости от размера выполняемых работ варьируется от 20 до 220 м³, а по грузоподъемности – от 30 до 363 т.» [35].

1.3 Карьерные самосвалы фирмы Liebherr

«Многоотраслевой германский концерн Liebherr (узнаваемый широким массам россиян по высококачественным и надежным бытовым холодильникам) выпускает лишь большегрузные карьерные самосвалы 3-х типоразмеров по грузоподъемности на южноамериканском заводе в Вирджинии (Ньюпорт-Ньюс)» [34].

В настоящий момент в РФ Liebherr дает лишь флагманскую модель палитры T282B (рисунок 3).



Рисунок 3 – Карьерный самосвал фирмы Liebherr T282B

«Этот рекордсмен-гигант номинальной грузоподъемностью 363 т оснащается или 20-цилиндровым локомотивным турбодизелем MTU DD

20V4000 объемом 90 л мощностью 3650 л.с., или 18-цилиндровым турбодизелем Cummins QSK 78 объемом 78 л, мощностью 3500 л.с. и электромеханической трансмиссией неизменного тока Siemens с мотор-колесами GE787.

Размер грузовой платформы с V-образным днищем – 220 м³ с «шапкой» (2:1) – также рекордный среди двухосных самосвалов с задней разгрузкой. Модель оснащается системой самодиагностики с ЖК-дисплеем на приборной панели, централизованной системой автоматической смазки, автоматической системой пожаротушения. Высота погрузки – 7,0 м» [34].

1.4 Карьерные самосвалы фирмы Euclid-Hitachi

«Японский концерн Hitachi представляет в РФ широкий модельный ряд карьерных самосвалов фактически всех распространенных типоразмеров грузоподъемностью от 32 до 256 т.

Большая часть современных моделей Hitachi – производства южноамериканского филиала концерна южноамериканского филиала Euclid (ранее независимый производитель).

Открывают модельный ряд относительно небольшие модели – Hitachi EH600 (двигатель Cummins T14 объемом 14 л мощностью 384 л.с., грузоподъемность 33,1 т, вместимость платформы 21,0 м³ с «шапкой»), Hitachi EH750 (двигатель Detroit Diesel S60 объемом 14 л мощностью 486 л.с., грузоподъемность 46,2 т, вместимость платформы 27,7 м³ с «шапкой»), представленный на рисунке 4.

Наиболее производительный 70-тонный типоразмер – это модель Hitachi EH1100-3 (двигатель Detroit Diesel S2000 конфигурации V12 объемом 23,9 л мощностью 698 л.с., грузоподъемность 64,9 т, вместимость платформы 38,7 м³ с «шапкой»). Все эти модели серийно оснащают 6-ступенчатой автоматической планетарной КП производства Allison» [33].



Рисунок 4 – Карьерный самосвал фирмы Euclid-Hitachi

«Из линейки большегрузных моделей наибольшей производительности с электроприводом на мотор-колеса можно выделить Hitachi EH3000 (двигатель Detroit Diesel S4000 конфигурации V12 объемом 48,8 л мощностью 1748 л.с., электромеханическая трансмиссия переменного тока с компонентами GE, грузоподъемность 155 т, вместимость платформы 101,9 м³ с «шапкой») и флагман модельного ряда, Hitachi EH5000 (двигатель Detroit Diesel DDEC конфигурации V16 объемом 65 л мощностью 2600 л.с., электромеханическая трансмиссия неизменного тока с компонентами Siemens, грузоподъемность 286 т, вместимость платформы 196,1 м³ с «шапкой»)» [33].

1.5 Карьерные самосвалы фирмы TEREX

«Один из ведущих производителей карьерных самосвалов – многопрофильный южноамериканский концерн TEREX – в 90-е годы купил контрольные пакеты сходу нескольких североамериканских производителей карьерных самосвалов, в том числе и Unit Rig, удачно конкурирующего на

главном для отрасли южноамериканском рынке с Caterpillar. Правда, в данный момент модельный ряд TEREX Unit Rig (10 типоразмеров, в том числе флагман модельного ряда, представленный в 2007 году TEREX Unit Rig MT6300 грузоподъемностью 363 т мощностью 3750 л.с. и электромеханической трансмиссией неизменного тока с мотор-редукторами) (рисунок 5) в Россию официально не поставляется: у нас представлены модели производства фактически завода TEREX с индексами TR грузоподъемностью от 32 до 91 т в 5 типоразмерах» [32].



Рисунок 5 – Карьерный самосвал фирмы TEREX

«Базисная модель, TR50 грузоподъемностью 32 т, оснащается двигателем Cummins QSM 11 мощностью 400 л.с. и платформой вместимостью $19,5 \text{ м}^3$ с «шапкой», наиболее большая модель TRP5 грузоподъемностью 41 т с двигателем Cummins QSK 19 (495 л.с.) оснащается платформой вместимостью 26 м^3 . Середина модельного ряда TEREX – модели TR60 грузоподъемностью 55 т и TR70 грузоподъемностью 65 т (вместимость платформ с «шапкой» 35 либо $41,2 \text{ м}^3$ соответственно, мощность 700 либо 760 л.с. соответственно). Флагман TEREX на русском рынке – TR100 грузоподъемностью 91 т с платформой объемом 57 м^3 –

оснащается или 12-цилиндровым турбодизелем Cummins KTA 38 (975 л.с.), или 16-цилиндровым локомотивным турбодизелем DD/ MTU-2000 (943 л.с.). Все модели оснащаются автоматической 5- либо 6-ступенчатой планетарной КП Allison с гидравлическим ретардером (не считая компактной модели TR35)» [32].

Обычно, производители указывают два главных параметра вместимости – геометрическую вместимость платформы (по-английски – Struck) по полосы бортов и вместимость с «шапкой», либо номинальную вместимость (по-английски обозначается как Heaped 2:1). Оба параметра сертифицированы по южноамериканским нормам SAE, хотя понятно, что возможных покупателей больше интересует номинальная вместимость как более точно отражающая эксплуатационные характеристики той либо другой модели. Что все-таки касается грузоподъемности, то кратные характеристики ряда компаний (к примеру, 36,3 т), в первую очередь южноамериканских, объясняются совсем просто: в Северной Америке свои собственные тонны, короткие (чёткий показатель короткой тонны – 907,18474 кг), потому в пересчете на южноамериканский вариант 36,3 т дают ровно 40 южноамериканских тонн. По-английски южноамериканские тонны обозначаются как tons, а наиболее обычные нам метрические тонны – как tonnes. Ориентация на южноамериканскую маленькую тонну полностью объяснимо – во-1-х, 1-ые карьерные самосвалы для горнорудной индустрии были сделаны в США, а во-2-х, до сих пор рынок США является наикрупнейшим глобальным «потребителем» карьерных самосвалов.

И очередное принципиальное замечание: все указанные в статье характеристики мощности двигателей указаны по так называемой мощности «нетто», то есть, номинальной эксплуатационной мощности на маховике мотора (европейская спецификация 80/1269/ЕЕС, южноамериканская – SAE J1349). Есть еще показатель мощности «брутто», то есть наибольшая мощность силовой установки (SAE J1995). Большая часть производителей указывают оба параметра.

1.6 Карьерные самосвалы производства ОАО БЕЛАЗ

Наиболее тяжелая серия 7547 грузоподъемностью 45 т частично унифицирована с 7540. Модели данной серии более выгодно эксплуатировать с экскаваторами либо фронтальными погрузчиками с объемом ковша от 8 до 10 м³ (к примеру, фронтальным погрузчиком БЕЛАЗ-7822 грузоподъемностью 10 т). Линейка моделей состоит из 5 базисных модификаций – 7547 с двигателем ЯМЗ-240НМ-2 мощностью 500 л.с., 75471 с двигателем ЯМЗ-8401 мощностью 550 л.с., 75473 с двигателем Cummins KTA 19-C мощностью 600 л.с., 75474 с двигателем Cummins QSX-15C мощностью 608 л.с., 7547 с двигателем ЯМЗ-8401 мощностью 550 л.с. и 7547D с двигателем Deutz BF8M1015C мощностью 544 л.с. Все двигатели, не считая рядного Cummins, V-образные с конкретным впрыском. Трансмиссия (ГМП 5+2) и конструкция подвесок подобны 7540. Обычная грузовая платформа для 7547 – геометрической вместимостью 21,5 м³ (с «шапкой» 26,5 м³), на заказ предлагаются четыре вида платформ номинальным объемом с «шапкой» от 26,2 до 43,4 м³ (углевозная версия).

В том же классе грузоподъемности 45 т выполнен карьерный самосвал 75450. Модель различает наиболее мощный двигатель – рядный Cummins QSX-15 мощностью 609 л.с., увеличенный до 600 тыс. км против 450 тыс. км у 7547 эксплуатационный ресурс, централизованная автоматическая система смазки, многодисковые охлаждаемые тормоза, кондиционер, дополнительный отопитель и остальные нововведения.

Сравнимо новая серия «БелАЗовских» самосвалов – БЕЛАЗ-7555 – была сотворена уже в XXI веке, а серийное создание началось в 2004 году.

