

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Политехнический институт

институт

Транспорт

кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_»

\_\_\_\_\_20\_\_г.

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Методика выбора видов технических воздействий агрегатов большегрузной  
техники на основе размерных параметров

\_\_\_\_\_

тема

23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

\_\_\_\_\_

код и наименование направления

23.04.03.01 Автомобильный сервис

\_\_\_\_\_

код и наименование магистерской программы

Руководитель

\_\_\_\_\_

подпись, дата

Доцент, канд. технич. наук

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

С.В. Хмельницкий

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Выпускник

\_\_\_\_\_

подпись, дата

А.В. Толстой

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Рецензент

\_\_\_\_\_

подпись, дата

\_\_\_\_\_

должность, ученая степень

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Политехнический институт

---

институт

Транспорт

---

кафедра

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

подпись

\_\_\_\_\_

инициалы, фамилия

«\_\_\_\_\_»

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**

в форме

**Магистерской диссертации**

---

бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы, магистерской диссертации

Красноярск 2022

Студенту

Толстому Алексею Владимировичу

фамилия, имя, отчество

Группа

ФТ20-03М

Направление (специальность)

23.04.03

номер

код

Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

полное наименование

Тема выпускной квалификационной работы

Методика выбора видов

технических воздействий агрегатов большегрузной техники на основе  
размерных параметров

Утверждена приказом по университету № 16192/С от 15 октября 2020 г.

Руководитель ВКР

С.В. Хмельницкий кандидат технических наук,

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

доцент кафедры «Транспорт» ПИ СФУ

инициалы, фамилия, должность, ученое звание и место работы

Исходные данные для ВКР

Перечень разделов ВКР

1. Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследования
2. Теоретические и методические подходы к назначению гарантийных сроков эксплуатации на основе размерного анализа
3. Экспериментальные исследования
4. Результаты экспериментальных исследований
5. Экономическая целесообразность

Перечень графического материала  
работы представлены на слайдах

Материалы выпускной квалификационной

Руководитель ВКР

подпись

С.В. Хмельницкий

инициалы и фамилия

Задание принял к исполнению

А.В. Толстой

подпись, инициалы и фамилия студента

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Методика выбора видов технических воздействий агрегатов большегрузной техники на основе размерных параметров» содержит 146 страниц текстового документа, 93 использованных источников, 8 листов приложения, 21 таблица, 53 рисунка.

СЕРВИСНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, РЕМОНТ, ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ, ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, РЕСУРСНЫЙ ОТКАЗ, МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ, ГАРАНТИЙНАЯ НАРАБОТКА, ГАРАНТИЙНЫЙ ПЕРИОД

Цель работы: разработка методики назначения гарантийных сроков эксплуатации на основе размерного анализа.

Объект исследования: ремонтные воздействия, восстанавливающие работоспособность агрегатов большегрузных самосвалов.

Предмет исследования: закономерности, объединяющие изменение геометрических параметров деталей и поверхностей агрегатов относительно времени с удельными затратами на их эксплуатацию

Методы исследования: исследования заключается в разработке теоретических положений повышения эффективности функционирования большегрузных самосвалов.

В работе построена математическая модель ресурсных отказов деталей агрегатов большегрузных самосвалов на основе геометрических характеристик точности, позволяющая определять численные значения интервалов наработки, в которых формируются удельные затраты на эксплуатацию; рассмотрены закономерности, связывающие изменение затрат на проведение гарантийных ремонтов от назначенного гарантийного периода;

Результаты исследования планируется внедрить на одном из горнодобывающем предприятии России, расположенном в Иркутской области и занимающимся разработкой месторождения открытым способом.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследования.....	10
1.1 Постановка проблемы исследования.....	10
1.2 Отечественный и зарубежный опыт проведения ремонтно-восстановительных воздействий.....	11
1.3 Методология существующей системы ремонта большегрузных самосвалов.....	16
1.3.1 Причины изменения параметров технического состояния агрегатов большегрузных самосвалов.....	17
1.3.2 Анализ закономерностей изменения параметров технического состояния и математических методов прогнозирования износных характеристик агрегатов и механизмов.....	23
1.4 Методология размерного анализа в задачах повышения эффективности ремонтных воздействий.....	34
1.4.1 Развитие теории размерного анализа в сфере ремонтного производства.....	34
1.5 Выводы по первой главе.....	37
2 Теоретические и методические подходы к назначению гарантийных сроков эксплуатации на основе размерного анализа.....	39
2.1 Общий подход и формирование целевой функции.....	39
2.2 Способы описания строения сложных технических систем.....	43
2.3 Описание структурной модели элементов большегрузного самосвала.....	47
2.4 Выводы по второй главе.....	52
3 Экспериментальные исследования.....	53

3.1	Общая методика экспериментальных исследований.....	53
3.1.1	Структура методики экспериментальных исследований..	54
3.1.2	Объекты и направления экспериментальных исследований.....	54
3.2	Методика проведения экспериментальных исследований и сбора статистической информации.....	57
3.2.1	Обоснование плана экспериментальных исследований...	57
3.2.2	Натурный эксперимент.....	60
3.3	Методика оценки адекватности имитационной математической модели ресурсных отказов.....	62
3.4	Выводы по третьей главе.....	65
4	Результаты экспериментальных исследований.....	66
4.1	Анализ структуры и причин отказов агрегатов, поступающая в текущий или капитальный ремонт.....	66
4.2	Результат наработки на отказ, полученный модельным путем и в ходе натурального эксперимента.....	72
4.3	Анализ результатов математического моделирования гарантийной наработки.....	82
4.4	Выводы по четвертой главе.....	87
5	Экономическая целесообразность.....	88
5.1	Сравнение затрат при гарантийных и расчетных наработках.....	88
5.2	Выводы по пятой главе.....	93
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	94
	ПРИЛОЖЕНИЯ А - Л.....	103-146

## ВВЕДЕНИЕ

Карьерные самосвалы (горнотранспортное оборудование) являются неотъемлемой частью при разработке месторождений открытым способом. В процессе эксплуатации горнотранспортного оборудования возникают недопустимые отказы в работе, что интуитивно влияет на надежность [4]. Эти отказы могут возникнуть в следствии несоблюдения регламента технического обслуживания и ремонта [17], капитальных ремонтов, а также в результате физического износа сопрягаемых поверхностей деталей агрегатов.

При выявлении отказа, агрегаты подвергаются ремонтным воздействиям либо заменяют новыми, что сказывается на увеличении затрат, связанных с эксплуатацией горнотранспортного оборудования [2].

В какой-то степени снижение затрат на проведение ремонта горнотранспортного оборудования и повышением его ходимости, выраженной в эксплуатационных показателях, могут быть реализованы на основе восстановления сопрягаемых поверхностей деталей агрегатов. Практика показывает, что восстановление сопрягаемых поверхностей деталей агрегатов горнотранспортного оборудования, при использовании нестандартных методов и подходов на определенную долю вероятности сокращает простои, расход новых запасных частей, а в индивидуальных случаях увеличивает межремонтный интервал.

Предлагаем уделить внимание работам, направленным на изучение вопроса повышения эффективности процессов ремонтных воздействий на агрегаты в целом, рассматривая их как систему, состоящую из большого количества элементов.

В своей работе Е.Г. Кеян [49] пытается установить пути эффективного использования автомобилей в основу которых входит разработка и построение наиболее благоприятной плана текущего ремонта. С теоретической точки зрения условия основываются на теории процесса старения и восстановления машин.

Фундаментом данной работы служит расчет и введение ремонтных комплектов с обусловленной их заменой на основе экономических и математических критериев.

В.А. Бодров [13] в своей работе обозначил проблему увеличения эффективности применения ресурса агрегатов автомобилей. Пути решения данных задач заключается регламентирование процессов ремонта, так как отсутствие таковых, является основной причиной потери производственных затрат и средств технической поддержки автомобилей.

Для увеличения эффективности ремонтных воздействий необходима максимально точная и полная информация о техническом состоянии, а также условиях его эксплуатации исходного агрегата до начала ремонтных воздействий. Данные методы были реализованы в работе К.А. Смирнова [78], он предложил алгоритм проведения ремонтных воздействий двигателей на основании его технического состояния. У данного алгоритма есть небольшой недостаток, отсутствие математического учета величины неиспользованного ресурса деталей, подлежащих замене.

Работы вышеупомянутых авторов, посвященные диагностике, техническому обслуживанию и ремонту техники, описывают проблематику определения параметров технического состояния агрегатов. Данные исследования были рассмотрены на отдельных деталях или групп сопряжений, которые связывают индивидуальные структурные параметры с параметрами, полученные в ходе диагностирования агрегата. Мы же предполагаем, что каждый агрегат следует рассматривать как систему связанных между собой геометрических параметров, сконфигурированных в системе размерной модели особым образом. В процессе эксплуатации горнотранспортного оборудования (большегрузных самосвалов) в агрегатах происходит неравномерный износ поверхностей деталей, интенсивность износа которых может отличаться из-за отличия состава и групп поверхностей. Структура размерной модели агрегата с каждым разом изменяется, за счет замены деталей неисправной (отказавшей)

детали в процессе ремонта. Поэтому при каждом проведении ремонта с частичной заменой деталей происходит некое перераспределение размерных параметров точности в самой структуре агрегата. В связи с этим переход к более сложным процессам ремонтных воздействий, включая экономическую составляющую порождает необходимость создания или использования нового подхода и технологий ремонтных воздействий на агрегаты обслуживаемой техники, направленных для обеспечения максимальных ресурсных условий в процессе их эксплуатации. Разработка методики назначения гарантийных сроков эксплуатации на основе размерного анализа считается актуальной задачей.

## **1 Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследования**

### **1.1 Постановка проблемы исследования**

Работы авторов известные в научном кругу посвященные таким темам как диагностика, техническое обслуживание и ремонт техники, описывают проблематику определения параметров технического состояния агрегатов. Данные исследования были рассмотрены на отдельных деталях или групп сопряжений, которые связывают индивидуальные структурные параметры с параметрами, полученные в ходе диагностирования агрегата. Мы же предполагаем, что каждый агрегат следует рассматривать как систему связанных между собой геометрических параметров, сконфигурированных в системе размерной модели особым образом.

В процессе эксплуатации горнотранспортного оборудования (большегрузных самосвалов) в агрегатах происходит неравномерный износ поверхностей деталей, интенсивность износа которых может отличаться из-за отличия состава и групп поверхностей. Структура размерной модели агрегата с каждым разом изменяется, за счет замены деталей неисправной (отказавшей) детали в процессе ремонта. Поэтому при каждом проведении ремонта с частичной заменой деталей происходит некое перераспределение размерных параметров точности в самой структуре агрегата. В связи с этим переход к более сложным процессам ремонтных воздействий, включая экономическую составляющую порождает необходимость создания или использования нового подхода и технологий ремонтных воздействий на агрегаты обслуживаемой техники, направленных для обеспечения максимальных ресурсных условий в процессе их эксплуатации.

В связи с этим разработка методики назначения гарантийных сроков эксплуатации на основе размерного анализа представляется актуальной задачей. В данной работе рассмотрены результаты исследований модели принятия

решения о необходимости проведения ремонтов агрегатов карьерных самосвалов.

## **1.2 Отечественный и зарубежный опыт проведения ремонтно – восстановительных воздействий**

В настоящее время на карьерах горнодобывающих предприятий России и других стран используются большегрузные карьерные самосвалы разных марок, как собственного, так и зарубежного производства грузоподъемностью от 30 до 360 тонн. Данные самосвалы используются как для вскрышных работ, так и для перевозки рудной массы. Специфика карьерных самосвалов заключается в большой грузоподъемности, что несет использование достаточно габаритных и тяжелых узлов и агрегатов, которые в свою очередь требуют технического обслуживания и ремонта. Особенности и габариты узлов и агрегатов большегрузных самосвалов требуют специальных подходов к их обслуживанию и ремонту.

Проведенный обзор и последующий его анализ современных способов организации ремонта агрегатов показал, что существуют большое число производств, занимающихся ремонтом и восстановлением, отказавшим и отработавшим свой ресурс узлов, и агрегатов. Рассмотрим на примере одного из горнодобывающего предприятия России. Их можно разделить на три направления:

1. Официальные дилеры;
2. Так называемые центры «РЕМАН» (рассмотрим два крупных игрока Komatsu и Caterpillar);
3. Средние компании, занимающиеся сервисным обслуживанием и ремонтом карьерной техники на территории заказчика.

К первому направлению относятся официальные дилеры техники. Занимаются поставками оборудования, запасными частями и комплектующими

для горнодобывающих компаний и предприятий. На предприятиях такого типа узлы и агрегаты ремонтируют на площадях дилерских центров, а также проводят гарантийное и послегарантийное обслуживание подконтрольной техники. Принцип ремонта заключается в следующем, неисправный (отказавший) агрегат доставляют с территории заказчика на территорию исполнителя, далее агрегат разбирают и производят дефектовку всех деталей (с замерами всех размерных цепей), составляется ведомость дефектов с указанием деталей, которые необходимо заменить. Происходит согласование с заказчиком, при положительном решении заказчика производят ремонт агрегата, на который впоследствии предоставляется гарантия от 6 до 12 месяцев – в зависимости от производителя. Все запасные части, которые в процессе дефектации были забракованы – заменяются новыми, оригинальными.

Данные предприятия как правило располагаются географически ориентировано и имеющие логистические цепочки с крупными горнодобывающими компаниями.

Второе направление, это компании производители карьерной техники, которые создают программы и центры «РЕМАН» и осуществляют ремонт, восстановление узлов и агрегатов отработавшие свой ресурс. Здесь можно выделить двух крупных игроков — это Komatsu [81; 82] и Caterpillar [89; 69].

Проект «РЕМАН» является совместным инвестиционным проектом Komatsu и «Модерн Машинери Фар Ист». На сегодняшний день в мире существует 14 центров «РЕМАН», 2 из которых находятся на территории России – в г. Магадан и в г. Полысаево (Кемеровская область). Остановимся на нем более подробно.

Центр «РЕМАН» работает по принципу «trade in». Заказчик, сдаёт в «РЕМАН» отработавший ресурс агрегат Komatsu, и приобретает уже восстановленный агрегат за минусом стоимости старого. Размер стоимости зависит от состояния и степени износа отработанного ресурс агрегата.

Существуют 3 вида ремонта в соответствии с классификацией Komatsu:

### 1. Ремонт (Repair).

- демонтированные компоненты устанавливаются на исходные места в машине;

- используемые являются новыми. детали и качество могут отличаться от продукции «РЕМАН»;

- большинство используемых деталей

### 2. Капитальный ремонт (Rebuild).

- ремонт компонентов на технической базе дистрибьютора с использованием новых и бывших в эксплуатации запасных частей;

- не используется технология восстановления Komatsu.

### 3. Восстановление (Reman).

- использование новых оригинальных запасных частей или бывших в эксплуатации запасных частей, восстановленных по специальной технологии Komatsu;

- качество и характеристики восстановленного компонента, максимально приближенные к качеству и характеристикам нового;

- фирменная гарантия, аналогичная гарантии на новый компонент;

- снижении стоимости: цена восстановленного компонента «РЕМАН» составляет около 60% от стоимости нового.

Пример, на рисунке 1.1 показано взаимодействие и сроки выполнения заказа в зависимости от выбранного варианта ремонта компонента.

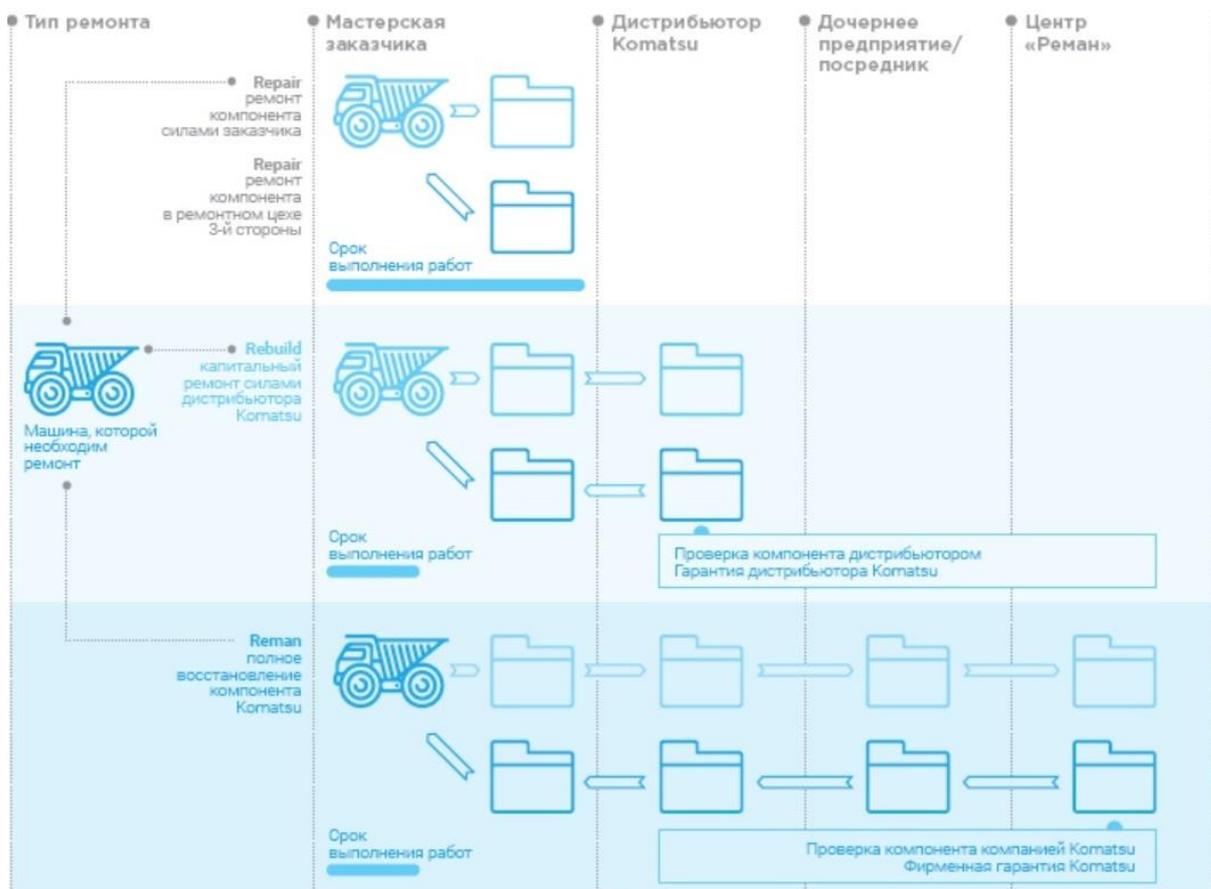


Рисунок 1.1 – Сроки выполнения заказа в зависимости от выбранного варианта ремонта компонента

В «РЕМАН» используют современное оборудование с использованием оригинальных запасных частей. Каждый агрегат проходит стендовую обкатку и только после этого ему присваивается свой серийный номер и отправляют Заказчику в удобное для него время. Восстановленный агрегат практически не отличается от нового. На него распространяется фирменная гарантия Komatsu, как на новую продукцию.

Подразделения Cat Reman завода Caterpillar, вот уже более сорока лет специализирующихся на восстановлении оригинальных использованных компонентов, узлов и агрегатов Cat.

В Cat Reman применяют высокотехнологичные передовые методы восстановления, жёсткие правила отбраковки, жесткий контроль качества.

Отремонтированному агрегату присваивается уникальный серийный номер, с учётом модернизированных конструктивных особенностей, с предоставлением гарантии, как на новый компонент. Все агрегаты (двигатель или маховик, турбокомпрессор или головка блока цилиндров (ГБЦ), коленчатый вал или масляный охладитель и т.д.) - каждый проходит соответствующие испытания, в процессе которых определяются его эксплуатационно-технические характеристики и гарантируется их совпадение с новым компонентом.

В список восстанавливаемых компонентов входят топливные насосы, форсунки, генераторы, стартеры, водяные и масляные насосы, узлы и компоненты трансмиссии, гидравлической системы и т.д. – всего более 7000 каталожных номеров, а также уникальны компоненты Cat Reman, которым нет аналогов среди новых, и детали которых уже сняты с производства:

- CYLINDER PACK - комплект цилиндропоршневой группы в сборе;
- SHORT BLOCK - блок цилиндров в сборе с коленвалом и цилиндропоршневой группой;
- LONG BLOCK - блок цилиндров с ГБЦ в сборе с коленвалом, распредвалом и передней структурой.

Суть программы Cat Reman:

1. Заказчик приобретает деталь Cat Reman, оплачивая полную её стоимость;
2. Заказчик сдает исполнителю использованную деталь CAT;
3. Исполнитель проводит инспекцию использованной детали CAT;
4. Исполнитель по результатам инспекции определяет выкупную стоимость использованной детали CAT;
5. Заказчик получает от исполнителя компенсацию стоимости детали Cat Reman, равную выкупной стоимости использованной детали CAT.

Критерии оценки стоимости использованных деталей:

- деталь является оригинальной запасной частью CAT и имеет соответствующий каталожный номер;

- отсутствуют повреждения, не связанные с эксплуатацией (неправильное обращение, чрезмерная ржавчина, химическое разъедание поверхностей, коррозия);

- деталь не имеет видимых трещин, разломов, следов сварки.

Чтобы вы не ждали поступления на склад детали Cat Reman, мы продадим Вам новую деталь по цене Cat Reman и выкупим Вашу использованную деталь CAT.

Третье направление - средние компании, занимающиеся сервисным обслуживанием и ремонтом, ремонтом узлов и агрегатов карьерной техники на территории и площадях заказчика.

В России есть все ресурсы для развития промышленности в области ремонтных работ. Показателем этого служит массовое распространение агрегатного вида ремонта.

### **1.3 Методология существующей системы ремонта большегрузных самосвалов**

В нашей стране принята планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта автомобилей, регламентированная «Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта», которая представляет собой совокупность средств, нормативно-технической документации и исполнителей, необходимых для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава. Данной системой предусматривается обеспечение работоспособного состояния подвижного состава автомобильного транспорта путём проведения планово-предупредительных работ по его техническому обслуживанию и ремонту. Планово-предупредительный характер системы технического обслуживания и ремонта определяется плановым и принудительным (через установленные пробеги или промежутки времени работы подвижного состава) выполнением

контрольно-диагностических операций с последующим выполнением по потребности необходимых работ.

Ремонтные предприятия стремятся к снижению себестоимости ремонта автомобилей и агрегатов. При этом необходимо обеспечить гарантии потребителей в послеремонтном ресурсе.

В данной работе выполнен обзор исследований, относящихся к улучшению процесса ремонта узлов и агрегатов большегрузных самосвалов. На мой взгляд можно выделить два основных направления:

- изучение причин изменения параметров технического состояния агрегатов большегрузных самосвалов;
- анализ закономерностей изменения этих параметров и методов математического прогнозирования износных характеристик агрегатов и механизмов.

### **1.3.1 Причины изменения параметров технического состояния агрегатов большегрузных самосвалов**

Заложенные при проектировании и производстве узлов и агрегатов большегрузных самосвалов размерные параметры изменяются в процессе увеличения наработки (в моточасах), а также условий эксплуатации.

Исследованию изменения параметров технического состояния агрегатов автомобилей и других транспортно-технологических машин посвящены работы таких выдающихся ученых как: А. С. Денисова, В. С. Лукинского, А. С. Проникова, А.Д. Ананьина, А.В. Бажинова, В.М. Власова, А.Б. Гузёма, А.С. Денисов, А.Н. Карташевич, В.А. Комаров, Ю.А. Микипорис, В.А. Острейковский и других.

Техническое состояние узлов и агрегатов большегрузных самосвалов можно описать следующими действиями [1; 5; 3; 4; 2; 11; 10; 14; 23; 25; 26; 31; 32; 48; 51; 50; 53; 54; 55; 61; 62; 63; 70; 72; 73; 79; 80; 83]: кавитация, термическое

разрушение, износ сопрягаемой поверхности, механическое разрушение, увеличенные или уменьшенные зазоры, прослабленные вал или отверстия подшипников и втулок. Многие работы по исследованию этих показателей, указывают на интенсивность изменения сопрягаемых поверхностей деталей агрегатов в процессе их эксплуатации.

В ходе изучения и анализа данных работ можно сделать вывод, что изменение технического состояния сопряжений деталей агрегатов, в процессе их эксплуатации характеризуется значительным рассеиванием размерных параметров. Коэффициент вариации при этом может располагаться в пределах 0,3–0,4. Такие значения говорят об небольшой тесноте связи экспериментальных данных и аналитических (экспоненциальных) зависимостей. При таком разбросе случайных величин трудно определить наработку до критического состояния, при котором произойдет отказ детали агрегата или агрегата в целом. Более того, для эффективного применения методик прогнозирования технического состояния по различным критериям необходим ряд нормативов:

- нормативное значение (размер) параметра;
- предельное, допустимое значение (размер) прогнозируемого параметра;
- периодичность;
- трудоемкость и другие.

Для разработки методов прогнозирования требуются зависимости, которые будут связывать параметры технического состояния агрегата с его наработкой.

При рассмотрении вопросов зависимости износа поверхности деталей в процессе их эксплуатации необходимо уделить внимание на классификацию отказов по системному признаку. Ниже на рисунке 1.2 приведен пример причин простоя большегрузных самосвалов за 2015 год на одном из горнодобывающих предприятия России.

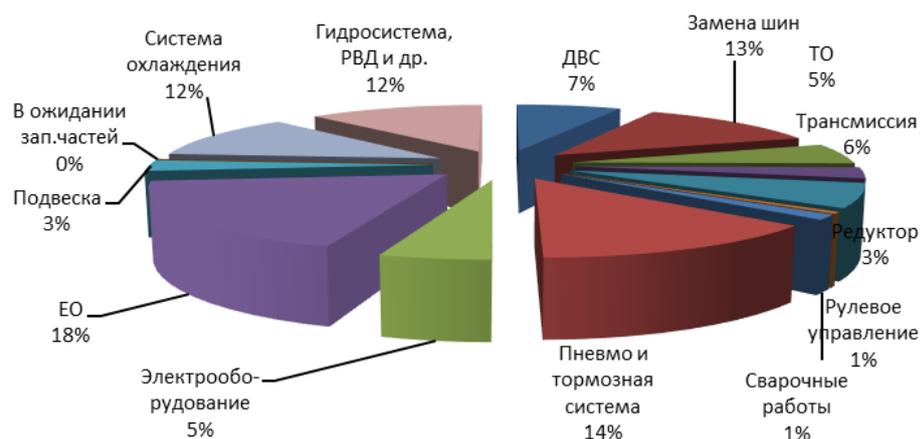


Рисунок 1.2 – Причины простоя большегрузных самосвалов, анализ за 2015 год

В ходе многолетнего сбора и конспектирования данных о неисправностях и отказах узлов и агрегатов большегрузных самосвалов, был проведен анализ причин возникновения отказов. Он показал, что 68% отказов агрегатов трансмиссии приходится на износ деталей; 20% отказов агрегатов трансмиссии приходится на усталость металлов; 12% приходится на внезапные отказы.

Если смотреть со стороны трудоёмкости устранения отказов, то 22,3% отказов относится к 1 группе сложности и расположены на первом уровне иерархии, которые устраняются ремонтом или заменой деталей [83].

Ко 2 группе сложности относится 66,4% отказов, устраняются ремонтом или заменой отдельных частей (навесного) агрегата без его разборки.

К третьей группе сложности относятся те 11,3% отказов, которые невозможно устранить без полной разборки агрегата.

В ходе многолетних наблюдений на золотодобывающих предприятиях Красноярского края и Иркутской области, за эксплуатацией большегрузных самосвалов одинаковых по структуре и разной грузоподъёмности от 90 до 136 тонн средняя наработка на отказ агрегатов различна, и не всегда совпадает с рекомендованными заводом изготовителем, что может свидетельствовать о разных эксплуатационных и климатических условиях, а также периодичности проведения ТО и ТР, использования рекомендованных смазочных материалах.

Путем сбора статистических данных о ремонтах, наработках агрегатов большегрузных самосвалов на одном из горнодобывающем предприятии России произвели имитацию требующихся видов ремонтных воздействий на детали агрегатов, с целью изыскания способа повышения ресурса деталей агрегата в период его жизненного цикла. Пример, письмо дилера Komatsu, касательно наработки основных узлов и агрегатов до капитального ремонта большегрузного самосвала Komatsu HD785-5 приведен в приложении А.

Для примера на рисунке 1.3 и рисунке 1.4 приведены аналитические данные горнодобывающего предприятия России о количестве отказов агрегатов большегрузных самосвалов после проведения капитальных ремонтов относительно нормативной наработки агрегата, отчетный период 2019-2020 ГОДЫ.

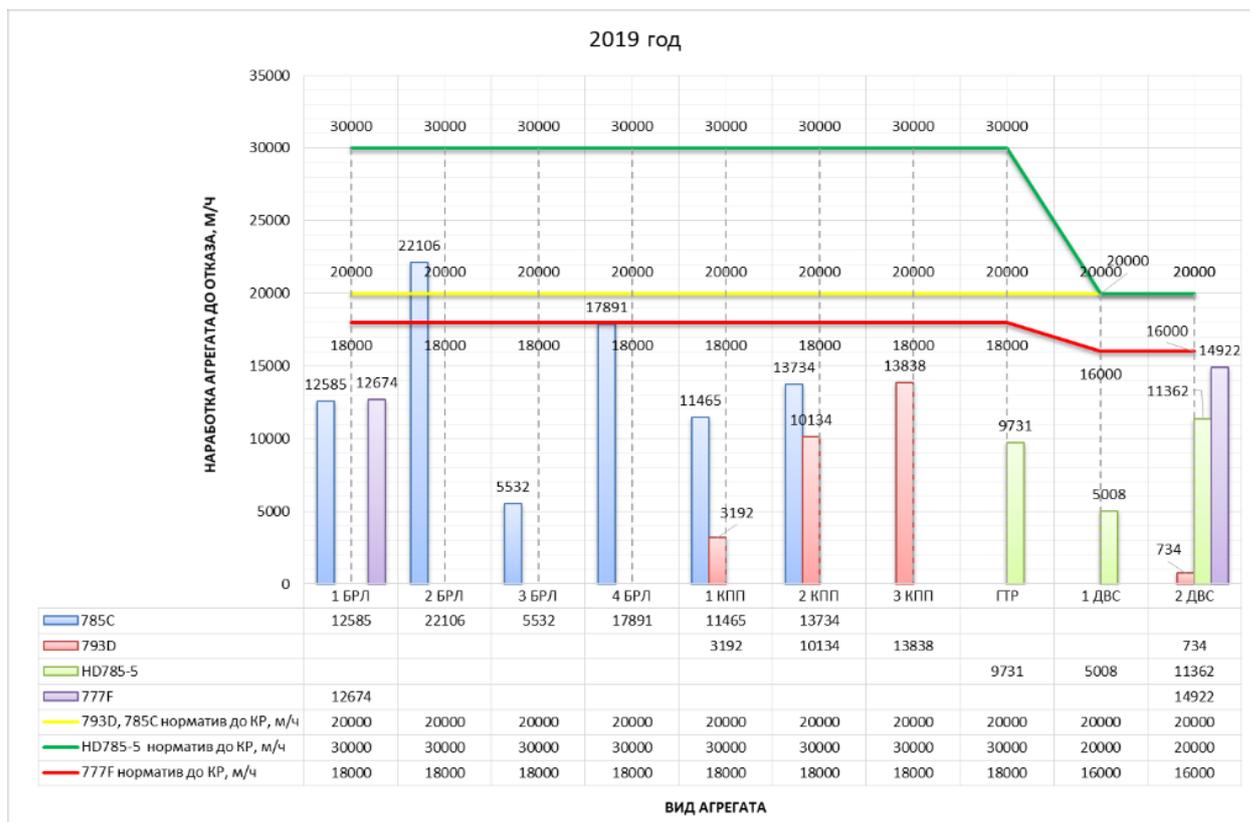


Рисунок 1.3 – Количество отказов агрегатов после проведения капитальных ремонтов за 2019 год