Грузоподъемность 7555 – 55 т, большая эффективность использования достигается при работе с экскаваторами и погрузчиками с объемом ковша 10-12 м³. Нововведения в конструкции – расширенная до 3700 мм передняя колея, обычный высокопрочный защитный основа FOPS, гидрообъемное управляющее управление и усиленная конструкция подвески с

пневмогидравлическими элементами (масло+азот). Двигатели – рядные «шестерки» Cummins с конкретным впрыском – или КТТА 19-С мощностью 309 л.с. для модификации 7555В, или QSK 19-С мощностью 760 л.с. для модификации 7555Е. Трансмиссия гидромеханическая (6+1) с блокировкой гидротрансформатора и электрогидравлическим переключением передач.

Для 7555 предлагается или обычная самосвальная платформа геометрической вместимостью $22,1 \text{ м}^3$ (с «шапкой» $31,3 \text{ м}^3$), или по заказу увеличенной ширины вместимостью с «шапкой» $35,3$ либо $37,3 \text{ м}^3$, а углевозная версия – с геометрической вместимостью 50 м^3 (с «шапкой» $57,9 \text{ м}^3$). Высота погрузки «БелАЗовских» самосвалов серий 7540, 7547 и 7555 варьируется от 3,5 до 5,5 м в зависимости от типа используемой платформы. В секторе 90-тонных машин предлагается новая модель 7557 (флагман «БелАЗов» с гидромеханической трансмиссией), частично унифицированная с 7555. Главные отличия – наиболее мощный рядный двигатель Cummins QST 30-С мощностью 1065 л.с. и увеличенные платформы – обычная геометрической вместимостью $37,3 \text{ м}^3$ (с «шапкой» – $41,2 \text{ м}^3$) и углевозная версия вместимостью $57,3 \text{ м}^3$ (с «шапкой» $79,7 \text{ м}^3$). Более действенное внедрение модели 7557 (рисунок 6) – с экскаваторами и погрузчиками с вместимостью ковша от $12,5$ до 14 м^3 .



Рисунок 6 – Карьерный самосвал фирмы БЕЛАЗ

Сектор большегрузных машин грузоподъемностью выше 100 т представлен БЕЛАЗ-7513. Модель грузоподъемностью от 110 до 136 т различает расширенная до 5130 мм колея и комбинированная силовая установка (как и у всех белорусских моделей грузоподъемностью выше 100 т).

На нынешний день предлагаются четыре главных модификации серии – 7513 (турбодизель Cummins QSK 45 (1600 л.с.), 75131 (турбодизель Cummins KTA 50С мощностью 1600 л.с.) и 75132 (турбодизель 8ДМ-21 АМС мощностью 1500 л.с.), рассчитанные на перевозку 130 т груза, и «экономная» версия 75135 (турбодизель Cummins KTA 38С мощностью 1200 л.с.).

Все они оснащаются электромеханической передачей вместе с редукторами электромотор-колес с генератором СГД-89/38 (или ГСН-500) мощностью 800 кВт плюс тяговым электродвигателем ТЭД-6 мощностью 520 кВт или (420 кВт, эталон для 75135) либо ЭК-590 (590 кВт). Для 7513 предлагается или обычная платформа (45,5 м³, с «шапкой» 71,2 м³), или три типа заказных, включая углевозную (103,8 м³, с «шапкой» 134,9 м³). Для эксплуатации самосвалов серии 7513 рекомендуются экскаваторы и погрузчики с объемом ковша 20 м³.

В «королевском» классе грузоподъемностью выше 200 т БЕЛАЗ представляет серию 7530, включающую две базисных модификации: 75306 с двигателем Cummins QSK 60-С мощностью 2334 л.с. и 75302 с двигателем MTU DD 16V4000 мощностью 2332 л.с. (в общем и целом, большая часть заказов приходится на 75306). Номинальная грузоподъемность обеих версий – 220 т. Модель 75306 оснащается электромеханической трансмиссией с переменного-постоянным электроприводом, включающей тяговый генератор СГД-101 мощностью 140 кВт, два тяговых электродвигателя ДК-724 мощностью по 560 кВт и двухрядными редукторами электромотор-колес.

Подвеска – зависимая, с двумя пневмогидравлическими цилиндрами (масло и азот) на переднюю ось и задний мост. Для БЕЛАЗ-75306 в зависимости от типа перевозимой породы предлагаются два вида грузовых

платформ – вместимостью 80 м³ (с «шапкой» 112,4 м³) либо 92 м³ (с «шапкой» 130,4 м³). Рекомендованный производителем размер ковша экскаватора либо погрузчика для работы с 7530 – от 20 до 25 м³.

Выводы по разделу.

Анализ конструктивных особенностей рассмотренных карьерных самосвалов показал, что каждый из них имеет как свои достоинства и недостатки. Однако учитывая доступность и перспективность для модернизации предлагается использовать широко распространенный карьерный самосвал БелАЗ-7555. Соответственно, для дальнейших расчетов предлагается использовать технические характеристики данного карьерного самосвала.

2 Тягово-динамический расчет автомобиля

Исходя из задания, предлагается провести тягово-динамический расчет модернизируемого автомобиля – самосвал БелАЗ-7555.

Основные параметры и характеристики для проведения расчета будут приниматься согласно официальному источнику – руководство по эксплуатации самосвала БелАЗ-7555.

Полная масса автомобиля находится по формуле:

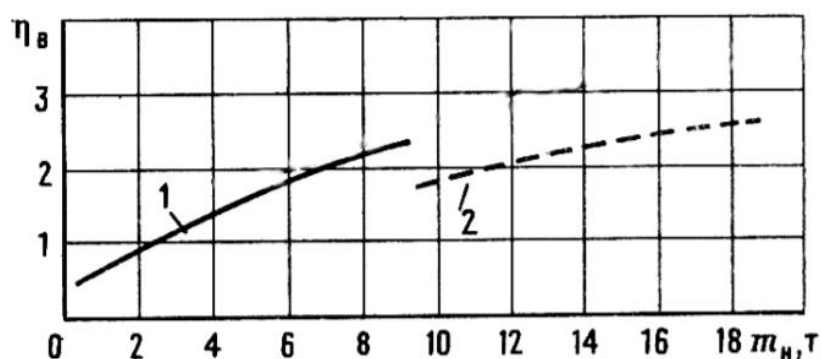
$$m_a = m_0 + m_H, \quad (1)$$

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

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

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

где η_B – показателем снаряженной массы. Принимается в соответствии с графиком зависимости показателя, представленном на рисунке (7), однако для самосвалов (двухосного) показатель принимаем равным 0,74.



1 – двухосные автомобили; 2 – трехосные автомобили

Рисунок 7 – График зависимости показателя использования массы от номинальной грузоподъемности

Подставляем значения в формулу (2) и получаем:

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

Следовательно,

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

«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» [29].

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

«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:

$$G_{\kappa 1} = \frac{m_1 \cdot g}{n_{n.к.}}, \quad (5)$$

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

g – ускорение свободного падения, $9,81 \text{ м/с}^2$ » [29].

$$G_{\kappa 1} = \frac{31500 \cdot 9,81}{2} = 154508 \text{ Н.}$$

«Определяем статическую нагрузку на заднее колесо по формуле:

$$G_{\kappa 2} = \frac{m_2 \cdot g}{n_{з.к.}}, \quad (6)$$

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

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

Учитывая максимальную величину статической нагрузки, руководствуясь данными ГОСТ 5513-97, предварительно выбираем шину 24.00R35.

«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;

$V_{w_{max}}$ – 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» [29].

«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» [29].

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

По выбранному коэффициенту обтекаемости, находим значение коэффициента сопротивления воздуха по следующей формуле:

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

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

ρ_{ϵ} – плотность воздуха, при нормальных условиях (при давлении 760 мм.рт. ст.) – 1,293 кг/м³.

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

«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:

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

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» [29].

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

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

Отсюда:

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

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 1)» [29].

Таблица 1 – Значения коэффициентов для расчета внешней скоростной характеристики

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 2.

Таблица 2– 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 8.

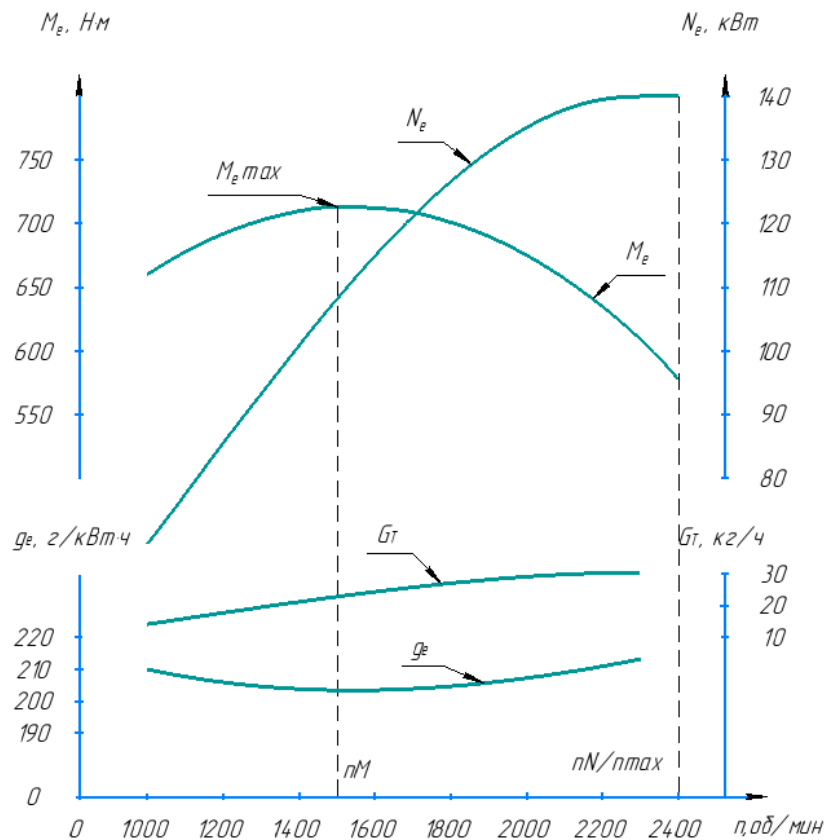


Рисунок 8 – Внешняя скоростная характеристика двигателя

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» [29].