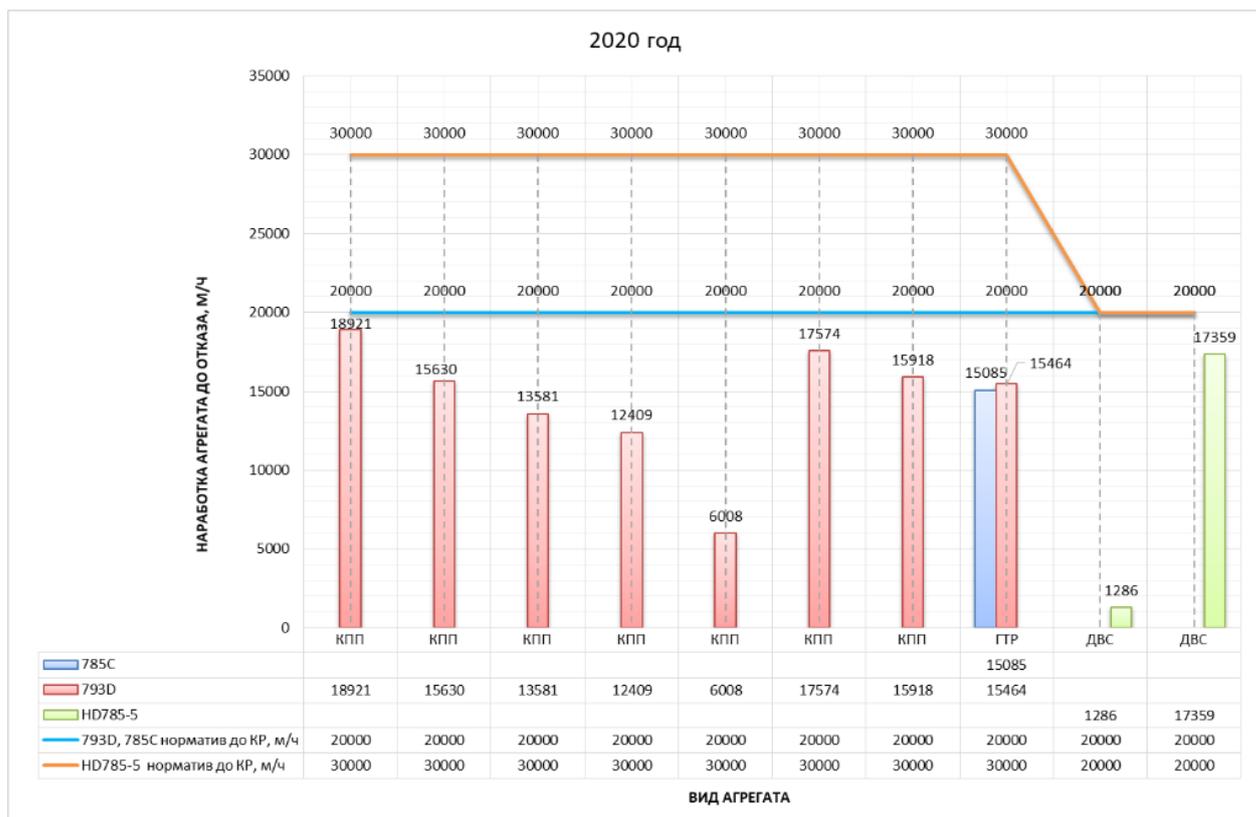


Рисунок 1.4 – Количество отказов агрегатов после проведения капитальных ремонтов за 2020 год

Анализируя полученные данные можно сказать, что остаточный ресурс агрегатов после ремонтных воздействий невысок, из них аварийных отказов 92%, отказ в гарантийный период 8%, т.е. 92% агрегатов не выхаживают свой нормативный срок ходимости заложенным производителем, а 8% агрегатов и вовсе отказывают в гарантийный период и рисунок 1.5 (а) и отказы по видам агрегатов рисунок 1.5 (б).

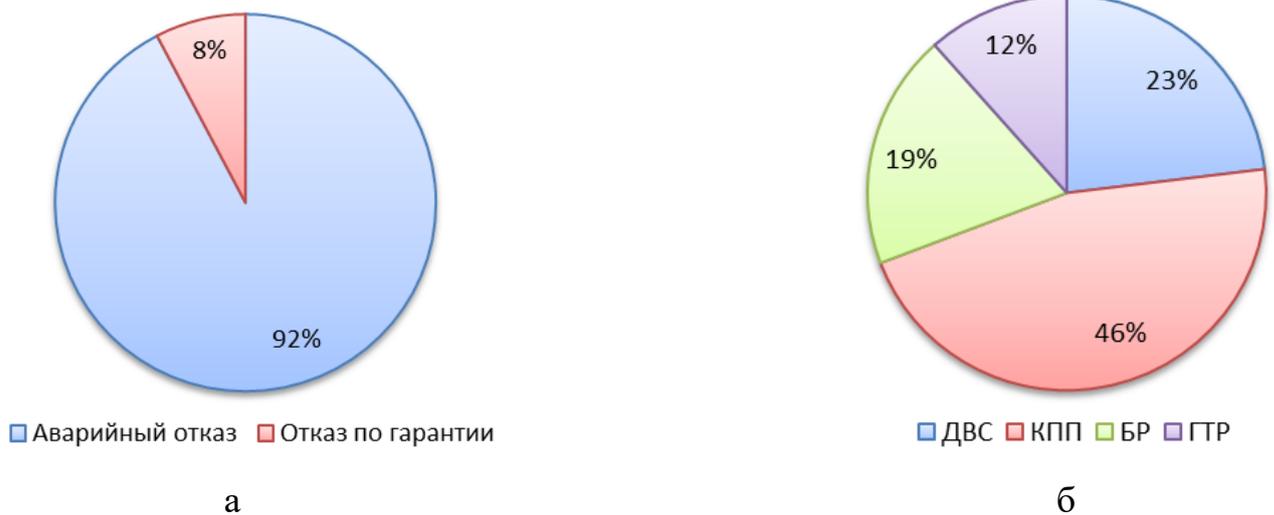


Рисунок 1.5 – Количество отказов агрегатов после проведения ремонтных воздействий за период 2019 - 2020 года (а) и отказы по видам агрегатов (б), в процентном соотношении

Это может указывать на низкую квалификацию персонала или неграмотное проведение процесса дефектации агрегата перед его ремонтом и в последствии сборки. Для того чтобы минимизировать, подойти с научной точки зрения к процессу принятия решения о необходимости проведения определенных видов ремонтных воздействий агрегатов и предлагаются вышеописанные механизмы формирования модели надежности агрегатов на основе величин размерных цепей и структуру износной размерной модели агрегата, которые в конечном итоге сократят незапланированные простои оборудования, затраты заказчика и поднимут на определенный уровень исполнителя, который должно внимание уделяет не только ремонту, но и научному подходу к выполнению поставленной задачи.

Из огромного числа процессов, которые напрямую или косвенно приводят к отказу деталей узлов и агрегатов, необходимо уделить особое внимание развитию случайных методов оценки ресурса, которые связаны с износом и усталостью.

Анализ данных статистики эксплуатационной надежности агрегатов большегрузных самосвалов показывает, что при соблюдении определенных условий эксплуатации есть определенное количество деталей агрегата, которые очень часто допускают отказы, при этом наработка агрегата остается неизменной, что влечет за собой финансовые и трудовые затраты. В среднем операционные затраты на проведение ТО и ТР, поддержания технической исправности составляют около 57%, капитальные затраты (непосредственные затраты на ремонт агрегатов) оставляют около 43%.

Детали, которые чаще других допускают отказы, называют «лимитирующих» надежность, или «критических» по надежности [87]. Поиск и выявление деталей, лимитирующих надежность, имеет первостепенное значение с точки зрения совершенствования методов расчета надежности, так как это позволяет сократить объем вычислений при проектировании примерно в 10 раз [44].

### **1.3.2 Анализ закономерностей изменения параметров технического состояния и математических методов прогнозирования износных характеристик агрегатов и механизмов**

Система контроля исправности рабочего состояния агрегатов большегрузных самосвалов строится на законах изменения технического состояния в процессе их эксплуатации. Закономерность представляет собой относительно устойчивую и регулярную взаимосвязь между явлениями и объектами, проявляющаяся в процессах изменения. [24; 92]

Для хорошей и четкой работы системы ремонта и технического обслуживания большегрузных самосвалов, правильной работы ОМТС необходимо дальновидно с оглядкой назад научиться делать прогноз на перестроение параметров технического состояния большегрузного самосвала в целом, агрегатов и механизмов во времени. Для решения этих задач, необходимо консолидировать

всю информацию по отказам за весь эксплуатационный период техники, анализировать основные причины и закономерности изменения технических и эксплуатационных параметров агрегатов и механизмов большегрузных самосвалов. В ходе проведенных исследований была установлена взаимосвязь между изменением технического состояния и наработкой большегрузных самосвалов.

Первым классифицировать такие закономерности предложил Е. С. Кузнецов [40; 41]. В соответствии с этим можно выделить 3 вида закономерностей:

Вид 1 – основывается на изменении технического и эксплуатационного состояния большегрузных самосвалов к наработке (моточасов) или пробегу (км);

Вид 2 – основывается на разбросе параметров технического состояния в фиксированный момент, относительно наработке (моточасов) или пробегу (км);

Вид 3 – основывается на возникновении и устранении отказов или неисправностей у общей группы узлов и агрегатов большегрузных самосвалов, иными словами поток отказов.

Серьезный вклад в изучение закона изменения параметров технического состояния автомобилей относительно наработки (моточасов) внес Ф. Н. Авдонькин [1; 5; 3; 4; 2]. Методологические основы исследования закономерностей вида 2 и 3 по классификации, разработал Е. С. Кузнецов [40; 41].

Параметры технического состояния, имеющие постепенный характер изменения, описываются закономерностями вида 1 представлены на рисунке 1.6. Параметры, имеющие случайный характер, рассматриваются относительно узлов, агрегатов и описываются с помощью закономерностей вида 3.

Параметры технического состояния, которые меняются в процессе наработки агрегата и условий эксплуатации автомобиля, были исследованы разными учеными.

Изучение процесса изнашивания с учетом влияния свойств и параметров конструкционных материалов, технологического процесса обработки, эксплуатационных режимов трения исследовали А. К. Дьячков, А. К. Зайцев, И. В. Крагельский, Е. Ф. Непомнящий, М. М. Хрущов и ряд других ученых. Основные взгляды на процесс изнашивания и старения машин изложены в трудах А. С. Проникова, А. И. Селиванова, Д. Н. Решетова и других.

Начало эпохи производства и использования автомобилей повлекло за собой работы исследователей, которые задались вопросам изменения параметров технического состояния автомобиля. На эту тему было опубликовано огромное количество научных трудов. Так, к примеру, F. Hanft [91] в 1936 году выявил закономерности изменения износа поршней, поршневых колец, цилиндров, распределительных валов автомобильных двигателей по наработке. Эта зависимость совпадает с кривой износа классического вида представленного на рисунке 1.6. Согласно данным, описываемых в научных трудах, учебниках и пособиях [1; 5; 3; 4; 2; 10; 14; 23; 43; 42; 44; 41; 52; 61], уровень износа деталей агрегата увеличивается относительно наработке (моточасов) или пробега автомобиля до наступления отказа. Но интенсивность процесса износа может изменяться на всем этапе эксплуатации автомобиля.

В начальный период износа (участок *I* на рисунке 1.6) происходит притирка поверхностей деталей (так называемая обкатка), в этот период процесс износа имеет высокую интенсивность, в результате повышенного коэффициента трения. Данный период у всех разный. После окончания периода приработки наступает этап установившегося изнашивания (участок *II*). В определенный период интенсивность износа начинает стремительно возрастать, и процесс износа переходит зону необратимого (аварийного) состояния сопрягаемых поверхностей (участок *III*).

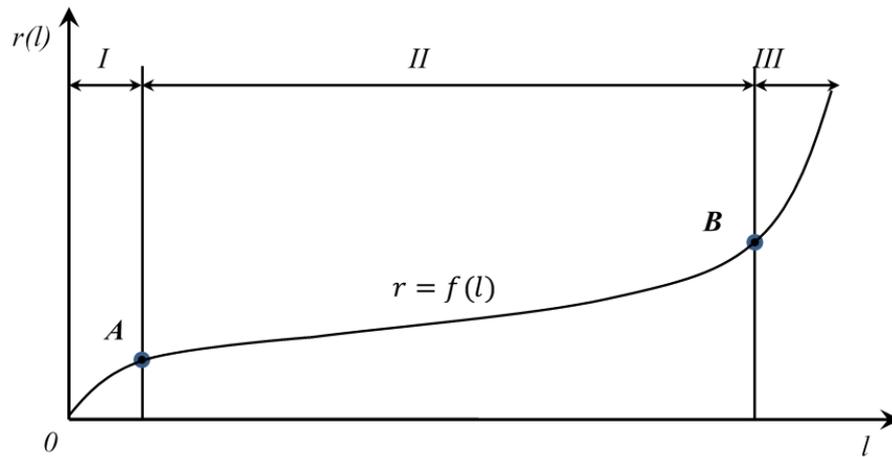


Рисунок 1.6 – Закономерности процесса изнашивания поверхностей деталей в зависимости от наработки

При моделировании процесса изнашивания часто участком приработки пренебрегают рисунок 1.6. Тогда изменение износа по наработке можно описать экспоненциальной зависимостью [10]:

$$r = r_0 e^{(bl)} \quad (1.1)$$

где  $r_0$  – величина износа в конце приработки;

$l$  – пробег с начала эксплуатации автомобиля;

$b$  – коэффициент интенсивности изнашивания.

Консолидация и анализ результатов наблюдений, полученных разными исследователями, показывает, что далеко не во всех случаях величина износа изменяется по классической кривой. К примеру, Н. Я. Говорущенко в своих трудах выделяет три характерных закономерности изменения величины износа агрегата по наработке [25]:

1. классическая;
2. без явно выраженного различия этапов II и III;

3. с продолжительным этапом приработки, при котором скорость изнашивания во всех случаях уменьшается по мере увеличения величины наработки агрегата.

Полученные данные, путем многолетних наблюдений показывают множество различных видов законов изменения параметров технического состояния агрегатов большегрузных самосвалов относительно их наработки: возможно как увеличение, так и уменьшение параметра, также присутствует линейная характеристика изменения или криволинейная.

Закономерности изменения параметров технического состояния узлов и агрегатов автомобилей от наработки Е. С. Кузнецов предлагает моделировать при помощи полиномиальной функции со степенью от 1 до 3 [41]. Нужно отметить, что все приведенные выше закономерности актуальны только при стационарных режимах нагружения, то есть в стационарных условиях эксплуатации агрегатов или узлов.

Принимая во внимание, что условия эксплуатации большегрузных самосвалов на горнодобывающих предприятиях в разы отличаются от условий эксплуатации легкового транспорта в условиях города и даже бездорожья, можно с уверенностью сказать, что условия эксплуатации большегрузных самосвалов всегда разные и зависят от многих факторов (климатические условия, плечо откатки, периодичность ТО и т.д.), это напрямую влияет на частоту изменения параметров технического состояния, а сами условия изменяются во времени.

В работах А. С. Проникова [73] достаточно в полном объеме изложены и классифицированы процессы старения машин. Он выделяет псевдостационарные процессы, присущие процессам изнашивания при переменных режимах нагружения рисунок 1.7.

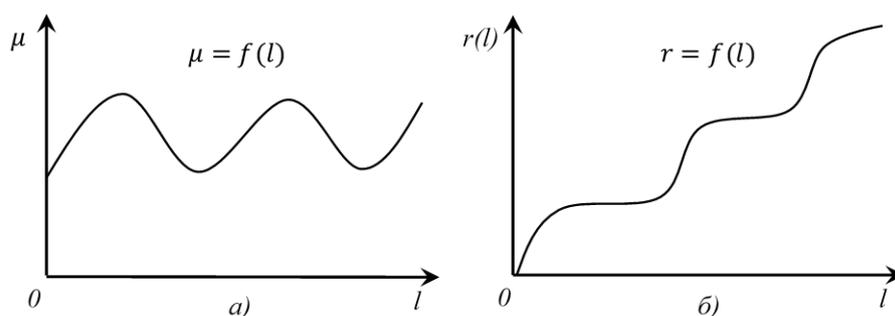


Рисунок 1.7 – Закономерности псевдостационарных процессов старения

Интенсивность старения во время эксплуатации на рисунке 1.7а при псевдостационарном процессе изменяется из-за перемены условий эксплуатации, что напрямую указывает на смену режима нагрузки. Такая особенность вызывает соответствующие изменения на кривой износа рисунок 1.7б. Нужно отметить, что приведенный пример нельзя представлять как обобщающий, поскольку в нем интенсивность старения изменяется только в зависимости от режима нагружения, а влияние наработки машины на саму зависимость не учитывается.

Следующий момент, требующий рассмотрения, относится к методам математического прогнозирования износных характеристик агрегатов трансмиссии автомобилей. Методы прогнозирования или расчета износных результатов условно могут быть разделены на аналитические и экспериментальные. Под аналитическими понимают методы, которые позволяют оценить износ детали (сопряжения) на этапах проектирования агрегата без экспериментальных замеров. В одной из методик расчетной оценки износостойкости поверхностей трения деталей машин [35] даны аналитические зависимости для интенсивностей изнашивания при упругом контакте:

$$I_y = c \left( \frac{q_a \vartheta}{k_v} \right)^{1+\beta t} \left( \frac{k_f^y}{\sigma_0 \vartheta} \right)^t \left( \frac{R_{max}}{R} \right)^{\frac{i(1+\beta)}{2}} (\eta_c b)^{-\beta t} \quad (1.2)$$

и при пластическом контакте:

$$I_{\Pi} = c\sqrt{2} \left(\frac{q_a}{HB}\right)^{\frac{1+\beta t}{1-\beta t}} \left(\frac{k_f^{\Pi}}{l_0}\right)^t \left(\frac{R_{max}}{R}\right)^{\frac{1+t}{2}} (\eta_c b)^{-\frac{(1+t)\beta}{1-\beta}}, \quad (1.3)$$

$$c = \frac{\sqrt{v}\Gamma(v)\Gamma(1+t/2)}{4(v+1)\Gamma(v+t/2)}; \beta = \frac{1}{2v+1}; \quad (1.4)$$

$$v = \frac{1-\mu^2}{E}; k_v = \frac{\Gamma(v+1)}{[2\sqrt{\pi}\Gamma(v+3/2)]}; n_c = A_c/A_a,$$

где  $q_a$  – номинальное давление;

$\vartheta$  – постоянная упругости истираемого материала;

$\mu$  – модуль упругости;

$E$  – коэффициент Пуассона;

$R$  – средний радиус кривизны вершин микронеровностей;

$R_{max}$  – максимальная высота микронеровностей поверхности;

$\sigma_0, l_0, t$  – константы фрикционной усталости истираемого материала;

$k_f^y$  – коэффициент, зависящий от предела прочности при растяжении и

сжатии материала и коэффициента трения  $f$ ;

$A_c, A_a$  – контурная и номинальная площадки контакта;

$b, v$  – параметры степенной аппроксимации начального участка опорной кривой;

$HB$  – твердость по Бринеллю;

$k_f^{\Pi}$  – коэффициент, зависящий от предела текучести;

$\Gamma$  – гамма функция.

Вывод формул (1.2), (1.3) основан на гипотезе фрикционной усталости, впервые предложенной И. В. Крагельским [45]. В соответствии с основной расчетной схемой, изнашивание рассматривается в установившемся режиме сухого или граничного трения. По результатам проведенных исследований

автора установлено, что сопоставление расчетных  $I_p$  и средних экспериментальных  $I_{cp}$  интенсивностей изнашивания в большом диапазоне варьирования исходных параметров с вероятностью  $P \geq 0,9$  наблюдается соотношение  $0,41 I_{cp} \leq I_p \leq 2,6 I_{cp}$  [12]. Расчетные значения успешно могут быть применены для получения сравнительных оценок различных пар трения для проектируемого узла.

Стоит отметить, что широкий интервал вероятных значений средних интенсивностей изнашивания ограничивает возможности использования формул (1.2), (1.3) для оценки абсолютных значений износов и ресурса, а сама методика становится трудно применимой для расчета сопряжений, работающих в жидкостном или смешанном режиме трения.

Как мне кажется, дальнейшее развитие усталостной теории износа, а также увеличение и совершенствование информационной базы позволят повысить точность расчета и эффективно управлять процессом износа.

При исследовании механических систем большое распространение получили методы, основанные на непосредственных замерах износов в функции от времени (экспериментальные методы). В этом случае износ является интегральным показателем, объединяющим множество факторов, включая и условия эксплуатации машины.

Известно, что основными показателями износа являются: линейный износ  $u$ , мкм; скорость изнашивания  $y = du/dt$ , мкм/ч; интенсивность изнашивания  $j = du/ds$ , где  $s$  – относительный путь трения, на котором происходит изнашивание. При исследованиях износа деталей автомобилей под интенсивностью изнашивания часто понимается величина  $m_u = du/dL$ , где  $L$  – наработка автомобиля в километрах пробега.

В общем случае кривая зависимости износа от времени состоит из трех участков: приработки, когда  $y$  монотонно убывает; установившегося износа при  $y = const$ ; критического износа, когда  $y$  возрастает. Для различных сопряжений

и условий изнашивания наблюдаются отклонения от общей кривой износа как по числу участков, так и по скорости изнашивания  $u$  на этих участках.

В зависимости от исходной информации экспериментальные методы определения износа от времени можно разделить на две группы: когда данные об износах  $u_i$  при соответствующих наработках  $t_i$  представляются в виде независимых пар значений  $u_i - t_i$ ; когда рассматриваются реализации случайных процессов износа от времени.

Для аналитического описания износов (первая группа) используются различные зависимости: полиномы различных порядков, степенные и экспоненциальные функции. Так, например при исследовании износов деталей двигателей используются полиномы вида:

$$u = \sum_{i=1}^n a_i t^i, n = 1, 2, 3. \quad (1.5)$$

Такие функции позволяют описать различные зависимости износов в отличие от линейной  $u = a_1 t$ , соответствующей только второму участку кривой изнашивания.

В ряде работ приводятся зависимости, охватывающие второй и третий участки общей кривой износа. Например, для износов, зазоров, а также изменения некоторых параметров тракторов, автомобилей и другой техники рекомендуется использовать степенную зависимость [10; 66]:

$$u = u_1 + m_u t^\alpha, \quad (1.6)$$

где  $u_1$  – детерминированное значение показателя приработки;

$m_u$  – среднее значение скорости изменения параметра;

$\alpha$  – коэффициент ( $\alpha = 0,5-2,0$ ).

Для определения среднего ресурса  $T_{cp}$  и коэффициента вариации  $u_T$  при заданном значении предельного износа  $u_{\Pi}$  используются формулы:

$$T_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n T_i; u_T = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left( \frac{T_i}{T_{cp}} - 1 \right)^2}, \quad (1.7)$$

где  $T_i = t_i(u_{\Pi}/u_i)^{1/\alpha}$ ;  $t_i$  – наработка  $i$ -го элемента, в течение которой показатель достиг значения  $u_i$ . В результате обработки износов деталей быстроходных дизелей, а также шлицевых, шарнирных и других узлов трения самолетов в работе К. А. Крылова [39] была предложена экспоненциальная зависимость:

$$u = u_1 \left( 10^{\frac{t-t_1}{A}} - h \right) + h, \quad (1.8)$$

где  $u_1$  – случайная величина износа при наработке  $t_1$  после приработки;

$A, h$  – коэффициенты.

Определение среднего и минимального ресурсов производится по формулам:

$$T_{cp} = A Lg \frac{u_{\Pi} + h}{\bar{u}_1 + h} + t_1, \quad (1.9)$$

$$T_{min} = A Lg \frac{u_{\Pi} + h}{\bar{u}_1 + t_{\beta} \sigma_1 + h} + t_1,$$

где  $\bar{u}_1, \sigma_1$  – среднее и среднее квадратическое значение износа при наработке  $t_1$ ;

$t_{\beta}$  – коэффициент Стьюдента [47].

К недостаткам приведенных зависимостей относится то, что они не позволяют найти плотности распределения ресурсов и ограничиваются средними значениями. При нахождении других параметров  $u_T$  или  $T_{min}$  на реализации процессов налагаются ограничения: вводится детерминированное значение вместо случайного; при определении коэффициентов  $A$  и  $h$  сечения процесса должны подчиняться нормальному закону.

Вторая группа методов оценки ресурса основана на том, что реализации износа элементов деталей механических систем представляют собой нестационарные случайные процессы. Каждое сечение такого процесса описывается с помощью функции  $F(u, t)$ , или плотности распределения  $f(u, t)$ , где  $u$  – случайная величина износа. Полагают, что они могут быть отнесены к случайным процессам со слабым перемешиванием, а отдельные реализации аппроксимированы линейными или нелинейными зависимостями. Так, в работе [6] реализации износа описываются линейными зависимостями (верная функция):

$$u(t) = u_0 + m_u t, \quad (1.10)$$

где  $u_0$  – детерминированная величина;

$m_u$  – случайная величина скорости изнашивания, подчиняющаяся нормальному закону распределения.

Использование теоремы о преобразовании случайных величин [75] при достижении линейными реализациями предельного значения  $u_{\pi}$  позволило найти плотность распределения ресурса  $f(t)$  в виде  $\alpha$ -распределения, рисунок 1.7а.

$$f_{\alpha}(t) = \frac{|u_{\pi} - u_0|}{\sqrt{2\pi}\sigma_m t^2} \exp \left[ -\frac{(u_{\pi} - u_0 - \bar{m}_u t)^2}{2\sigma_m^2} \right], \quad (1.11)$$

где  $\bar{m}_u$ ,  $\sigma_m$  – среднее значение и среднее квадратическое отклонение скорости изнашивания.

Дальнейшее совершенствование методов расчета и прогнозирования ресурсов требует обобщения различных подходов, а также систематизации данных о зависимостях износа и скорости или интенсивности износа.

## **1.4 Методология размерного анализа в задачах повышения эффективности ремонтных воздействий**

### **1.4.1 Развитие теории размерного анализа в сфере ремонтного производства**

В период эксплуатации большегрузного самосвала происходит потеря его эксплуатационных параметров, заложенных при проектировании и производстве. В определенный момент узлы, агрегаты и механизмы большегрузного самосвала начинают постепенно или мгновенно выполнять свои поставленные задачи, происходит неисправность или отказ. Возникает неизбежность в восстановлении их изначально состояния путем ремонтных воздействий. Восстановлению подвергаются все сопрягаемые поверхности деталей узлов, механизмов и агрегатов, в результате износа которых узел, механизм или агрегат перешел в состояние отказа или ожидает отказа через небольшую наработку. В первую очередь необходимо восстановить значение точностных характеристик деталей, а также их взаимные сопряжения.

Нормируемая точность в типовых сопряжениях сборочных единиц ремонтируемой техники достигается путем применения различных методов обеспечения точности. В первую очередь это методы полной и частичной взаимозаменяемости. Чаще всего такие методы применяются при восстановлении свойств посадок соединений при помощи наращивания слоя материала. В других случаях применяются ряд остальных из известных

стандартных методов достижения точности замыкающих звеньев [76]. Достаточно широко используются методы группового подбора (групповой взаимозаменяемости) и регулирования [34]. Более того, в некоторых особых случаях при восстановительном ремонте применяются методы, которые не входят в список стандартизованных методов, применяемых в промышленном производстве изделий машиностроения. Эти методы используются чаще всего в ремонтном производстве. В некоторых случаях используются метод индивидуального подбора деталей при сборке узлов и агрегатов [68], основной смысл которого заключается в машинном подборе к одной детали, характеризующейся набором определенных размеров, второй детали, соединенной с искомым размером, который назначается исходя из обеспечения требуемых характеристик точности образуемого сопряжения поверхностей. В настоящее время все больше набирает популярность метод достижения требуемой точности компенсирующими материалами [71], суть которого заключается в применении в качестве компенсаторов сплавов легких цветных металлов или материалов, состоящих из полимеров.

На сегодняшний день гораздо менее слабо разработана методология восстановления точности сложных, множественных соединений.

Научные труды по разработке и применению методов расчета размерных цепей в технологическом процессе ремонта машин передовыми учеными нашей страны можно достаточно условно разделить на разработки, выполненные учеными, относящихся к "сельскохозяйственной" школе, и разработки, предложенные кругом ученых, образующих "автомобильную" школу. Фундамент "автомобильной" школы образуют ученые, представляющие Московский государственный автомобильно-дорожный институт (технический университет). Ключевой фигурой этой школы является широко известный ученый в сфере ремонта дорожной и автотракторной техники Л. В. Дехтеринский [8; 27; 28; 29; 30]. Ряд его учеников и последователей В. П. Апсин, П. И. Гринберг, С. К. Лосавио, Г. А. Лютов, Нгуен Динь Дао продолжили работу

над актуальными проблемами, выявленными их наставником [7]. Основными объектами исследований представителей этой школы являются ремонтные размерные цепи сложных соединений сборочных единиц автомобильной, строительной и дорожной техники и ее агрегатов в процессе проведения их ремонтных работ.

В трудах В. М. Михлина [66] была рассмотрена методика расчета составляющих звеньев размерной цепи при условии оптимальности величины замыкающего звена. За условие оптимальности выступал минимум удельных затрат на проведение ремонта и дальнейшую эксплуатацию агрегата.

В работах Л. В. Дехтеринского [27; 28; 29; 30] описана теория, основанная на взаимосвязи составляющих погрешностей на обобщенную погрешность агрегата. Это позволило решить задачу технико-экономического обоснования допустимых погрешностей размеров детали в зависимости от абсолютного значения размеров сопрягаемых деталей агрегата, находящегося в ремонте. Предложенная Л. В. Дехтеринским методика позволяла рассчитать совокупность единичных погрешностей сопрягаемых деталей исходя из суммарной допустимой ошибки агрегата. Недостаток такой методики заключается в сложности, и даже в некоторых случаях невозможности проработки всей совокупности информации о размерных параметрах, обеспечивающих геометрическую точность всех сопряжений в ремонтируемом агрегате. В силу этих особенностей используемая и развиваемая методика Дехтеринского другими авторами нашла свое применение лишь на единичных размерных параметрах, обеспечивающих точность отдельного сопряжения агрегата или узла автомобиля.

В процессе восстановления номинальных параметров точности замыкающих звеньев сборочных размерных цепей агрегатов и механизмов на этапе ремонта применяется весь спектр известных нормированных методов достижения точности [76]. В отличие от достаточно простых сопряжений, при которых в расчетах предпочтение отдавалось методам полной и частичной

взаимозаменяемости, то в конструктивно сложных соединениях чаще всего применяются методы группового подбора (взаимозаменяемости), подгонки и регулирования [28; 34; 38].