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 автобусе ПАЗ-3237 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 (то есть для пятиступенчатой коробки передач – 4).

Результаты вычислений заносим в таблицу 3 и сравниваем с аналогом.

Таблица 3 – 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:

$$F_T = \frac{M_e \cdot u_0 \cdot u_{кп} \cdot u_{\partial} \cdot \eta_{мп}}{r_k}, \quad (19)$$

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

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

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:

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

Тогда:

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

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:

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

где $\delta_{ер}$ – коэффициент, учитывающий влияние вращающихся масс» [29].

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

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

где δ_1 , δ_2 – коэффициент учета вращающихся масс колес и двигателя соответственно. Значение коэффициента принимают в диапазоне от 0,03 до 0,05» [29].

«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» [29].

«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» [29].

«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:

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

где N_T – мощность, подводимая к колесам;

N_f – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления качению;

N_n – мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления подъема;

N_e – 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:

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

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

$$N_u = N_T - N_\partial - N_e. \quad (37)$$

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, характеризующихся значениями суммарного коэффициента сопротивления дороги.

Путевой расход топлива рассчитывается по формуле:

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

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;

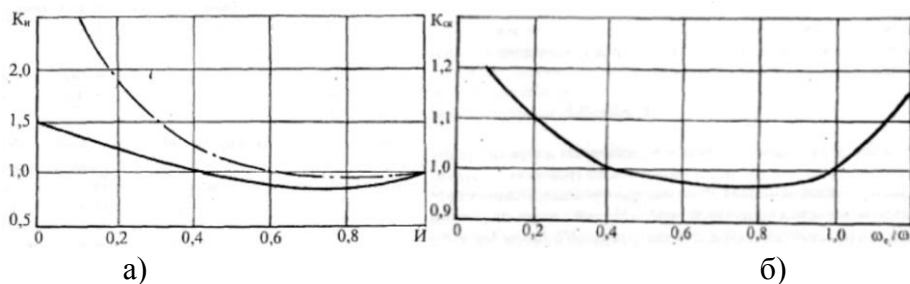
k_u – коэффициент, учитывающий изменение удельного эффективного расхода топлива от нагрузочного режима двигателя;

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 9).



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 9 – 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:

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

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 Конструкторская часть

3.1 Обзор конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555

«Ведущий мост самосвалов БелАЗ-7555В, 7555Е (рисунок 10) – с двухступенчатой разнесенной главной передачей, типовой конструкции. 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.

Главная передача (рисунок 11) одноступенчатая, состоит из пары конических шестерен с круговыми зубьями и межколесного конического дифференциала. На главной передаче установлен тормозной механизм стояночной тормозной системы.

Ведущая коническая шестерня 9 установлена консольно на четырех подшипниках двух радиально-упорных шариковых и двух радиальных роликовых.

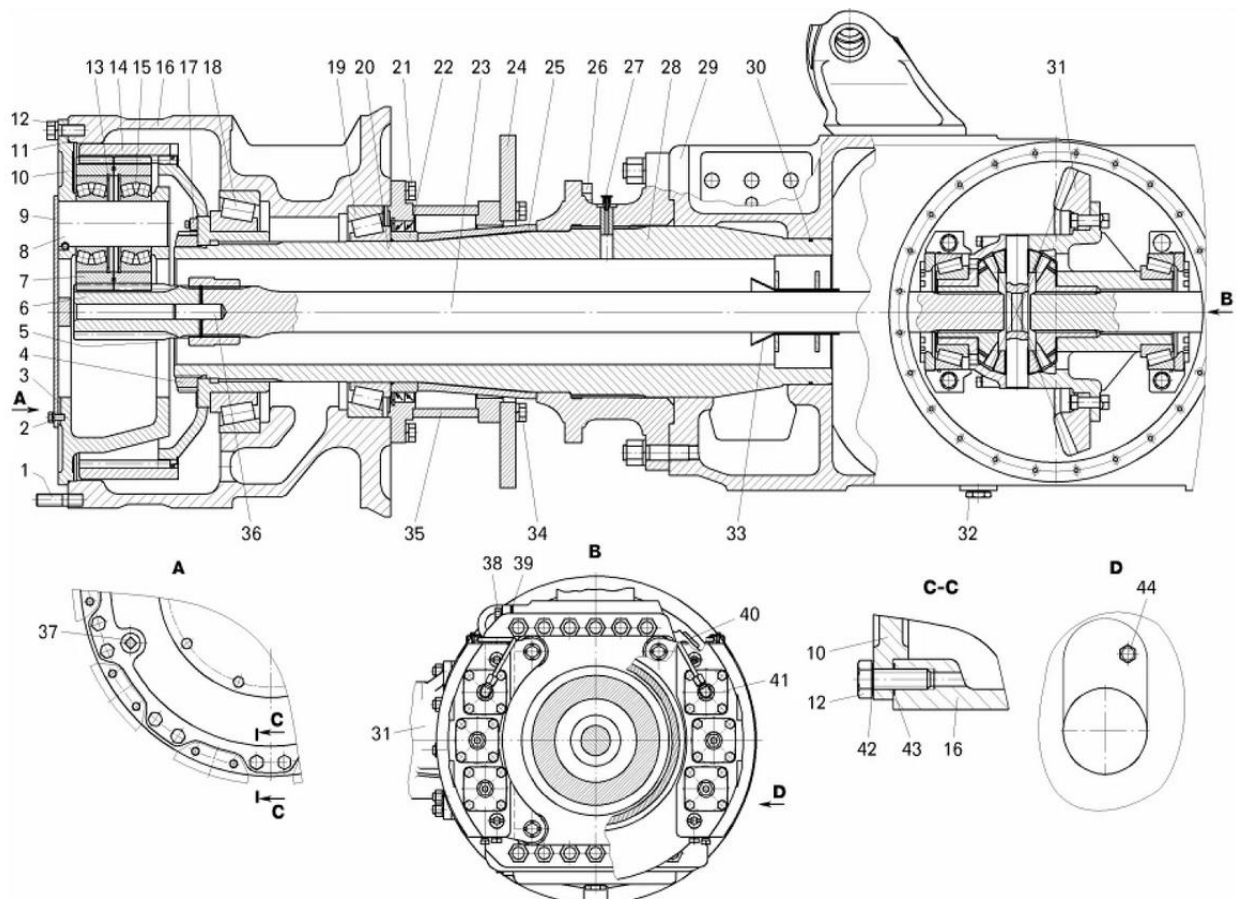
Ведущая шестерня главной передачи вращается по часовой стрелке при движении самосвала передним ходом (если смотреть спереди автомобиля).

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

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 27 должны находиться внизу и совпадать с отверстием в картере главной передачи 25» [5].

«Ведомая коническая шестерня 21 крепится болтами 22 со стопорной пластиной к правой чашке 24 дифференциала.



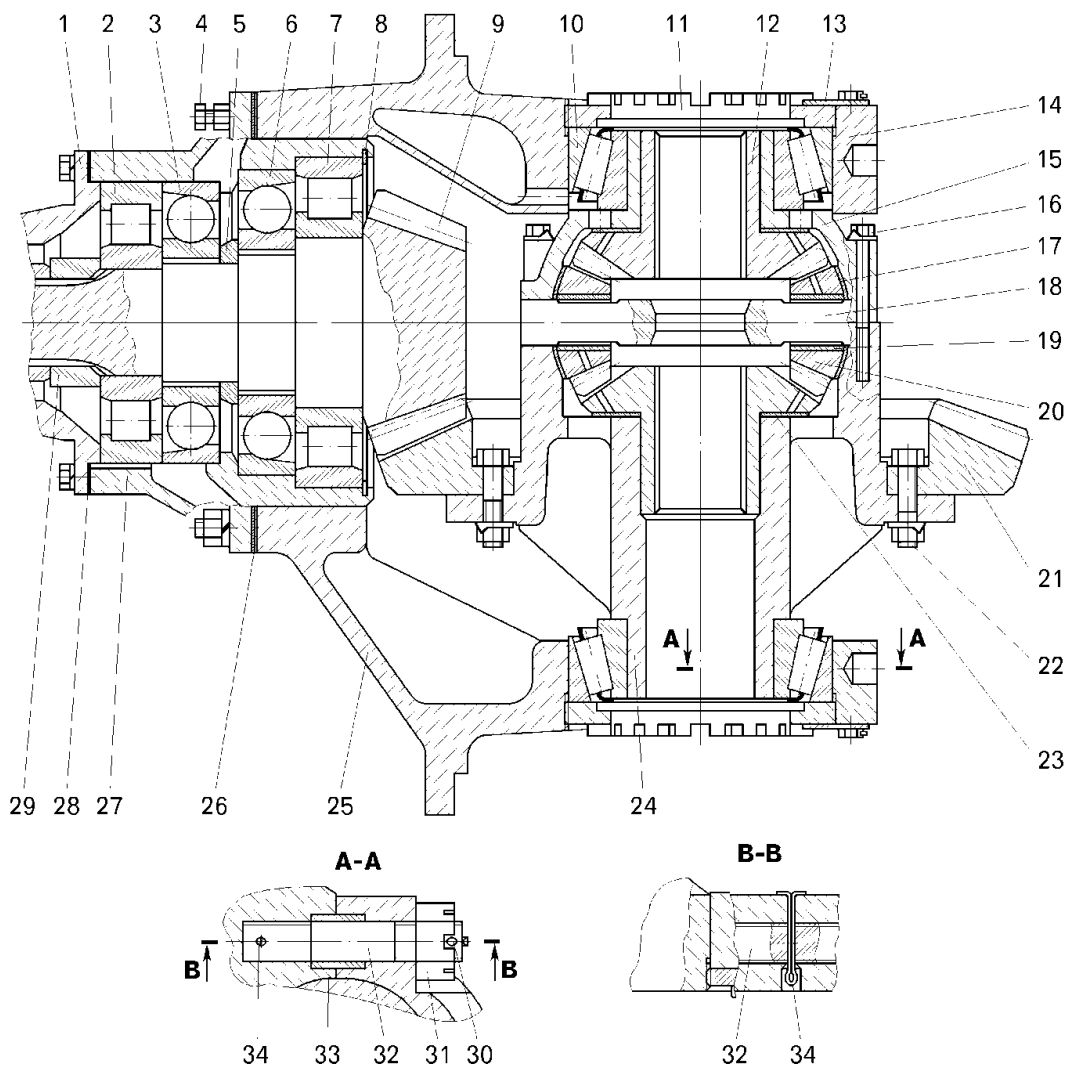
1 – шпилька; 2, 12, 21, 26, 34, 38 – болты; 3, 39, 42 – прокладки; 4 – гайка подшипников; 5 – соединительная втулка; 6 – ведущая шестерня колесной передачи; 7 – сателлит; 8 – ось сателлита; 9 – крышка водила с упором; 10 – водило колесной передачи; 11, 20, 30, 43 – уплотнительные кольца; 13 – стопорное 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 маслоналивного (контрольного) отверстия колесной передачи; 40 – пробка маслоналивного отверстия картера ведущего моста; 41 – корпус тормозного механизма; 44 – пробка контрольного отверстия уровня

Рисунок 10 – Ведущий задний мост

Для регулирования зазора и взаимного положения шестерен в зацеплении между картером подшипников ведущей конической шестерни и картером главной передачи установлены регулировочные прокладки 26» [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.



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 – шплинты; 31 – гайка; 32 – шпилька; 33 – сухарь крышки подшипников

Рисунок 11 – Главная передача с дифференциалом

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].

В процессе выбора модернизируемого узла на заднем ведущем мосту, из рациональных соображений было принято модернизировать планетарный редуктор.

Посредством планетарного редуктора в данном механизме производится вращение колёс. На данном автомобиле редуктор является планетарным, однорядным редуктором с зафиксированной коронной шестерней (то есть неподвижной). 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).

Однако сателлиты представляют собой не простое зубчатое колесо, а сателлиты представляли собой пару зубчатых колёс, соединённых в одно

(сдвоенных), у которых зубья были направлены одно напротив другого, с целью лучшего соединения их в процессе работы и улучшения прочности зубчатого зацепления.

«Недостатки серийного образца планетарного редуктора:

- а) незначительная прочность зубчатого зацепления планетарной передачи;
- б) относительно невысокие значения коэффициента запаса прочности зубчатого зацепления и зубчатых колёс в частности;
- в) плохая долговечность зубчатого зацепления связанная с точностью зубчатых колёс, в частности, трех сателлитов;
- г) сложности технологии изготовления зубчатых колёс, так как необходимо выполнять технологию по изготовлению зубчатого зацепления сдвоенных сателлитов» [8].

Идеей модернизации является изготовление планетарного редуктора с новым количеством сателлитов и изменённым способом их изготовления. Было предложено выполнить планетарный редуктор с четырьмя сателлитами, при том, что они будут одиночными, то есть состоящие из одиночных зубчатых колёс, а не из сдвоенных зубчатых колёс, как было выполнено в серийном планетарном редукторе. Однако для того чтобы выполнить планетарный редуктор с четырьмя сателлитами необходимо выполнять зубчатые колёса с особой точностью.

3.2 Кинематический и прочностной расчёт зубчатого зацепления в планетарном редукторе

Для выполнения расчётов по контактным напряжениям и напряжениям изгиба необходимо определить момент. Момент можно определить двумя способами: по сцеплению и по двигателю внутреннего сгорания. После нахождения этих моментов, для расчётов принимаем меньший из двух.

На рисунке 12 представлена кинематическая схема трансмиссии карьерного самосвала.

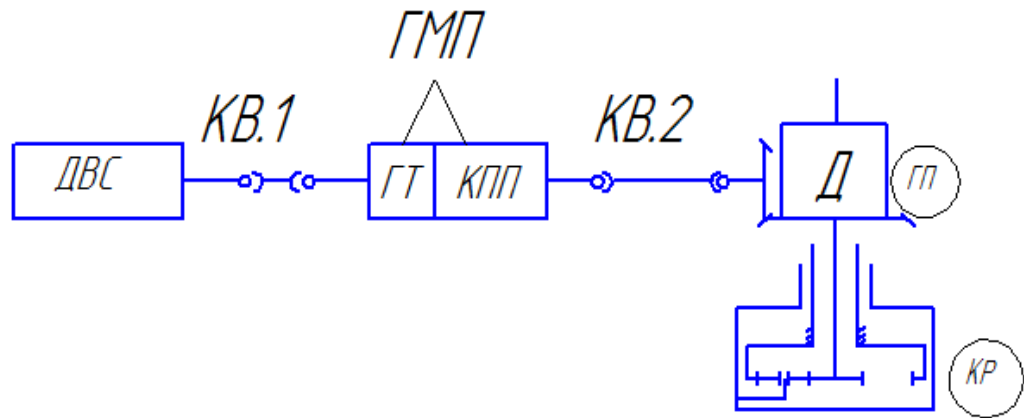


Рисунок 12 – Кинематическая схема трансмиссии

«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:

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

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

r_k – 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» [6].

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

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

φ – тяговый коэффициент, принимаем равным 0,8;

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

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 (44) 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:

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

Окружную силу определяем, подставляя значения в формулу (43):

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

Исходя из полученных значений двух моментов, можем сделать вывод о том, что нам в расчёты необходимо принимать момент по ДВС, так как из двух полученных моментов он меньший, а по условию необходимо выбирать меньший момент, следовательно:

$$M_n = M_{n/o}^{ДВС}. \quad (45)$$

Так как $M_{n/o}^{ДВС} \leq M_{n/o}^{СЦ}$ $M_{n/o}^{ДВС} \leq M_{n/o}^{СЦ}$, 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].

3.3 Прочностной расчёт планетарного редуктора с тремя сателлитами

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:

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

$$n_n = \frac{2640}{2037} = 1.296.$$

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:

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

где M – момент рассчитанный ранее;

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

d_g – делительный диаметр, принимаем равным 91 мм;

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

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

«Рассчитаем напряжение изгиба для сателлита:

Допускаемое напряжение изгиба рассчитывается по следующей формуле:

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

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

$Y_{N \max}$ – 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:

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

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

Для сателлита:

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

Условие выполняется.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности по формуле (54):

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

Сателлит – коронная шестерня

Предельные контактные напряжения.

«Для сателлита и коронной шестерни 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:

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

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

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

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

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:

$$n_n = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F}, \quad (58)$$
$$n_n = \frac{1300}{861,02} = 1,51.$$

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:

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

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

+

Допускаемое напряжение изгиба рассчитывается по следующей формуле:

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

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):

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

Условие выполняется.

Рассчитаем коэффициент запаса прочности:

$$n_{Fb} = \frac{\sigma_{F \text{ lim}}}{\sigma_F} , \quad (64)$$
$$n_n = \frac{1140}{767,6} = 1,485 .$$

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:

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

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

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

Рассчитаем коэффициент запаса прочности:

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

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

3.4 Прочностной расчёт планетарного редуктора с четырьмя сателлитами

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, следовательно, 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 $\sigma_n \leq [\sigma]_n$ » [25].

«Определяем контактные напряжения:

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

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:

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

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

Для коронной шестерни:

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

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

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

Определяем контактные напряжения:

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

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

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

Определим ещё первый коэффициент запаса прочности n_n по следующей формуле:

$$n_n = \frac{\sigma_{n\text{lim}}}{\sigma_n}, \quad (81)$$

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

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:

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

где $\sigma_{F \lim}$ – 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 $767,605 \text{ МПа} < 1140 \text{ МПа}$.

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 $\sigma_F = 1800 \text{ МПа}$ 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].

3.5 Расчёт подшипников на требуемую грузоподъёмность

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.