Разработанный на основе объединения методов группового подбора и регулирования с помощью жестких компенсаторов метод селективного регулирования создан с целью наиболее полного получения нормируемой точности замыкающего звена. В целях достижения требуемой точности замыкающего звена все составляющие звенья цепи восстанавливаются, кроме нескольких изношенных звеньев, которые подвергаются процессу сортировки, а также звена, выступающего в роли компенсатора.

Проанализировав данные делаем вывод, что главной задачей процесса ремонта агрегатов является обеспечение геометрических параметров и точности значений составляющих и замыкающих звеньев. [17; 15; 19; 16; 18; 56]

## **1.5 Выводы по первой главе**

За последние пару десятков лет произошел скачок в развитии технологии и методов восстановительного ремонта большегрузных самосвалов. Для восстановления деталей агрегатов привлекаются передовые технологии восстановления, а также высокоточное специальное оборудование с автоматизированными процессами и контролем качества. Также претерпела изменение схема проведения текущего и капитального ремонта, которая преимущественно направлена на централизованность восстановления и ремонта изношенных агрегатов, учитывая марку большегрузного самосвала.

Анализ российских и зарубежных методов ремонта и восстановления деталей агрегатов показывает, что существуют производства крупных компаний производителей карьерной техники с мировым именем, которые вкладывают деньги в развитие и увеличение присутствия в так называемые центры «РЕМАН». Экономическая целесообразность которых обусловлена

географическим присутствием, логистическими маршрутами расположения крупных горнодобывающих предприятий.

При проведении каких-либо ремонтных воздействий (текущих или капитальных ремонтов) узлов и агрегатов большегрузных самосвалов у эксплуатирующих организаций всегда остро стоит вопрос о гарантийных сроках ремонта, причем не зависит кто производил ремонт сторонние организации или сама эксплуатирующая организация. Каждая организации хочет получить максимальную гарантию на проведенный ремонт. Если вопрос гарантийных обязательств с контрагентами более-менее можно считать решенным, то гарантийные обязательства внутри эксплуатирующей организации можно считать нулевыми. Мало того, что решения о проведении ремонтного воздействия принимаются на основе фактического технического и эксплуатационного состояния агрегатов большегрузных самосвалов, так в процессе ремонтных воздействий не особое значение уделяют размерным параметрам узла, агрегата или механизма, замена деталей агрегата происходит хаотично, выборочно, на основе каких-то мнимых рассуждений. Тем самым точные гарантийные сроки наработки агрегата установить невозможно, так как такой подход к ремонтным воздействиям не то, что не правильный, а по факту затратный, что приводит к незапланированным отказам и невозможности планирования ремонтной деятельности предприятий.

Поэтому считаю на сегодняшний день перспективной задачей решения вопроса гарантийных ремонтов узлов, агрегатов и механизмов большегрузных самосвалов на основе размерных параметров.

## 2 Теоретические и методические подходы к назначению гарантийных сроков эксплуатации на основе размерного анализа

### 2.1 Общий подход и формирование целевой функции

В настоящем исследовании определяется проблема назначения возможных путей назначения гарантийных сроков эксплуатации агрегатов. Теоретические мысли строятся на основных положениях теории процесса старения и восстановления машин, в том числе резюмируя труды ученых в области поддержания в рабочем состоянии автомобилей, а также полученные результаты автором.

В рассматриваемом здесь примере за меру эффективности примем минимум затрат  $C_{min}$  на проведение гарантийных ремонтов в имитируемый срок.

В суммарные затраты  $C_{сумм}$  входят сумма затрат на гарантийный ремонт всего парка большегрузных самосвалов и весь имитируемый интервал. Суммирование производится в порядке выполненных ремонтных воздействий (1, 2, 3, ..., n):

$$C_{сумм} = \sum_{i=1}^n \Delta C_i \quad (2.1)$$

Цель выбора оптимального гарантийного срока эксплуатации заключается в минимизации целевой функции суммарных удельных затрат на ремонт агрегата за период с даты ввода большегрузного самосвала в эксплуатацию (единица техники) до периода начала частых отказов.

При оценке износа агрегата по формуле (2.2) предполагалось, что в размерную модель входят только детали «валов, шестерни». Но в действительности же размерную модель также образуют детали типа «фрикционные диски». В этом случае переменная  $R_{vi}$  заменяется переменной  $R_{ni}$

- значение размерного параметра, соответствующее нижнему отклонению поля допуска  $i$ -го размерного параметра в момент оценки изношенности агрегата.

Таким образом, записью (2.2) найден коэффициент интегральной остаточной точности, который распределен по всему массиву выявленных размерных цепей и параметров.

Из ряда работ, посвященных исследованию износов поверхностей деталей различного функционального назначения [1; 2; 6; 10] известно, что процесс изнашивания поверхностей сопряженных динамически нагруженных деталей большинства агрегатов автомобилей даже при установившихся режимах эксплуатации носит не линейный характер, а приближен в большинстве случаев, к экспоненциальной зависимости. То есть процесс изнашивания характеризуется функцией:

$$Y = a \cdot e^{bL} + c, \quad (2.2)$$

где  $Y$  - расчетное значение размерного параметра;

$e$  - основание натурального логарифма;

$L$  - наработка агрегата;

$a$ ,  $b$ ,  $c$  - коэффициенты зависимости, определяющие свойства и величину изменения размера. Значения  $a$ ,  $b$ ,  $c$  могут быть и случайными, и предопределенными.

В результате сбора статистических данных геометрических параметров деталей агрегата в процессе его эксплуатации можно определить приблизительное соотношение степени и характера износа сопряженных поверхностей детали или звеньев размерных цепей. Далее по выявленным нелинейным зависимостям можно спрогнозировать момент наступления условия, при котором происходит отказ детали или агрегата в целом. Схема описанного выше процесса изображена на рисунке 2.1.

На рисунке 2.1 показана часть размерной модели в виде одной размерной цепи, отражающей точностные параметры сопряжения фрикционных и металлических дисков, установленных в муфте включения автоматической коробки переключения передач. Событие, заключающееся в нарушении рабочего, исправного состояния детали и агрегата будем считать выход текущего значения размера  $Y_i$  замыкающего звена  $A_\Delta$  размерной цепи  $E_1$  за установленные предельные значения  $Y_{i(\text{пред.})}$  этого звена. Также фиксация отказа будет отмечаться в момент достижения любого из составляющих звеньев ( $A_1 - A_{12}$ ) данной размерной цепи своего максимально предельного значения.

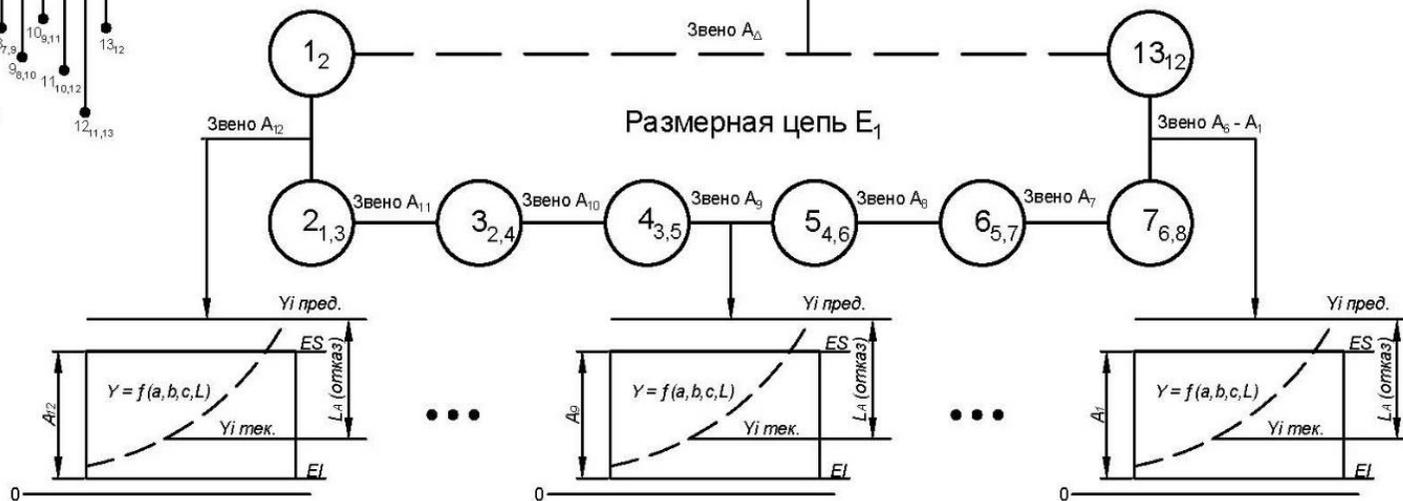
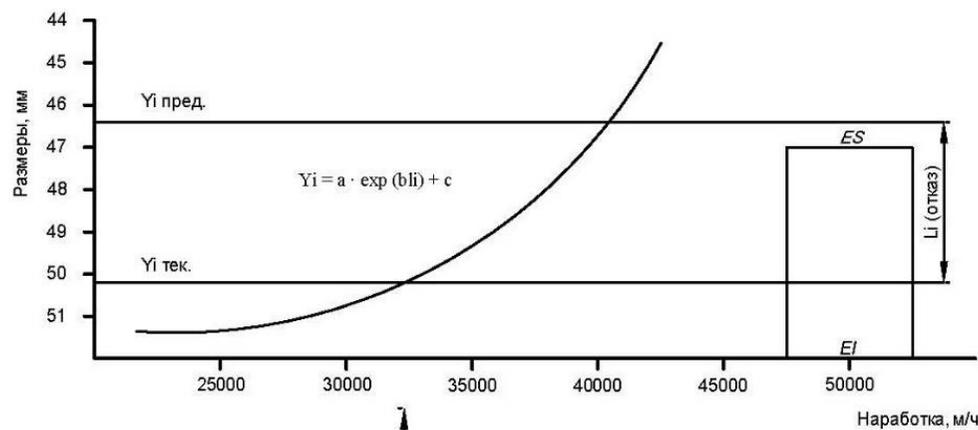
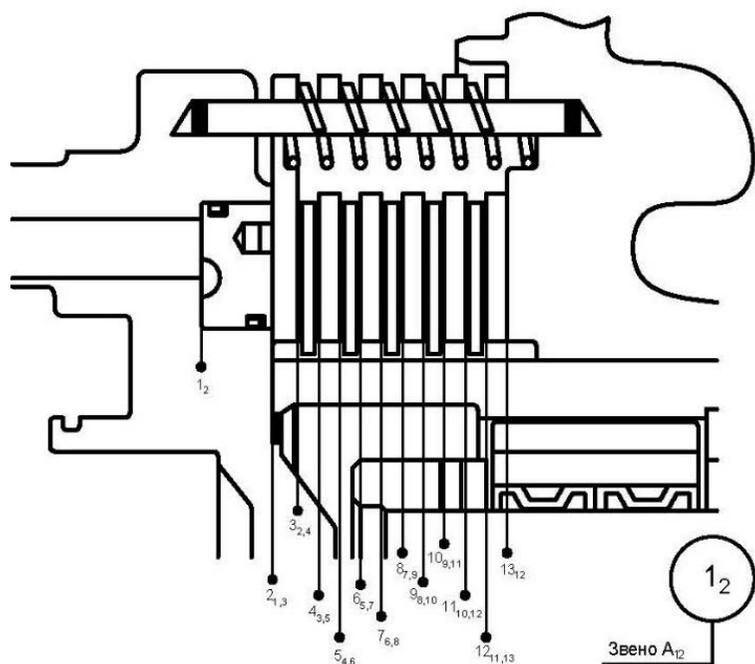


Рисунок 2.1 – Схема наступления условия, при котором происходит отказ детали и агрегата в целом

Для оценки отдельно взятых показателей надежности агрегатов большегрузных самосвалов необходимо получить основные численные показатели безотказности и долговечности. Для получения такой информации необходимо получить функциональные зависимости (2.2) характера износа сопрягаемой поверхности всех деталей, входящих в иерархическую структуру конструктивных связей системы и для всего парка большегрузных самосвалов.

Между тем, получение таких данных для выявления закономерностей при естественном эксперименте на действующих горнодобывающих предприятиях не представляется возможным в силу их специфики работы, последние не позволяют производить частичную или полную разборку агрегатов для измерения геометрических параметров всех деталей в структуре агрегата.

Одним из возможных путей решения данной проблемы является применение методов имитационного моделирования, при котором изучаемая система заменяется моделью, описывающей реальную систему. Системой в данном случае выступают закономерности изнашивания поверхностей деталей, а исходными данными для процесса моделирования будут служить случайные величины  $a$ ,  $b$ ,  $c$  уравнения (2.2). Основы процесса моделирования случайных величин достаточно полно изложены в [5; 4; 9] и не представляют значительных трудностей.

## **2.2 Способы описания строения сложных технических систем**

Система — множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом, которое образует определённую целостность, единство. Система чаще всего создается структурой, под которой обычно понимается комплекс устойчивых связей и взаимодействий элементов, гарантирующих целостность системы [20; 84; 85]. При решении определенных видов задач, сочетание связей и взаимодействия всех элементов можно описать с помощью структурной модели технической системы [67].

Для оценки показателей свойств надежности технических систем создано большое число аналитических моделей, в которых структура системы описана как совокупность элементов, построенных по разным принципам и правилам.

В зависимости от характера организации в системе элементов и их связей можно выделить четыре типа наиболее часто встречающихся топологии структур технических систем: последовательная на рисунке 2.2; параллельная на рисунке 2.3; кольцевая на рисунке 2.4; иерархическая или древовидная на рисунке 2.5. В целом системам свойственно широкое разнообразие структур.



Рисунок 2.2 – Последовательная структура системы

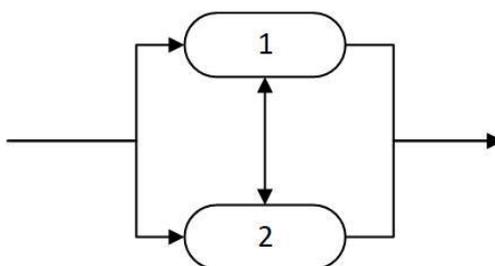


Рисунок 2.3 – Параллельная структура системы

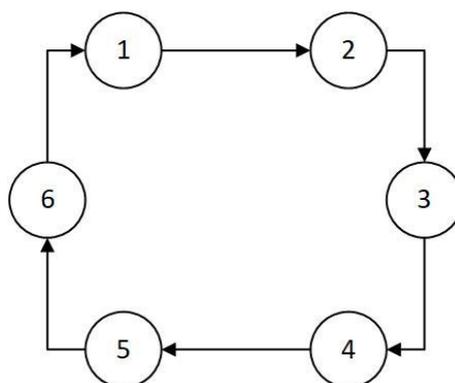


Рисунок 2.4 – Кольцевая структура системы

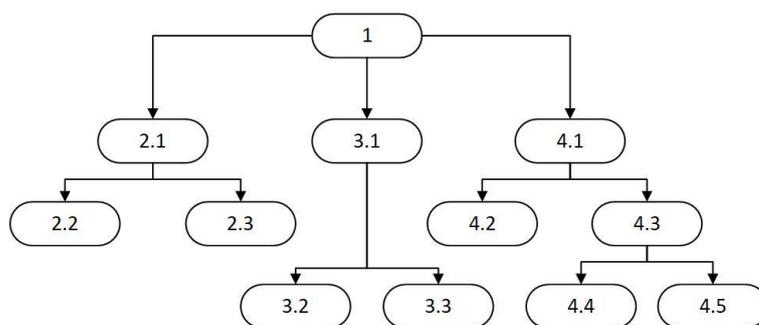


Рисунок 2.5 – Иерархическая структура системы

Самым простым случаем в расчетном смысле является последовательное (линейное) соединение элементов системы. В такой системе любой отказ элемента равносител отказу системы в целом. По аналогии с последовательно соединенных проводников, обрыв каждого из которых равносител размыканию всей цепи. Следует пояснить, что последовательным такое соединение элементов является только в смысле надежности, физически они могут быть соединены как угодно. Условие работоспособности можно сформулировать следующим образом, устройство работоспособно пока работоспособны элементы 1, элемент 2 или элемент n. С помощью такой системы описывают потоковые функциональные структуры или физический принцип действия технической системы.