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

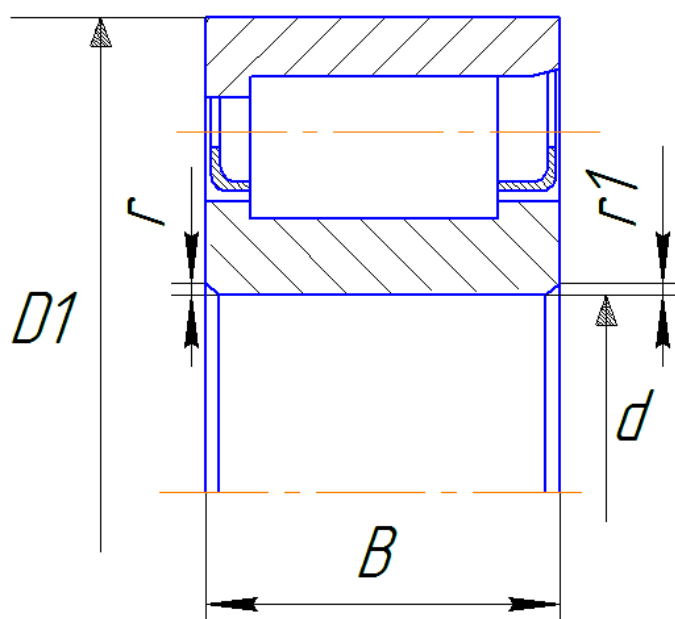


Рисунок 13 – Роликовый конический однорядный подшипник с уплотнительным кольцом

Схема установки подшипника – враспор.

Осевые составляющие от действия радиальных нагрузок:

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

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

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

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

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 разделе «Конструкторская часть» выполнен обзор конструкции ведущего моста самосвала БелАЗ-7555, выполнен кинематический и прочностной расчёт зубчатого зацепления в планетарном редукторе, прочностной расчёт планетарного редуктора с тремя сателлитами, прочностной расчёт планетарного редуктора с четырьмя сателлитами, расчёт подшипников на требуемую грузоподъемность

4 Технологический раздел

4.1 Обоснование выбора технологического процесса

«Процесс сборки является одним из заключительных этапов изготовления машины.

Организационная форма сборки машин определяется типом и условиями производства. При этом решающими факторами являются годовой объем выпуска изделий, трудоемкость сборочных работ и экономическая эффективность» [24].

Для сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 предлагается мелкосерийная сборка, так как данный вид модернизации ввиду незначительного количества выпускаемых самосвалов БелАЗ-7555 не будет иметь большого спроса, а, следовательно, не требуется постройка изготовления на «поток».

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

Определяем такт выпуска:

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

где $F_{д}$ – действительный годовой фонд рабочего времени сборочного оборудования в одну смену, принимается равным $F_{д} = 2070$ ч. для

стационарной сборки на необорудованных стендах;

m – количество смен, принимается равным $m = 1$;

N – годовой объем выпуска, принимается равным $N = 120$ шт.

$$T_d = \frac{2070 \cdot 60 \cdot 1}{120} = 1035 \text{ мин.}$$

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

Технологическая схема сборки заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 представлена в графической части ВКР.

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

Перечень выполняем в виде таблицы (таблица 4), содержащей наименование сборочных работ и данные о нормировании всех необходимых видов работ.

Таблица 4 – Перечень сборочных работ

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции,, мин
Взять картер заднего моста с рычагами в сборе	0,8
Осмотреть картер заднего моста с рычагами в сборе	1
Взять шпильки 50 шт.	0,5
Наживить шпильки 50 шт.	5
Завернуть шпильки 50 шт. с моментом 20-30 Н·м	7
Взять кольцо 2 шт.	0,3
Осмотреть кольцо	0,2
Установить кольцо на шпильки	0,9
Взять кожух полуоси 2 шт.	0,4
Осмотреть кожух полуоси 2 шт	0,3
Установить кожух полуоси 2 шт	2
Взять шайбы 50 шт.	0,5
Установить шайбы 50 шт. на шпильки	2,5
Взять гайки 50 шт.	0,5
Наживить гайки 50 шт.	5
Завернуть гайки 50 шт. с моментом 20-30 Н·м	7
Взять механизм тормозной в сборе 2 шт.	0,8
Осмотреть механизм тормозной в сборе 2 шт.	0,6
Установить механизм тормозной в сборе 2 шт.	20
Взять кольцо 2 шт.	0,3
Осмотреть кольцо 2 шт.	0,3
Установить кольцо 2 шт.	0,8
Взять уплотнение резино-металлическое 2 шт.	0,3
Осмотреть уплотнение резино-металлическое 2 шт.	0,2

Продолжение таблицы 4

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции, мин
Установить уплотнение резино-металлическое 2 шт.	2
Взять фланец 2 шт.	0,6
Осмотреть фланец 2 шт.	0,3
Установить фланец 2 шт.	4
Взять уплотнение резино-металлическое 2 шт.	0,3
Осмотреть уплотнение резино-металлическое 2 шт.	0,2
Установить уплотнение резино-металлическое 2 шт.	2
Взять фланец 2 шт.	0,6
Осмотреть фланец 2 шт.	0,3
Установить фланец 2 шт.	4
Взять кольцо внутреннее 2 шт.	0,4
Осмотреть кольцо внутреннее 2 шт.	0,3
Установить кольцо внутреннее 2 шт.	4
Взять полуось 2 шт.	0,8
Осмотреть полуось 2 шт.	0,6
Установить полуось 2 шт.	10
Взять кольцо 4 шт.	0,5
Осмотреть кольцо 4 шт.	0,3
Установить кольцо 4 шт.	6
Взять ступицу заднего колеса 2 шт.	1
Осмотреть ступицу заднего колеса 2 шт.	0,9
Установить ступицу заднего колеса 2 шт.	25
Взять шпильки 20 шт.	0,3
Наживить шпильки 20 шт.	2
Завернуть шпильки 20 шт. с моментом 20-30 Н·м	3
Взять шестерню коронную с кожухом 2 шт.	1
Осмотреть шестерню коронную с кожухом 2 шт.	0,6
Установить шестерню коронную с кожухом 2 шт.	17
Взять гайку подшипников 2 шт.	0,8
Осмотреть гайку подшипников 2 шт.	0,4
Завернуть гайку подшипников 2 шт. с моментом 60-90 Н·м	3
Контролировать установку подшипника	1
Взять уплотнитель 2 шт.	0,9
Осмотреть уплотнитель 2 шт.	0,3
Установить уплотнитель 2 шт.	3
Взять водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.	1
Осмотреть водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.	0,8
Установить водило планетарной передачи с сателлитами в сборе 2 шт.	45
Взять шайбы 18 шт.	0,4
Установить шайбы 18 шт.	2
Взять болты 36 шт.	0,8
Наживить болты 36 шт.	4
Завернуть болты 36 шт.	8
Взять прокладку крышки водила 2 шт.	1
Осмотреть прокладку крышки водила 2 шт.	0,3
Установить прокладку крышки водила 2 шт.	3

Продолжение таблицы 4

Содержание основных и вспомогательных переходов	Время операции, мин
Взять крышку водила 2 шт.	2
Осмотреть крышку водила 2 шт.	0,8
Установить крышку водила 2 шт.	25
Взять шайбы 18 шт.	0,8
Установить шайбы 18 шт.	2
Взять болты 9 шт.	0,5
Наживить болты 9 шт.	1
Завернуть болты 9 шт.	2
Заправить ведущий мост маслом	5
Проверить на наличие подтеков масла	4
Собранный ведущий мост должен быть проверен на стенде или пробегом на автомобиле	240
Итого:	504

4.2 Определение трудоемкости сборки

Определяем общее оперативное время на все виды работ по формуле:

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

$$t_{on}^{общ} = \sum t_{on1} + t_{on2} + \dots t_{on_n}$$

«Определяем суммарную трудоемкость сборки изделия по формуле:

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

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].

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

4.3 Составление технологического процесса сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

Последовательность технологических операций с указанием приспособлений и затрачиваемого на выполнение операций времени заносим в таблицу 5.

Таблица 5 – 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	Гайковерт, набор головок, рожковые ключи, динамометрический ключ, воронка, оправка	260
		2	Осмотреть картер заднего моста с рычагами в сборе		
		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.		

Продолжение таблицы 5

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
		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 резино-металлическое 2 шт.		
		24	Осмотреть уплотнение резино-металлическое 2 шт.		
		25	Установить уплотнение резино-металлическое 2 шт.		
		26	Взять фланец 2 шт.		
		27	Осмотреть фланец 2 шт.		
		28	Установить фланец 2 шт.		
		29	Взять уплотнение резино-металлическое 2 шт.		
		30	Осмотреть уплотнение резино-металлическое 2 шт.		
		31	Установить уплотнение резино-металлическое 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.		

Продолжение таблицы 5

№ операции	Операция	№ позиции	Содержание операций, переходов	Приспособление, оборудование, инструмент	Время, мин.
080	Регулировочная	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.		
		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.		

Продолжение таблицы 5

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

Выводы по разделу.

В разделе «Технологический раздел» выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.

5 Безопасность и экологичность проекта

5.1 Конструктивно-технологическая и организационно-техническая характеристика технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

Для описания конструктивно-технологической и организационно-технической характеристики технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 составлен технологический паспорт, представленный в таблице 6.

Таблица 6 – 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	Рожковые ключи, специальный ключ, индикатор, набор щупов, плоскогубцы	Перчатки, краска, ветошь, масло трансмиссионное

5.2 Идентификация профессиональных рисков

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

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

Сводная информация по идентификации профессиональных рисков при обслуживании модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Идентификация профессиональных рисков

Выполняемая работа	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
1 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	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	Электроинструмент,

Продолжение таблицы 7

Выполняемая работа	ОиВПФ в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»	Источник возникновения ОиВПФ
	поражения электрическим током	стенд для обкатки ведущих мостов
	Отсутствие или недостаток естественного света	Недостаточное количество окон, световых колодцев в помещении, где производится технологический процесс
	Динамические нагрузки. Статические, связанные с рабочей позой	«Однообразно повторяющиеся технологические операции. Операции требующие повышенного внимания и точности» [12].
	Напряжение зрительных анализаторов	
	Монотонность труда, вызывающая монотонию	

5.3 Методы и средства снижения профессиональных рисков

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

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

установленных уполномоченным Правительством Российской Федерации федеральным органом исполнительной власти нормативов (гигиенических нормативов) условий труда и применения средств индивидуальной и коллективной защиты работников» [12].

«Основные мероприятия:

- а) проведение специальной оценки условий труда (далее – СОУТ) позволяет оценить условия труда на рабочих местах и выявить О и ВПФ и тем самым выполнить некоторые обязанности работодателя, предусмотренные Трудовым кодексом РФ:
 - 1) информировать работников об условиях и охране труда на рабочих местах, о риске повреждения здоровья, предоставляемых им гарантиях, полагающихся им компенсациях и средствах индивидуальной защиты;
 - 2) разработать и реализовать мероприятия по приведению условий труда в соответствие с государственными нормативными требованиями охраны труда;
 - 3) установить компенсации за работу с вредными и (или) опасными условиями труда» [12].
- б) «обеспечение работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, производимых в особых температурных и климатических условиях или связанных с загрязнением, средствами индивидуальной защиты, смывающими и обезвреживающими средствами;
- в) устройство новых и (или) модернизация имеющихся средств коллективной защиты работников от воздействия опасных и вредных производственных факторов;
- г) приведение уровней естественного и искусственного освещения на рабочих местах, в бытовых помещениях, местах прохода работников в соответствие с действующими нормами;

- д) устройство новых и (или) реконструкция имеющихся мест организованного отдыха, помещений и комнат релаксации, психологической разгрузки, мест обогрева работников, а также укрытий от солнечных лучей и атмосферных осадков при работах на открытом воздухе; расширение, реконструкция и оснащение санитарно-бытовых помещений;
- е) обеспечение хранения средств индивидуальной защиты, а также ухода за ними (своевременная химчистка, стирка, дегазация, дезактивация, дезинфекция, обезвреживание, обеспыливание, сушка), проведение ремонта и замена СИЗ;
- ж) приобретение стендов, тренажеров, наглядных материалов, научно-технической литературы для проведения инструктажей по охране труда, обучения безопасным приемам и методам выполнения работ, оснащение кабинетов (учебных классов) по охране труда компьютерами, теле-, видео-, аудиоаппаратурой, лицензионными обучающими и тестирующими программами, проведение выставок, конкурсов и смотров по охране труда;
- з) обучение лиц, ответственных за эксплуатацию опасных производственных объектов;
- и) оборудование по установленным нормам помещения для оказания медицинской помощи и (или) создание санитарных постов с аптечками, укомплектованными набором лекарственных средств и препаратов для оказания первой помощи;
- к) и других мероприятий в рамках действующего законодательства (нормативно-правовых актов) РФ» [12].

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

Мероприятия по снижению профессиональных рисков представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Мероприятия по снижению профессиональных рисков

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
«Движущиеся машины и механизмы, подвижные части оборудования»	Организационно-технические мероприятия: – инструктажи по охране труда; – содержание технических устройств в надлежащем состоянии	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях автомобиля»	Выполнение на регулярной основе планово-предупредительного обслуживания. Эксплуатация технологического оборудования в строгом соответствии с инструкцией. Санитарно-гигиенические мероприятия: – обеспечение работника СИЗ, смывающими и обеззараживающими средствами; – предохранительные устройства для предупреждения перегрузки оборудования. – знаки безопасности, цвета, разметка по ГОСТ 12.4.026-2015; обеспечение дистанционного управления оборудованием	Спецодежда, соответствующая выполняемой работе (спецобувь, спецодежда, средства защиты органов дыхания, зрения, слуха)» [12].
«Повышенный уровень шума»	Применение звукоизоляции, звукопоглощения, демпфирования и глушителей шума (активных, резонансных, комбинированных); группировка шумных помещений в одной зоне здания и отделение их коридорами; введение регламентированных дополнительных перерывов; проведение обязательных медосмотров	Защитные противошумные наушники, беруши противошумные» [20].
«Возможность поражения электрическим током»	Оформление допуска по электробезопасности, проведение инструктажа по работе с электрическими установками,	Индивидуальные защитные и экранирующие комплекты для защиты от электрических полей» [12].

Продолжение таблицы 8

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
	применение заземляющего устройства	
«Отсутствие или недостаток естественного света	Устройство дополнительных световых проемов в стенах, фонарей на крыше здания» [28]	–
«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 оснащенности средствами комплексной и малой механизации; – используемые в работе оборудование и предметы должны быть удобно и рационально расположены на столе» [30]. 	–
«Монотонность труда	<ul style="list-style-type: none"> – объединение малосодержательных операций в более сложные и разнообразные: 1. длительность объединенных операций не должна превышать 10-12 мин, иначе это повлечет снижение производственных показателей; – чрезмерное укрупнение операций может не соответствовать уровню квалификации работника. При совмещении профессий следует учитывать перенос (положительное) и интерференцию (отрицательное) взаимодействие навыков новой и совмещаемой профессии» [30]. Должны загружаться различные 	–

Продолжение таблицы 8

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
	<p>психофизиологические функции работника;</p> <ul style="list-style-type: none"> – «внедрение научно обоснованных режимов труда и отдыха для предотвращения возникновения у работающих на монотонных работах отрицательных психологических состояний (психологического пресыщения, скуки, сонливости, апатии) в структуру режима труда и отдыха включают функциональную музыку, которая стимулирует двигательную активность и вызывает у работников приятные эмоции; применение методов эстетического воздействия во время работы, что способствует улучшению психологических условий труда и включает озеленение, цветовой интерьер, оптимальную освещенность рабочего места, снижение шума, вибрации, запыленности и загазованности; – отбор работников на основе учета их индивидуальных психофизиологических особенностей; разработку и регулярное применение систем морального и материального стимулирования; – усложнение обязанностей в процессе дежурства, а именно выполнение дополнительных задач по изучению техники, ведение записей в журнале; – выбор компромиссной продолжительности периодического дежурства исходя из назначения системы человек-машина» [20].; 	

Продолжение таблицы 8

ОиВПФ	Организационно-технические методы и технические средства (способы, технические устройства) защиты, частичного снижения или полного устранения ОиВПФ	Средства индивидуальной защиты
	<ul style="list-style-type: none"> – «установление оптимальной длительности ежесуточного пассивного отдыха (сна без перерывов) не менее 7 час (при отсутствии экстренной необходимости его прерывания); – чередование пассивного отдыха с активным» [15]. 	

5.4 Обеспечение пожарной безопасности технического объекта

Проводим идентификацию источников потенциального возникновения класса пожара и выявленных опасных факторов пожара (таблица 9).

Таблица 9 – 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].

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

В статье 42 Федерального закона «Технический регламент о

требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ представлена классификация пожарной техники:

- «системы, установки АПС (автоматическая пожарная сигнализация), АУПТ (автоматическая установка пожаротушения), СОУЭ (системы оповещения и управления эвакуацией), пожарной связи, автоматики;
- первичные: мобильные средства пожаротушения (все виды огнетушителей, пожарные краны, пожарный инвентарь);
- пожарное оборудование;
- средства индивидуального/группового самоспасения (далее – СИЗ), защиты органов дыхания;
- ручной, механизированный инструмент» [12].

«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 – 1шт.;
- 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» [26].

Выполним разработку мероприятий по соблюдению требований пожарной безопасности в целях обеспечения пожарной безопасности,

определяющих порядок поведения людей, порядок организации производства и (или) содержания территорий.

Перечень мероприятий по пожарной безопасности при обслуживании модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 представлен в таблице 10.

Таблица 10 – 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 ГОСТ	Знаки пожарной безопасности и знаки безопасности по охране труда, 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]

5.5 Обеспечение экологической безопасности рассматриваемого технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555

Выполняем идентификацию негативных (вредных, опасных) экологических факторов, возникающих при технологическом процессе обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 и сведем их в таблицу 11.

Таблица 11 – 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].

Выполним разработку мероприятий, направленных на снижение негативного антропогенного воздействия при обслуживании модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555:

- «атмосферу – применение фильтрующих элементов в вытяжных устройствах и своевременная их замена;
- гидросферу – «контроль за процессами утилизации и захоронения выбросов, стоков и осадков сточных вод. Персональная ответственность за охрану окружающей среды;
- литосферу – спецодежда, пришедшая в негодность, применяется как вторичное сырье при производстве ветоши, металлический лом,

стружка отправляется на переплавку, твердые бытовые / коммунальные отходы сортируются и перерабатываются / сжигаются, отработанное масло собирается и перерабатывается» [22].

Выводы по разделу.