Кольцевая система отличается от линейной лишь тем, что крайние элементы связываются друг с другом. Это дает возможность вести управление в двух противоположных направлениях и тем самым повысить его надежность. Иерархические взаимоотношения отсутствуют.

Такие типы системы практически невозможно использовать для сложных технических систем, используемых при изучении надежности. Основным недостатком данных систем является небольшое, ограниченное число элементов. Описание структуры сложной технической системы при помощи таких типов структур ограничивается на уровне отдельных агрегатов, без детального описания элементов [42; 73; 86; 87; 88]. Данные типы структур применяют для анализа высоконадежных систем (приборы радиоэлектроники, энергетика). Для

построения моделей структур отказов агрегатов большегрузных самосвалов данные подходы неприемлемыми. Узлы и агрегаты большегрузных самосвалов считаются довольно сложными системами. Безотказность элементов которых может иметь вариацию: от безотказных до ограничивающих надежность всей системы [21; 40; 41].

Поэтому, использовать данные подходы к синтезу структуры узлов и агрегатов большегрузных самосвалов невозможным. Необходимо использовать другие более правильно подходящие структуры сложных систем.

Например, в системе автоматической коробки переключения передач важным условием является наибольший охват всех конструктивных элементов с учетом их функциональных связей, а также возможности пересмотра глубины описания модели при необходимости. Поэтому наиболее подходящая для описания такой системы является иерархическая (древовидная) структура. Пример такой структуры системы показан на рисунке 2.5. Такие системы состоят из многочисленных элементов, объединенные в функциональные блоки, а блоки входят в состав подсистемы из которых состоит вся система.

Такие структуры безболезненно сохраняют допущение отказа элемента, приводящее к отказу всей системы. В таком случае отказ элемента нижнего уровня приводит к отказу элемента верхнего уровня и так по иерархии, причем допускается отказ элемента более высокого уровня. Возникновение и развитие иерархических структур не случайно, так как это единственный путь увеличения эффективности, надежности и устойчивости в системах средней и высокой сложности.

Таким образом, представление общей суммы элементов сложной системы необходимо осуществлять в виде иерархического класса структуры системы, которые в свою очередь будут отображать состояние функционально-конструктивных связей элементов автоматической коробки переключения передач.

## **2.3 Описание структурной модели элементов большегрузного самосвала**

Все элементы большегрузного самосвала с точки зрения структурной надежности можно разделить на технически сложные и простые системы. К технически сложным элементам можно отнести элементы трансмиссии, ДВС. К технически простым все вспомогательные элементы, передняя и задняя подвеска.

Рассмотрим технически сложный элемент большегрузного самосвала – автоматическую коробку переключения передач (АКПП). Для АКПП преобладает принцип «матрешки» группировки большинства его элементов. Такая особенность строения АКПП с большей долей вероятности будет провоцировать отказ объекта высокого уровня при отказе элемента низкого уровня. Эта особенность подчеркивает справедливость выбора иерархического класса структуры системы для описания целостности и взаимосвязи [22; 33].

При рассмотрении условий разделения структурной модели АКПП требуется исполнение ряда требований: иерархичности, целостности, взаимосвязи [90].

В процессе оценки индивидуальных показателей надежности рассматриваемых элементов большегрузного самосвала необходимо обеспечить возможность анализа дерева системы на разных уровнях. Разделение будет зависеть от индивидуальности решаемой задачи.

Если произвести разделение на слишком большое число элементов дерева системы, это усложнит модель, а также увеличит время создание. Если произвести разделение на слишком малое число элементов дерева системы, этого будет недостаточно для адекватности структурной модели агрегата. Поэтому необходимо придерживаться оптимальной схемы разделения [22].

При оценке показателей свойств надежности агрегатов большегрузных самосвалов необходимо произвести глубокий анализ износных отказов, поэтому

разделение структурной модели будет располагаться на уровне поверхностей деталей [59]. Разделение структурной модели позволит рассмотреть группу элементов как отдельный элемент или как систему с дифференциацией на составляющие элементы. Таким образом, образуется многоуровневость, что обеспечивается применением древовидной структуры для описания структурной модели АКПП.

Необходимо добиться охвата всех элементов системы до заданного максимального уровня детализации. Отсутствие или исключение какого-либо элемента или группы элементов приведет к появлению паразитных явлений в результатах при использовании такой модели. При анализе отдельных, единичных показателей свойств надежности только максимальное вовлечение всех элементов агрегата может обеспечить адекватную и точную работоспособность разрабатываемой математической модели.

Между всеми элементами АКПП существуют функционально-конструктивные связи, кинематические, динамические и другие виды связей. Это свойство структуры учитывается требованием взаимной связи элементов. Принятие во внимание тех или иных связей в исследуемой системе диктуется целями исследования и уровнем нашего знания о системе.

Процесс построения модели структуры АКПП обуславливает необходимость рассматривать АКПП с разных ракурсов, анализировать поведение модели в зависимости от поставленных исследовательских целей. Данная необходимость обуславливает многообразие описания модели, это позволит добиться соответствия модели при выполнении исследований различной направленности и на её базе получать точные результаты.

Регистрация или пренебрежение определенных взглядов поведения модели в зависимости от цели исследования может достигаться выполнением требования гибкости модели. Одна и та же система может быть описана разными структурными моделями, различие лишь в составе и числе составляющих элементов. Процедура синтеза структурной модели имеет объединительный

характер. Для получения требуемого типа модели её необходимо систематически анализировать и перерабатывать.

Применение мнимых правил при синтезе, анализе и модификации структурных моделей затруднено. Это связано с тем, что предварительная информация о структуре исследуемой системе плохо поддается утверждению, поэтому для этих целей используют экспертные методы [57], которые описывают всю сущность картины.

Синтез, анализ и модификация структурной модели осуществляется на основе ряда эмпирических правил. Ряд таких правил был предложен в работе [58]. Перед началом синтеза структурной модели требуется изучить взаимосвязь всех элементов агрегата с максимальным масштабом охвата всех составных деталей, а также определить масштаб разделения.

Правило разделения применяется сборочной единицы или блоку, которые состоят из системы элементов, подблоков. В таком случае начальная структура может располагаться на нулевом уровне. При делении структуры получают подструктуры первого уровня, а при делении подструктуры получают подструктуры второго уровня и т.д. по иерархии. Сокращению могут быть подвергнуты только одинаковые элементы, подблоки, которые находятся в одинаковых условиях эксплуатации. Также некоторые элементы могут быть исключены из структурной модели по причине уменьшения структурной модели за счет исключения элементов, которые не несут определенного интереса для исследования, например элементы, отказы которых не сильно отразятся на работоспособности агрегата в целом (корпусные прокладки, уплотнительные кольца сопрягаемых поверхностей и т.д.). Но при этом, исключение этих элементов из структуры может отразиться на адекватности модели, поэтому необходимо взвешено подходить к такому решению.

На основании вышеизложенных была построена иерархическая структурная модель конструктивных связей АКПП большегрузного самосвала

HD785-7, рисунок 2.6. При построении структурной модели был использован оригинальный каталог деталей большегрузного самосвала HD785-7 [93].

На первом, коренном уровне разделения находится агрегат в сборе, который относится к трансмиссии. Второй уровень разделения составляет 11 крупных элементов. К третьему уровню разделения относятся детали крупных элементов и т.д. по иерархии.

Структурная модель данного АКПП содержит четыре уровня, это позволит нам более подробно произвести анализ элементов системы. Описание элементов данной структурной модели приведено в приложении Б.

В процессе синтеза было определено 258 элементов структуры, структурной модели:

- первый уровень разделения состоит из 1 элемента;
- второй уровень разделения состоит из 11 элементов;
- третий уровень разделения состоит из 49 элементов;
- четвертый уровень разделения состоит из 197 элементов.

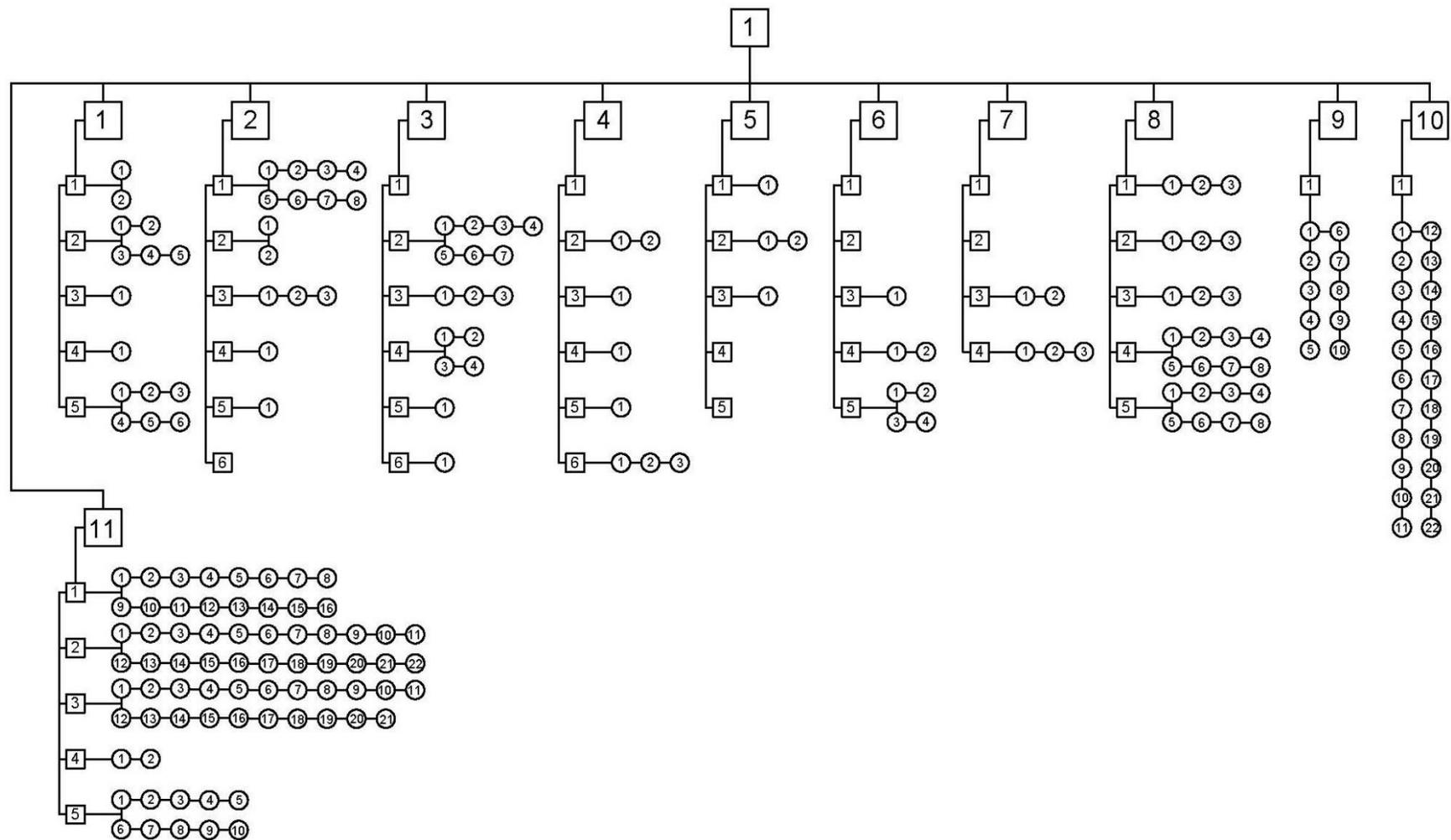


Рисунок 2.6 – Иерархическая структурная модель конструктивных связей АКПП большегрузного самосвала

HD785-7

Построенная структурная модель описывает реальную автоматическую коробку переключения передач большегрузного самосвала. Была охвачена вся система, включая сопрягаемые поверхности деталей. Следует сказать, что отсутствие общепринятых правил создания структурных моделей данных систем увеличивает трудоемкость подготовительных операций к получению нацеленных результатов. Требуется и дальше проводить исследования в данной области, для улучшения результатов и максимально оперативного принятия решения при построении структурных моделей.

Была создана иерархическая структурная модель автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала, которая будет использована как основа накопления и анализа данных по каждому из элементов системы.

#### **2.4 Выводы по второй главе**

В данной главе определили проблемы назначения возможных путей наиболее эффективного назначения гарантийных сроков эксплуатации агрегатов. Смысл выбора наиболее соответствующего гарантийного срока эксплуатации агрегата заключается в сокращении финансовых затрат на ремонт агрегата за период с даты ввода или после последнего ремонта большегрузного самосвала в эксплуатацию (единица техники) до периода начала частых отказов

Определили структуры технических систем. Развитие иерархических структур единственный путь увеличения эффективности, надежности и устойчивости в системах средней и высокой сложности.

Разработали и построили иерархическую структурную модель конструктивных связей автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала Komatsu HD785-7.

### 3 Экспериментальные исследования

#### 3.1 Общая методика экспериментальных исследований

##### 3.1.1 Структура методики экспериментальных исследований

Экспериментальные исследования проводились с целью сбора и анализа данных для формирования математической модели ресурсных отказов деталей агрегатов большегрузных самосвалов, а также практической апробации теоретической методики, разработанной во второй главе. Эксперимент проводился на одном из горнодобывающем (золотодобывающем) предприятии России АО «Полюс Вернинское», расположенном в Бодайбинском районе, Иркутской области. Структурная схема методики экспериментальных исследований приведена на рисунке 3.1.

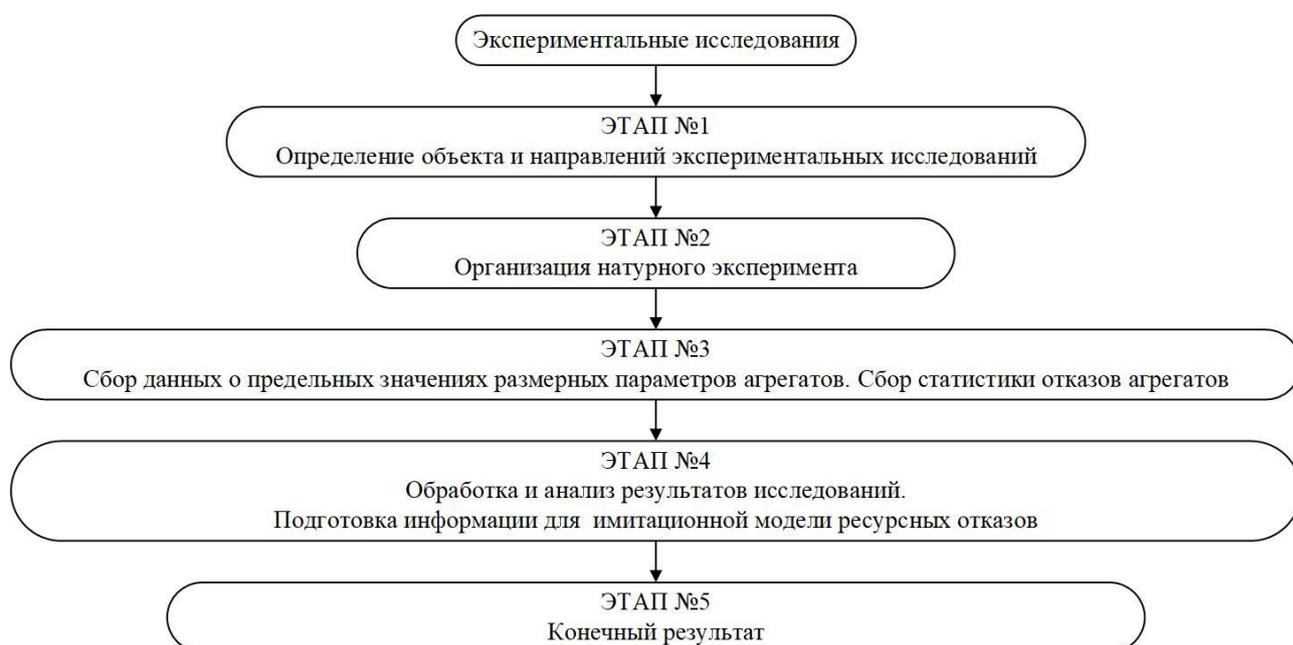


Рисунок 3.1 – Структурная схема методики экспериментальных исследований

Этап №1 – Производится определение и обоснование объекта исследования.