В разделе «Безопасность и экологичность технического объекта»:

- разработан Технологический паспорт производственно-технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 (таблица 6);
- выявлены профессиональные риски при технологическом процессе технологического процесса обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 (таблица 7) и определены методы и средства их снижения (таблица 8);
- идентифицирован класс и опасные факторы пожара, разработаны мероприятия по обеспечению пожарной безопасности при технологическом процессе обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 (таблицы 9, 10);
- идентифицированы экологические факторы, возникающие при технологическом процессе обслуживания модернизированного заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 и разработаны мероприятия по их снижению (таблица 11).

6 Экономическая эффективность проекта

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

$$C_{\text{КОИ}} = C_{\text{К.Д}} + C_{\text{О.Д}} + C_{\text{СБ.П}} + C_{\text{П.Д}} + C_{\text{О.Н}}, \quad (95)$$

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].

В данной конструкторской разработке по модернизации заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 корпусные детали не изготавливаются, 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:

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

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.

$$t = 4 \cdot t_{\text{сателлита}},$$

$$t = 4 \cdot 2,3 = 9,2 \text{ чел.-ч.}$$

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

k_i – 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 июня 2022 года МРОТ составляет 15279 р.

Принимаем тарифную ставку из учета МРОТ для первого разряда: $15279 / (7 \cdot 21) = 103,94$ р./ч. Для остальных разрядов с учётом тарифной сетки: I – 1,0; II – 1,12; III – 1,26; IV – 1,42; V – 1,60; VI – 1,80. Дальнейшие расчёты ведём по IV разряду: $103,94 \cdot 1,42 = 147,59$ р./ч.

$$C_{\text{ИП}} = 9,2 \cdot 147,59 \cdot 1,03 = 1398,56 \text{ р.}$$

Определяем дополнительную заработную плату по формуле:

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

$$C_{\text{Д}} = 10 \cdot 1398,56 / 100 = 139,85 \text{ р.}$$

Начисления на заработную плату определяем по формуле:

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (C_{\text{пр}} + C_{\text{д}}) / 100, \quad (99)$$

$$C_{\text{соц}} = 30 \cdot (1398,56 + 139,85) / 100 = 461,52 \text{ р.},$$

$$C_{\text{сипр}} = 2173,85 + 217,38 + 717,36 = 3108,59 \text{ р.}$$

В таблице 12 представлена заработная плата на изготовление оригинальных деталей.

Таблица 12 – Заработная плата на изготовление оригинальных деталей

Значение	Сумма, руб.
Заработная плата	1398,56
Дополнительная заработная плата	139,85
Начисления на заработную плату	461,52
Итого:	3108,59

«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 13 представлена стоимость материала для изготовления оригинальных деталей.

Таблица 13 – 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 20ХНЗА	4	50	83,5	4175
Итого:	–	–	–	–	4175

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

$$C_{од} = 1398,56 + 4175 = 5573,56 \text{ р.}$$

«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 определится:

$$C_{CB} = 6 \cdot 147,59 \cdot 1,03 = 912,1 \text{ р.,}$$

$$C_{Д.СБ} = 0,1 \cdot 912,1 = 91,21 \text{ р.,}$$

$$C_{СОЦ.СБ} = 0,3 \cdot (912,1 + 91,21) = 300,93 \text{ р.}$$

$$C_{СБ.П} = 912,1 + 91,21 + 300,93 = 1304,24 \text{ р.}$$

В таблице 14 представлена полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке.

Таблица 14 – Полная заработная плата производственных рабочих, занятых на сборке

Значение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	912,1
Дополнительная заработная плата	91,21
Страховые взносы в фонды	300,93
Итого	1034,24

«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].

$$C'_{IP} = (C_{IP} + C_{CB}). \quad (105)$$

Подставив числовые значения в формулы (014, 105) получим:

$$C'_{IP} = 1398,56 + 912,1 = 2310,66 \text{ р.}$$

$$C_{OH} = \frac{(2310,66 \cdot 15)}{100} = 346,6 \text{ р.}$$

Для данной конструкции необходимо приобрести прокладки, масло в мост и метизы. Перечень покупных деталей представлен в таблице 15 [27].

Таблица 15 – Затраты по статье «Материалы» на конструкторскую разработку

Значение	Количество, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Прокладка	4	500	2000
Болт	10	35,0	350
Гайка	10	25,0	250
Шайба	10	15,0	150
Масло Mobilube GX 85W/90A в ведущий мост (20 л.)	1	17700	17700
Итого:			20450

$$C_{ИД} = 2000 + 350 + 250 + 150 + 17700 = 20450 \text{ р.}$$

Определим затраты на изготовление конструкции и сведем их в таблицу 16.

$$C_{КОИ} = 0 + 5573,56 + 1304,24 + 346,6 + 20450 = 27674,4 \text{ р.}$$

Таблица 16 – Затраты на изготовление конструкции

Значение	Сумма, руб.
Стоимость изготовления корпусных деталей	0
Затраты на изготовление оригинальных деталей	5573,56
Затраты на сборку	1304,24
Общепроизводственные накладные расходы	346,6

Продолжение таблицы 16

Значение	Сумма, руб.
Стоимость покупных изделий (деталей)	20450
Итого:	27674,4

Общие затраты на модернизацию заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 равны 27674,4 руб. Стоимость комплекта с установкой на автомобиль составит (1,125 – коэффициент, учитывающий монтаж) 31133,7 р.

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

«Годовая экономия от снижения себестоимости при внедрении конструкции составит:

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

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

$$\mathcal{E}_Г = 45000 - 27674,4 = 17325,6 \text{ р.}$$

Срок окупаемости определяем по формуле:

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

$$O_{ОК} = \frac{27674,4}{17325,6} = 1,59 \text{ года.}$$

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции составит:

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

$$\mathcal{E}_{ЭФ} = 17325,6 - 0,15 \cdot 27674,4 = 13174,44 \text{ р.}$$

В таблице 17 представлены основные показатели проекта.

Таблица 17 – Основные показатели проекта

Показатели	Единица измерения	Значение	
		До внедрения	После внедрения
Стоимость изготовления конструкции	р.	45000	27674,4
Экономия от снижения трудоемкости при внедрении конструкции	р.	-	17325,6
Экономический эффект	р.	-	13174,44
Срок окупаемости	год	-	1,59

Выводы по разделу.

В разделе «Экономическая эффективность проекта» определена эффективность модернизации заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 с экономической стороны. Стоимость модернизации заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 составляет 27674,4 рублей, срок окупаемости равен 1,59 года, что является допустимым для данной конструкции.

Заключение

В данном дипломном проекте был модернизирован планетарный редуктор заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 грузоподъемностью 60 тонн.

В результате тягово-динамического расчёта были определены передаточные числа на каждой передаче, обороты, крутящие моменты и мощность, как на насосном, так и на турбинном колёсах.

По результатам геометрического расчета для зубчатых передач планетарного редуктора, были определены основные параметры зубчатых колес, после чего были проведены проверочные расчеты на прочность. В прочностном расчете был проверен на прочность ось заднего ведущего моста.

После прочностного расчёта зубчатых колёс планетарного редуктора были определены коэффициенты запаса прочности для опасных сечений, с целью проверки правильного выбора зубчатых колёс и правильности расчётов. Во всех случаях прочность соблюдена.

Выполнено обоснование выбора технологического процесса, определена трудоемкость сборки, составлен технологический процесс сборки планетарного редуктора заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.

Рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения безопасности, экологичности модернизации планетарного редуктора заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555.

Определена эффективность модернизации планетарного редуктора заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 с экономической стороны.

Стоимость модернизации заднего ведущего моста карьерного самосвала БелАЗ-7555 составляет 27674,4 рублей, срок окупаемости равен 1,59 года, что является допустимым для данной конструкции.

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 : [руководство по эксплуатации] / СССР, Автоэкспорт. - Москва : Внешторгиздат, [1984]. - 300 с.
- 3 Автомобили-самосвалы БелАЗ-546, БелАЗ-549В, БелАЗ-7519, БелАЗ-75191 и автопоезда-углевозы БелАЗ-7420-9590 и БелАЗ-74201-9590 : Инструкция по эксплуатации / Министерство автомобильной промышленности. - Москва, 1984. - 400 с.
- 4 Автотранспортные средства. Основы конструирования : учебное пособие / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева», [Институт информационных технологий, машиностроения и автотранспорта] ; составители А. В. Буянкин, В. Г. Ромашко. - Кемерово : КузГТУ, 2021. - 203 с.
- 5 Ануриев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя : В 3-х т. / В. И. Ануриев. - 6-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 1982-. - 22 см. Т. 2. - М. : Машиностроение, 1982. - 584 с.
- 6 Блинов Е. И. Автомобиль и трактор: энергетика сложных механических систем [Текст] : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Наземные транспортно-технологические средства» / Е. И. Блинов ; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное гос. бюджетное образовательное учреждение высш. проф.

образования Московский гос. ун-т приборостроения и информатики. - Москва : МГУПИ, 2014. - 113 с.

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

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

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

10 Воронов Д. Ю. Разработка сборочных технологических процессов [Электронный ресурс] : электронное учебно-методическое пособие / Д. Ю. Воронов, А. В. Щипанов ; Министерство образования и науки Российской

Федерации, Тольяттинский государственный университет, Институт машиностроения, Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства». - Тольятти : Тольяттинский гос. ун-т, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM) : ил.; 12 см.

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

12 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.

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

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

15 Демура Н. А. Экономика предприятия [Текст] : учебное пособие для студентов специальности 23.05.01 - Наземные транспортно-технологические

средства и направления подготовки 15.03.02 - Технологические машины и оборудование / Н. А. Демура, Л. И. Ярмоленко ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова, 2018. - 124 с.