Этап №2 – Производится анализ работы предприятия, на котором производился натурный эксперимент. Для успешного проведения эксперимента на предприятии необходим грамотный документооборот, фиксирующий все отказы агрегатов и техники, проводимые работы по техническому обслуживанию, текущему и капитальному ремонту техники, материальные и трудовые затраты ресурсов. Производственная площадка предприятия, на котором производился натурный эксперимент должна быть оснащена слесарным и электроинструментом, вспомогательным и основным технологическим оборудованием, средствами механизации для обеспечения регламентированного и качественного проведения ремонтных воздействий испытуемого объекта.

Этап №3 – Производится сбор данных о допустимых значениях размерных параметров агрегатов, статистики наработки и отказов объекта исследования.

Этап №4 – Информация, полученная в ходе исследований, фиксировалась в специальных формах – таблицах для дальнейшей её обработки и анализу и далее использование в разработанной методике. Процедура моделирования осуществлялась на персональном компьютере с 64 - разрядной операционной системой Windows 10, процессор x64 AMD Ryzen 3 3200U with Radeon Vega Mobile Gfx, частотой 2.60 GHz и оперативной памятью 8 GB.

Этап №5 – Проанализировали смоделированные числовые значения ресурсных отказов и сопоставили их с имеющимися данными гарантийной наработки агрегатов.

### **3.1.2 Объекты и направления экспериментальных исследований**

Для организации экспериментального исследования выбран агрегат – автоматическая коробка переключения передач, 7 передач переднего хода и 2 передачи заднего хода большегрузного самосвала Komatsu HD785-7

представлена на рисунке 3.2. Выбор данного агрегата в качестве объекта исследования обусловлен тем, что данную модель АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 модифицировали, по заявлению производителя стала более надежнее.



Рисунок 3.2 – Автоматическая коробка переключения передач большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 в сборе

Эта модель АКПП усовершенствованная модель АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-5, которая также отличается довольно неплохой надежностью. Данные типы АКПП устанавливаются только на большегрузные самосвалы Komatsu HD785-7, грузоподъемностью 90 тонн. Самосвалы предназначены для транспортировки горной массы (вскрыши) от забоев до пунктов разгрузки. Условия эксплуатации меняются в зависимости от времени года, а также от маршрута транспортировки горной массы, это приводит к максимальным меняющимся во времени нагрузкам на трансмиссию. АКПП имеет довольно сложную конструкцию с огромным количеством деталей, которые в большинстве своем привязаны к размерным параметрам, что подразумевает особое внимание к измерительному контролю. Эксплуатация большегрузных самосвалов Komatsu HD785-7 проводится в соответствии с

«Инструкция по эксплуатации и техобслуживанию [37] и «Заводской инструкцией [36] согласно регламента работ. Технические характеристики автоматической коробки переключения передач представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Технические характеристики автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала Komatsu HD785-7

Наименование	Характеристика
Коробка передач	Полностью автоматического, планетарного типа
Гидротрансформатор	Трехэлементный, одноступенчатый двухфазный
Скоростной диапазон	7 передач переднего хода и 2 передачи заднего хода (повышенная и пониженная передачи заднего хода)
Муфта блокировки	Многодисковая мокрого типа
Передний ход	Привод через гидротрансформатор на 1-й передаче, прямой привод на 1-й передаче при включении муфты блокировки и на всех высших передачах
Задний ход	Привод через гидротрансформатор, прямой привод (при включении муфты блокировки)
Управление переключением передач	Электронное управление с автоматической модуляцией фрикционов на всех передачах
Вес	1817 кг
Передаточное отношение 1-й передачи переднего хода	4,696
Передаточное отношение 2-й передачи переднего хода	3,333
Передаточное отношение 3-й передачи переднего хода	2,475
Передаточное отношение 4-й передачи переднего хода	1,838
Передаточное отношение 5-й передачи переднего хода	1,365
Передаточное отношение 6-й передачи переднего хода	1,0
Передаточное отношение 7-й передачи переднего хода	0,742
Передаточное отношение низкой скорости заднего хода	5,244
Передаточное отношение высокой скорости заднего хода	3,894

Процесс устранения неисправности происходит следующим образом: если произошел отказ навесного оборудования без демонтажа АКПП, он устраняется в процессе технического обслуживания, если отказ связан с демонтажем АКПП,

то агрегат демонтировали и направляли в агрегатный участок для проведения ремонта. Если имелась обратная АКПП, то производили монтаж, с записью в паспорт самосвала о замене агрегата, соблюдая правила замены серийных номеров агрегата, указания наработки агрегата до отказа и т.д. Если обратный агрегат отсутствовал, самосвал ставили в простой до окончания выполнения ремонтных воздействий. Обычно его ставят на консервацию в бухгалтерском учете, чтобы простой не влиял на общий план по КТГ (коэффициент технической готовности) и КИО (коэффициент использования оборудования).

Перед началом экспериментальных исследований собирается вся имеющаяся информация касательно значений размерных параметров деталей АКПП. Информация взята с «заводской инструкции» [36]. Проведенные исследования на золотодобывающем предприятии АО «Полюс Вернинское» внесли огромный вклад в сборе информации по узлам и агрегатам лимитирующих надежность, включая объект исследования АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7. Информация по отказам АКПП черпалась из паспорта самосвала, статистики, журнал ремонтов, весь это документооборот ведут механики по ремонту транспорта предприятия. В документах фиксируется дата отказа, гаражный номер самосвала, наработка самосвала (м/ч), вид отказа и причина отказа. В некоторых случаях отмечают время простоя самосвала, если простой составляет более 2 часов.

## **3.2 Методика проведения экспериментальных исследований и сбора статистической информации**

### **3.2.1 Обоснование плана экспериментальных исследований**

Результаты экспериментальных исследований в некоторой степени зависят от суммы неожиданных факторов, которые могут повлиять на полученные результаты. Поэтому на начальном этапе требуется обосновать план

исследований, учитывая все условия. Основным этапом экспериментальных исследований считается сбор информации о средней наработке до отказа, зависимости изнашивания размерных параметров. План испытаний устанавливает число объектов испытаний, порядок проведения испытаний (с восстановлением работоспособного состояния изделия после отказа, заменой отказавшего изделия или без восстановления и замены) и критерий их прекращения

Согласно руководящему документу РД 50-690-89 [77] планирование испытаний на предмет надежности предполагает определить масштаб испытаний, что позволит получить оценки показателей надежности с указанной точностью (относительной ошибкой  $\varepsilon$  в оценке показателя надежности) и достоверностью (доверительной вероятностью  $q$ ).

На основании статистических данных, а также опыта эксплуатации большегрузных самосвалов можно отметить доминирующие причины отказа АКПП: механическое разрушение зубьев шестерен, износ фрикционных дисков и пластин, нарушение геометрических размеров мест посадки подшипников и втулок, износ прецизионных деталей гидроблока. Ресурсы большинства элементов АКПП во многом подчиняются распределению Вейбулла. Примем его за основное при определении объема подконтрольной выборки.

Требуемый объем подконтрольной выборки  $N$  можно определить, используя выражение связи параметров распределения Вейбулла с распределением  $\chi^2$  - квадрат:

$$(\delta + 1)^b = \frac{2N}{\chi_{1-q;2N}^2}, \quad (3.1)$$

где  $\delta$  – заданная относительная точность опытного среднего показателя;

$b$  – степенной параметр формы распределения Вейбулла;

$x_{1-q;2N}^2$  – квантиль распределения, соответствующий доверительной вероятности  $q$  и числу степеней свободы  $2N$ .

Коэффициент вариации  $\nu$  ресурса подшипников, фрикционных дисков, втулок, шестерен и других деталей, подвергающихся усталостному разрушению, принимаем 0,3 согласно расчетным данным, а также [77]. Величину  $b$  принимаем равной 2,77. Величину  $\varepsilon$  согласно [77] можно выбрать из диапазона 0,8; 0,9; 0,95; 0,99. В данной методике применительно к нашему объекту исследования принимаем  $\varepsilon = 0,95$ .

Воспользовавшись таблицами [77] находим величину  $N$  в зависимости от относительной ошибки  $q$ . Таким образом, при относительной ошибке  $q = 0,15$  число необходимых подконтрольных коробок переключения передач составит  $N = 13$  ед.

Следующий этап необходимо определить критерии прекращения испытаний. Основной задачей проведения экспериментальных исследований на надежность служит определения параметров зависимости изнашивания размерных параметров структурных элементов автоматической коробки переключения передач, то примем за критерий прекращения испытания время, когда не произойдет ресурсный отказ всех размерных параметров. В случае ресурсного отказа одного из элементов его заменяют и этот элемент не участвует в экспериментальном исследовании.

Длительность экспериментального исследования в который входил сбор статистики отказов, информации о технических зависимостях изнашивания сопрягаемых поверхностей деталей автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 составил около 60 месяцев в период с 2016 по 2021 год. На основании изложенного выбираем план испытания [NUT], с объемом выборки  $N = 13$  и с длительностью испытаний равной 5 лет.

### 3.2.2 Натурный эксперимент

В ходе, натурального эксперимента, который проходил на одном из горнодобывающем (золотодобывающем) предприятии России АО «Полос Вернинское», расположенном в Бодайбинском районе, Иркутской области произвели разборку и дефектовку автоматической коробки переключения передач (АКПП) большегрузного самосвала Komatsu HD785-7. Разборка и дефектовка АКПП проходила в ремонтном боксе на одном из участков РММ (ремонтно-механических мастерских). Все работы проводились согласно заводской инструкции [36]. Общая структурная схема последовательности выполнения работ по разборке и дефектовке АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 приведена на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Структурная схема последовательности проведения работ по разборке и дефектовке АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7

Далее опишем процесс проведения работ. В процессе разборки и дефектовки участвовали слесарь по ремонту агрегатов, не ниже 6 разряда и инженер – механик (механик по сервису и старший механик). Был использован

слесарный и пневматический инструмент, измерительный инструмент, спец инструмент, мостовой кран, специальные приспособления для кантования АКПП. В среднем трудоемкость работ по разборке и дефектовки АКПП составляет около 142 чел./час. Трудоемкость сборки АКПП составляет около 105 чел./час.

Структура строения АКПП спроектировано таким образом, что процесс разборки представляет собой последовательно демонтированные «сборки» узлов и деталей, сборка в обратной последовательности. В процессе разборки АКПП все его детали, лимитирующие надежность или видимым износом, подвергают измерению и заносят в бланк, данные всех измерений впоследствии отразятся в техническом отчете.

По завершению всей процедуры разборки, дефектовки и измерения параметров деталей и размерных цепей составляется технический отчет, в котором отражаются все проведенные замеры, с фото фиксацией и описанием, по необходимости, пример выдержки фрагментов технического отчета приведен в приложении Ж. Далее на основании проделанной работы составляется ведомость дефектов, в которой отражаются все элементы и детали АКПП которые требуется заменить, соблюдая каталожные номера и количество, придерживаясь при этом типа исполнения, принадлежность к технике и серийного номера агрегата. Пример выдержки фрагмента ведомости дефектов приведен в приложении К. Если детали АКПП, указанные в ведомости дефектов есть в наличии на складе, подается заявка на получение и далее сборка АКПП в обратной последовательности разборке. До помещения в картер АКПП проверяют сжатым воздухом величину хода в (мм) поршней №4, 5, 6, 7 муфт включения, пример выдержки фрагментов с заводской инструкции [36] по сборке АКПП приведен в приложении Л. В процессе сборки все болтовые соединения затягиваю только с моментом, указанным в заводской инструкции [36] и используют поверенный динамометрический инструмент. Если детали

отсутствуют на складе, ведомость дефектов передается в отдел материально-технического снабжения (ОМТС) для дальнейшего закупа.

Стоит отметить, что, если большегрузный самосвал остановили для демонтажа АКПП по гарантийной наработке, которая составляет около 25000 моточасов (цифра абстрактная) при этом, не запланировав данный простой, это грозит финансовыми потерями для производства, так как простой одного часа большегрузного самосвала грузоподъемностью 90 тонн в среднем стоит 55000 рублей. Нетрудно посчитать окончательную сумму финансовых потерь при простое большегрузного самосвала в ожидании запасных частей, которая в некоторых случаях может составлять до 6 месяцев.

### **3.3 Методика оценки адекватности имитационной математической модели ресурсных отказов**

Математическая модель ресурсных отказов, описанная во второй главе, довольно точно описывает подлинный процесс степени и характера износа сопряженных плоскостей деталей и звеньев размерных цепей, а также изменение всех контролируемых размерных параметров, при этом обеспечивать максимально точными расчетными данными, приближенные к реальным.

При оценке адекватности описываемой математической модели правильно будет использовать математическое правило для оценки разницы между выборками:

- выборки полученные в ходе моделирования расчетного значения;
- выборки полученные в ходе проведения эксперимента.

Учитывая особенность разработки математической модели применим ряд требований:

- работоспособность критерия при независимых выборках неравной численности;

- отсутствие требований на постулирование законов распределения с заранее известными параметрами;
- работоспособность и достаточная достоверность при малой выборке ( $N < 100$ ).

Существует достаточно большое количество статистических критериев, которые можно использовать в этих целях. Среди наиболее распространенных можно выделить следующие:

- $t$ -критерий Стьюдента – наиболее часто применяются для проверки равенства средних значений в двух выборках;
- критерий согласия Пирсона – применяется для любых видов распределения и неизвестных его параметров. Единственное существенное ограничение в количестве элементов выборки ( $N \geq 100$ );
- критерий Колмогорова-Смирнова – более мощный критерий, чем критерий согласия Пирсона, но его уместно применять в тех случаях, когда нужно проверить, подчиняется ли наблюдаемая случайная величина некоторому закону распределения, известному с точностью до параметров;
- критерий Фишера – в статистическом анализе служит для сравнения двух выборок по параметрам их дисперсий. Применение этого критерия ограничивается необходимостью проверки выборок на соответствие нормальному закону распределения.

Из этого следует, что ни один из известных критериев не отвечает поставленным условиям, требующим при разработке имитационной математической модели.

Для проверки адекватности модели будем использовать малораспространенный, но достаточно эффективный статистический метод сравнения двух выборок – критерий Манна – Уитни, который впервые был предложен Фрэнком Вилкоксоном в 1945 году, а в 1947 году был улучшен и расширен Х. Б. Манном и Д. Р. Уитни. Этот критерий предназначен для оценки различий между двумя выборками по уровню какого-либо признака,

количественно измеренного. Он позволяет выявлять различия между независимыми малыми выборками, когда  $N_1, N_2 \geq 3$  или  $N_1 = 2, N_2 \geq 5$ , что вполне удовлетворяет нашим условиям. Значение  $U$  - критерия Манна-Уитни определяется по формуле:

$$U = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x(n_x + 1)}{2} - T_x, \quad (3.2)$$

где  $n_1, n_2$  – объем выборки 1 и 2;

$n_x$  – количество объектов в группе с большей суммой рангов;

$T_x$  – большая их двух ранговых сумм.