16 Ковальчук Л. И. Динамика и основы конструирования автомобильных двигателей [Текст] : учебное пособие по курсовому проектированию для студентов направления подготовки 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профилей подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство» и «Автомобильный сервис» всех форм обучения / Л. И. Ковальчук ; Федеральное агентство по рыболовству, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Калининградский государственный технический университет», Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота. - Калининград : Изд-во БГАРФ, 2018. - 123 с.

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

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

19 Макридина М. Т. Проектирование металлических конструкций [Текст] : учебное пособие для студентов направления бакалавриата 23.03.02 - Наземные транспортно-технологические комплексы и специальности

23.05.01 - Наземные транспортно-технологические средства / М. Т. Макридина, А. А. Макридин ; М-во образования и науки Российской Федерации Белгородский гос. технологический ун-т им. В. Г. Шухова. - Белгород : Белгородский гос. технологический ун-т (БГТУ) им. В. Г. Шухова, 2014. - 170 с.

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

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

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

23 Основы процесса производства и эксплуатации автомобилей и тракторов : учебное пособие : специальность 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное

образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова» ; составители: А. В. Русинов [и др.]. - Саратов : Амирит, 2022. - 116 с.

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

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

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

27 Савкин А. Н. Основы расчетов на прочность и жесткость типовых элементов транспортных средств [Текст] : учебное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 190109 «Наземные транспортно-технологические средства» / А. Н. Савкин, В. И. Водопьянов, О. В. Кондратьев ; М-во образования и науки Российской

Федерации, Волгоградский гос. технический ун-т. - Волгоград : ВолгГТУ, 2014. - 211 с.

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

29 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.

30 Шубин А. А. Разработка технологического процесса изготовления детали [Текст] : учебное пособие к выполнению курсового проекта по дисциплине «Технология производства наземных транспортно-технологических средств» / А. А. Шубин ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Национальный исследовательский университет), Калужский филиал. - Калуга : Манускрипт, cop. 2018. - 65 с.

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

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

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

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

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

Приложение А Спецификации

		Перед. элемент			Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание			
		Формат	Зона	Поз.							
						<u>Документация</u>					
		A4			22.ДППЭА.14.9.61.00.000.ПЗ	Пояснительная записка	1				
		A1			22.ДППЭА.14.9.61.00.000.В0	Чертеж общего вида	1				
						<u>Сборочные единицы</u>					
Сбор. №			1		22.ДППЭА.14.9.61.01.000	Зеркало заднего вида	2				
			2		22.ДППЭА.14.9.61.02.000	Передние фары	2				
			3		22.ДППЭА.14.9.61.03.000	Подъемная лестница	1				
			4		22.ДППЭА.14.9.61.04.000	Водительское сиденье	1				
			5		22.ДППЭА.14.9.61.05.000	Дворники	2				
			6		22.ДППЭА.14.9.61.06.000	Огнетушитель	1				
			7		22.ДППЭА.14.9.61.07.000	Передние колеса	1				
			8		22.ДППЭА.14.9.61.08.000	Кабина	1				
			9		22.ДППЭА.14.9.61.09.000	Защитное ограждение	1				
			10		22.ДППЭА.14.9.61.10.000	Парус дампера	1				
			11		22.ДППЭА.14.9.61.11.000	Кузов	1				
			12		22.ДППЭА.14.9.61.12.000	Гидроцилиндр подъема	1				
			13		22.ДППЭА.14.9.61.13.000	Передний мост	1				
			14		22.ДППЭА.14.9.61.14.000	Задний мост	1				
					22.ДППЭА.14.9.61.00.000						
Инв. № подл.	Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Общий вид Белаз-7555		Лит.	Лист	Листов	
	Разраб.	Лебедев								1	
	Проб.	Тизилов						ТГУ, ИМ, гр. АТС-1701а			
	И.контр.	Тизилов									
	Утв.	Бобровский									
					Копировал		Формат А4				

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

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол	Примечание
<i>Документация</i>						
А1			22.ДП.ПЭА.14.9.61.00.000.СБ	Сборочный чертёж	2	
<i>Сборочные единицы</i>						
		5	22.ДП.ПЭА.14.9.61.05.000	Клапан	2	
		7	22.ДП.ПЭА.14.9.61.07.000	Картер заднего моста	1	
		8	22.ДП.ПЭА.14.9.61.08.000	Главная передача	1	
		9	22.ДП.ПЭА.14.9.61.09.000	Полуось заднего моста	2	
		10	22.ДП.ПЭА.14.9.61.10.000	Шестерня коронная	2	
		11	22.ДП.ПЭА.14.9.61.11.000	Водило	2	
		13	22.ДП.ПЭА.14.9.61.13.000	Рычаг	1	
		16	22.ДП.ПЭА.14.9.61.16.000	Ступица	2	
		19	22.ДП.ПЭА.14.9.61.19.000	Корпус	4	
		23	22.ДП.ПЭА.14.9.61.23.000	Пробка М42	1	
		24	22.ДП.ПЭА.14.9.61.24.000	Цилиндр	1	
<i>Детали</i>						
		28	22.ДП.ПЭА.14.9.61.00.028	Прокладка	2	
		30	22.ДП.ПЭА.14.9.61.00.030	Втулка	2	
		31	22.ДП.ПЭА.14.9.61.00.031	Прокладка картера	1	
		35	22.ДП.ПЭА.14.9.61.00.035	Уплотнитель	2	
22.ДП.ПЭА.14.9.61.00.000						
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Задний мост с тормозами, ступицами и рычагом	
Разраб.	Лист	Листов				
Проб.	Лист	Листов				
Н.контр.	Лист	Листов				
Утв.	Лист	Листов			ТГУ, ИМ, гр. АТС-1701а	
Копировал Формат А4						

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

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Лист	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание				
		36	22.ДППЭА.14.9.61.00.036	Прокладка крышки водила	2					
		45	22.ДППЭА.14.9.61.00.045	Гайка подшипников	2					
		46	22.ДППЭА.14.9.61.00.046	Стопор гайки	2					
		47	22.ДППЭА.14.9.61.00.047	Кольцо распорное	2					
		48	22.ДППЭА.14.9.61.00.048	Втулка	8					
		49	22.ДППЭА.14.9.61.00.049	Болт специальный	8					
		57	22.ДППЭА.14.9.61.00.057	Вилка штока	1					
		58	22.ДППЭА.14.9.61.00.058	Пластина	1					
		59	22.ДППЭА.14.9.61.00.059	Палец	1					
				<u>Стандартные изделия</u>						
		65		Болт М8-6х16.68.019 ГОСТ 7796-70	2					
		67		Болт М12-6х25.68.019 ГОСТ 7796-70	18					
		69		Болт М18-6х55.68.019 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					
				<u>Прочие изделия</u>						
		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					
Инв. № подл.	Взам инв. №	Инв. № дубл.	Лист и дата	Лист и дата	22.ДППЭА.14.9.61.00.000					Лист 2
Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата	Копировал					Формат А4

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

Продолжение Приложения А

Листы документа		Формат	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание	
		Зона					Лист
Справ. №				<u>Документация</u>			
		A1	22.ДППЭА.14.9.62.00.000.СБ	Сборочный чертёж	2		
					<u>Сборочные единицы</u>		
		2	22.ДППЭА.14.9.62.02.000	Корпус			
		3	22.ДППЭА.14.9.62.03.000	Шестерня коронная			
		5	22.ДППЭА.14.9.62.05.000	Крышка редуктора			
		6	22.ДППЭА.14.9.62.06.000	Труба			
		8	22.ДППЭА.14.9.62.08.000	Ось			
		10	22.ДППЭА.14.9.62.10.000	Сателлит			
Листы и дата		12	22.ДППЭА.14.9.62.12.000	Ось сателлита			
		14	22.ДППЭА.14.9.62.14.000	Солнечная шестерня			
		15	22.ДППЭА.14.9.62.15.000	Крышка			
					<u>Детали</u>		
Взам инв. №		1	22.ДППЭА.14.9.62.00.001	Болт специальный	8		
		4	22.ДППЭА.14.9.62.00.004	Подшипник	2		
		7	22.ДППЭА.14.9.62.00.007	Втулка дистанционная	1		
Листы и дата							
Инв. № лист				22.ДППЭА.14.9.62.00.000			
		Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	
		Разраб.	Лебедев				Планетарный механизм заднего ведущего моста после модернизации (4 сателлита)
		Проб.	Тизилов				
		Н.контр.	Тизилов				ТГУ, ИМ, гр. АТС-1701а
Утв.	Бабровский						

Копировал

Формат А4

Рисунок А.4 – Спецификация на планетарный механизм заднего ведущего моста Белаз-7555 после модернизации

Продолжение Приложения А

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Приме- чание
				<i>Стандартные изделия</i>		
		9		Болт М8-6х16.68.019 ГОСТ 7796-70	2	
		11		Подшипник тип 42000 ГОСТ 8328	2	
		13		Прокладка под крышку	2	
Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата		
					22.ДП.ПЭА.14 9.62.00.000	Лист
						2
Изм. Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Леддев Тизилов		
Копировал				Формат А4		

Рисунок А.5 – Спецификация на планетарный механизм заднего ведущего моста Белаз-7555 после модернизации