Для признания адекватности математической модели необходимо выполнение следующего условия – расчетное значение критерия  $U_p$  должно быть меньше табличного заданного уровня значимости  $U_{(N_1, N_2, \alpha\%)}^T$ :

$$U_p > U_{(N_1, N_2, \alpha\%)}^T. \quad (3.3)$$

Задавшись статистическим уровнем значимости  $\alpha = 0,01$ , определялись табличные значения критерия  $U_{(N_1, N_2, \alpha\%)}^T$  [65; 64; 74] для каждой моделируемой характеристики. Путем сравнения расчетного значения критерия с его табличным значением по условию (3.3) определялась адекватность имитационной математической модели. Если условие выполнялось, то считалось, что модель с достаточной точностью повторяет результаты эксперимента, то есть является адекватной. В противном случае модель признавалась неадекватной и подвергалась дальнейшей доработке, посредством усложнения входящих в нее математических выражений.

### **3.4 Выводы по третьей главе**

Разработана общая методика экспериментальных исследований, структура и взаимосвязь этапов исследований. Определили предмет и направления экспериментальных исследований.

Произвели обоснование плана экспериментальных исследований и критерии его прекращения. Выполнили расчет и выбор плана испытания.

В виду малой доступности нормативной и технической документации, рекомендаций производителя, была предложена методика определения показателей на основе натурального эксперимента. Произвели описание натурального эксперимента с составлением структурной схемой.

## **4 Результаты экспериментальных исследований**

### **4.1 Анализ структуры и причин отказов агрегатов, поступающих в текущий или капитальный ремонт**

По числу отказов, а также трудоемкости их устранения автоматическая коробка переключения передач стоит на втором месте среди агрегатов и механизмов большегрузных самосвалов после двигателя [46; 44; 61; 62]. Демпфер и передняя подвеска не менее трудоемкая в ремонте, а число отказов может зависеть от условий эксплуатации. В ходе принятия решения по видам ремонтных воздействий при текущем или капитальном ремонте размерной модели необходимо произвести оценку показателей эксплуатационной надежности, разделить отказы, а также выявить детали, ограничивающие надежность. Для решения упомянутых задач при помощи [37; 36; 6] разработаны укрупненные структурные модели агрегатов и механизмов, пример схемы которых представлены на рисунке 4.1, рисунке 4.2 и рисунке 4.3.

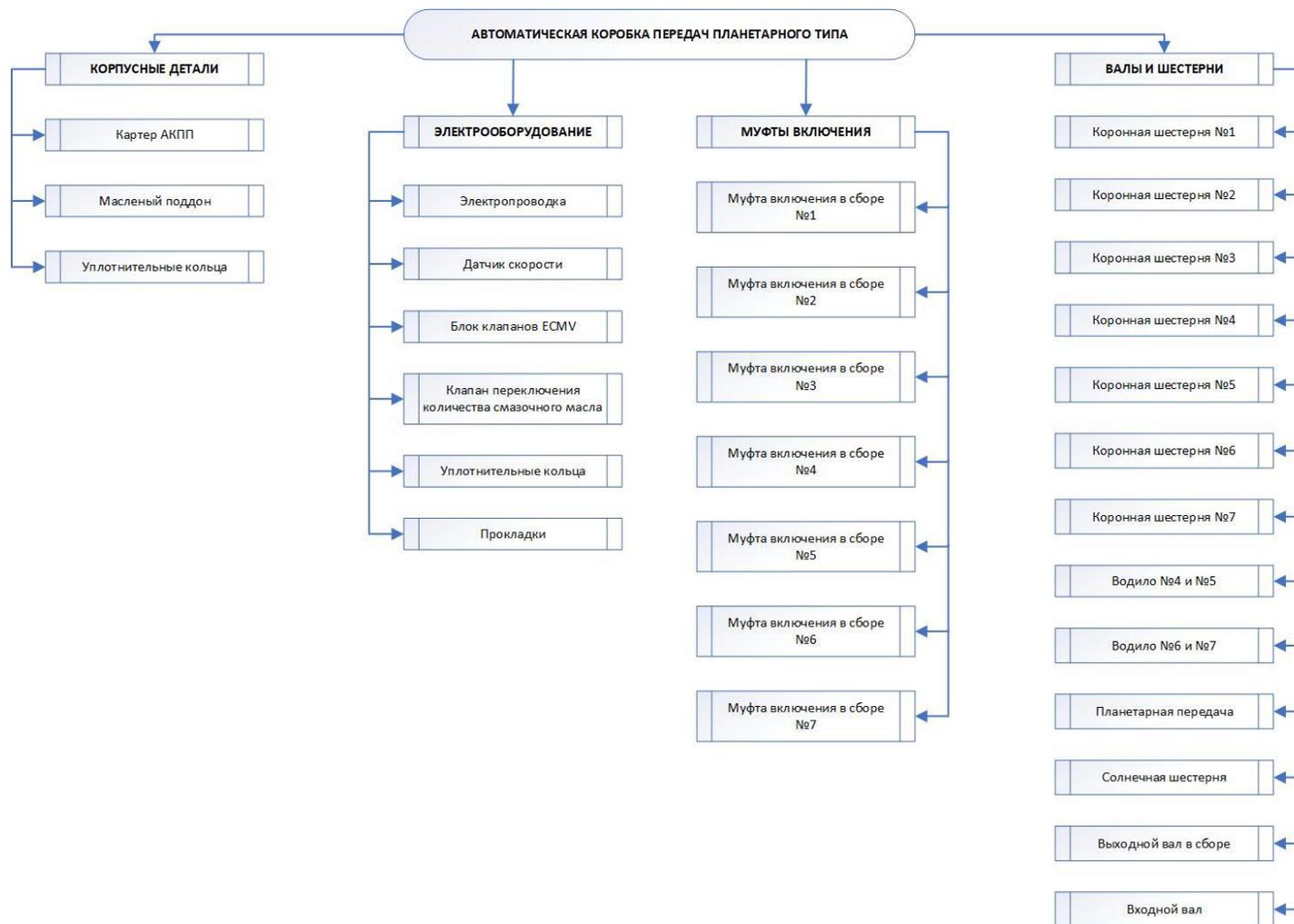


Рисунок 4.1 – Укрупненная модель автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала  
Komatsu HD785-7



Рисунок 4.2 – Укрупненная модель демпфера большегрузного самосвала  
Komatsu HD785-7

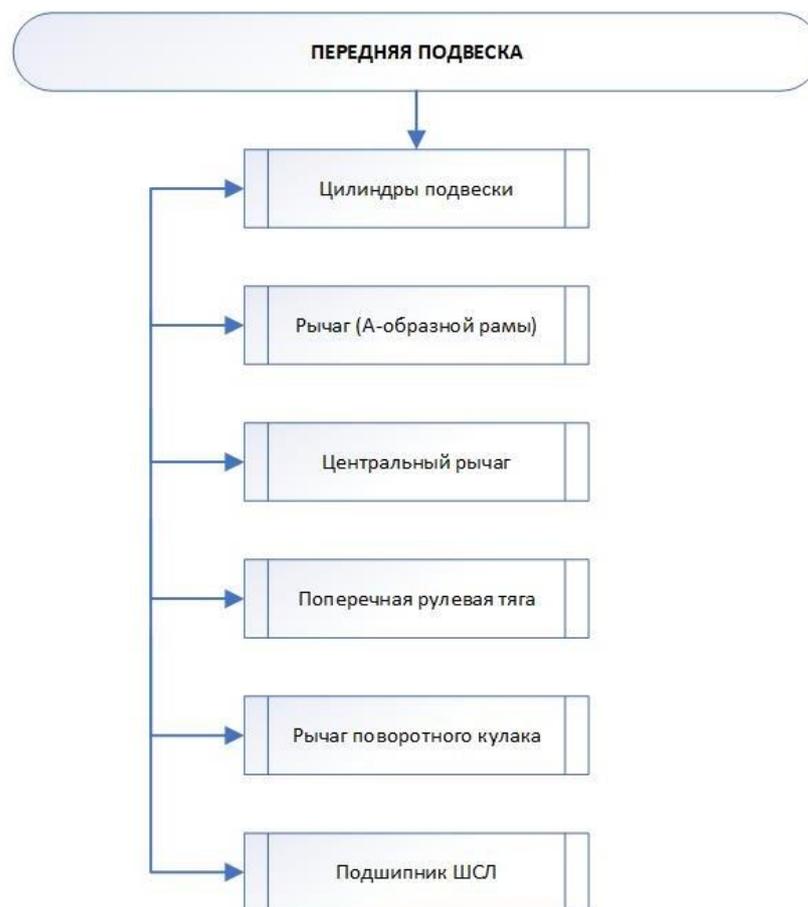


Рисунок 4.3 – Укрупненная модель передней подвески большегрузного  
самосвала Komatsu HD785-7

Разделение рассматриваемой системы и описание элементов конструктивных связей размерной модели (АКПП, демпфер, передняя подвеска) приведено в приложении Б, таблица ПБ.1, ПБ.2, ПБ.3.

Исследованию подверглись 5 автоматических коробок передач, 5 демпферов и 5 механизмов передней подвески большегрузных самосвалов Komatsu HD785-7, эксплуатируемые на горнодобывающем предприятии России в Иркутской области. Наблюдение проводилось в период с 2017 по 2021 года.

Рассмотрим структуру отказов АКПП. Большая часть отказов в АКПП современных большегрузных самосвалов приходится на пакеты фрикционов, втулки, подшипники и уплотнения. В априори все трущиеся детали гораздо больше подвержены износу несмотря на современные технологии. Далее идут шестерни, посадочные места валов, корпусов. Третьим идет электрооборудование.

Отказы АКПП обусловлены износом дисков и пластин муфт включения, выявлены разрушение волновых пружин, в следствие чего происходит крен как отдельного диска и пластины, так и всего пакета, что в свою очередь приводит к стремительному износу корпуса муфты, клина и механического разрушения всего пакета фрикционов.

Также присутствует нарушение работы подшипников, происходит увеличение радиального зазора, механическое разрушение сепараторов, просадка размерного параметра места установки подшипника.

Износ втулок обусловлен увеличением радиального зазора между валом и втулкой. Если рассматривать валы, шестерни и корпусные детали, то их износ это следствие износа вышеупомянутых деталей втулок, подшипников и т.д.

Рассматривая износ уплотнительных колец (бронза, тефлон, фторопласт), то в следствие их износ происходит износ рабочей поверхности цилиндра муфты включения, сопрягаемых поверхностях и т.д.

Наглядное отображение некоторых характерных причин отказов АКПП приведено в приложении В, на рисунках ПВ.1–ПВ.6.

Рассмотри структуру отказов демпфера. Большая часть отказов демпфера большегрузных самосвалов приходится на резиновые муфты и подшипники.

Отказы демпфера обусловлены механическим разрушением резиновых упругих муфт, что в момент пуска и останова ДВС приводит к рывкам и ударам, оказывая пагубное влияние на элементы ДВС, промежуточного карданного вала, так и на элементы гидротрансформатора.

Также присутствует нарушение работы подшипников, происходит увеличение радиального зазора, механическое разрушение сепараторов, просадка размерного параметра корпуса и выходного вала демпфера. Сюда можно добавить механический износ шлицев выходного вала.

Наглядное отображение некоторых характерных причин отказов демпфера приведено в приложении В, на рисунке ПВ.7.

Рассмотри структуру отказов элементов передней подвески. Большая и, наверное, основная часть отказов элементов передней подвески большегрузных самосвалов приходится подшипники ШСЛ и пальцы.

Отказы элементов передней подвески обусловлены механическим износом соединительных пальцев, износом и разрушением подшипников ШСЛ, а также в некоторых случаях износом посадочных мест базовых деталей (Рычаг (А-образной рамы), центральный рычаг, поперечная рулевая тяга, рычаг поворотного кулака).

В ходе проведенных исследований были выявлены детали и поверхности лимитирующие надежность:

1. Автоматическая коробка переключения передач:
  - диски и пластины – износ рабочей поверхности;
  - втулки и шайбы скольжения – износ рабочей поверхности;
  - сателлитные шестерни – износ, разрушение зубьев шестерен;
  - подшипники – разрушение сепаратора, радиальный зазор;
  - корпуса муфт включения – износ шлицев, рабочей поверхности пластин, износ посадочных размеров подшипников и втулок;

- электропроводка – износ, разрушение;
- уплотнения – износ, разрушение.

Выполнено структурирование отказов элементов предмета исследования:

- износ – 65 %;
- механические разрушения – 25 %;
- электрика – 5%;
- прочее – 5 %.

## 2. Демпфер:

- выходной вал – износ посадочных мест подшипников;
- выходной вал – износ шлицевого соединения;
- резиновые упругие муфты – механическое разрушение;
- корпус – износ, просадка посадочных мест подшипников;

Выполнено структурирование отказов элементов предмета исследования:

- механические разрушения (деформация) – 85 %;
- износом – 15 %.

## 3. Передняя подвеска:

- рычаг (А-образной рамы) – износ посадочных отверстий под подшипник ШСЛ, износ пальцев;
- центральный рычаг – износ посадочных отверстий под подшипник ШСЛ, износ втулок, пальцев;
- рычаг поворотного кулака – износ втулок, износ пальцев;
- поперечная рулевая тяга – пальцев, посадочных мест под подшипники ШСЛ.

Выполнено структурирование отказов элементов предмета исследования:

- износ – 67 %;
- механические разрушения – 25 %;
- прочее – 8 %.

Ко всем процессам и воздействиям, которые приводят к отказам агрегатов и механизмов автомобилей, требуется уделить особое внимание, так как это в первую очередь связано с износом.

#### **4.2 Результат наработки на отказ, полученный модельным путем и в ходе натурного эксперимента**

В результате сбора статистических данных о ремонтах, наработках агрегатов большегрузных самосвалов на горнодобывающих предприятиях Красноярского края и Иркутской области были произведены математические расчеты, цель которых является определение расчетной точности гарантийной наработки агрегата после ремонтных воздействий в период эксплуатации, что положительно отразится на планировании ремонтного производства.

Имея измеренные значения геометрических параметров деталей агрегатов, а также нормативные размеры размерных параметров деталей агрегатов большегрузного самосвала можно путем несложных вычислений определить степень износа детали агрегата для каждого рассматриваемого элемента приведено в приложении Г, таблица ПГ.1 – ПГ.6.

На основании полученных расчетных данных строим график результатов аппроксимации зависимостей износа от наработки агрегата, рисунок 4.4 – 4.14. В нашем случае рассматриваем три элемента (АКПП, демпфер, передняя подвеска) большегрузного самосвала. Далее рассмотрим каждый элемент по отдельности.

После построения графика соотношения величины износа от наработки агрегата выделяем параметры линии тренда (экспоненциальная), и в полученные уравнения подставляем данные степени износа деталей агрегата. В ходе расчета получаем данные гарантийного отказа относительно границы критического износа детали агрегата большегрузного самосвала приведены в приложении Д, таблица ПД.1 – ПД.6.

На рисунках 4.5 – 4.15 показаны графики расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа для каждого из трех рассматриваемых элементов большегрузного самосвала. Благодаря расчетам нам удалось получить расчетную точку наработки деталей агрегата на отказ. Рассмотрим каждый элемент по отдельности.

#### АКПП, муфта включения в сборе

В приложении Г, таблица ПГ.1 представлены нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждой муфты включения АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждой рассматриваемой муфты.

На рисунке 4.4 показан график результатов аппроксимации зависимостей износа от наработки каждой муфты включения АКПП большегрузного самосвала.

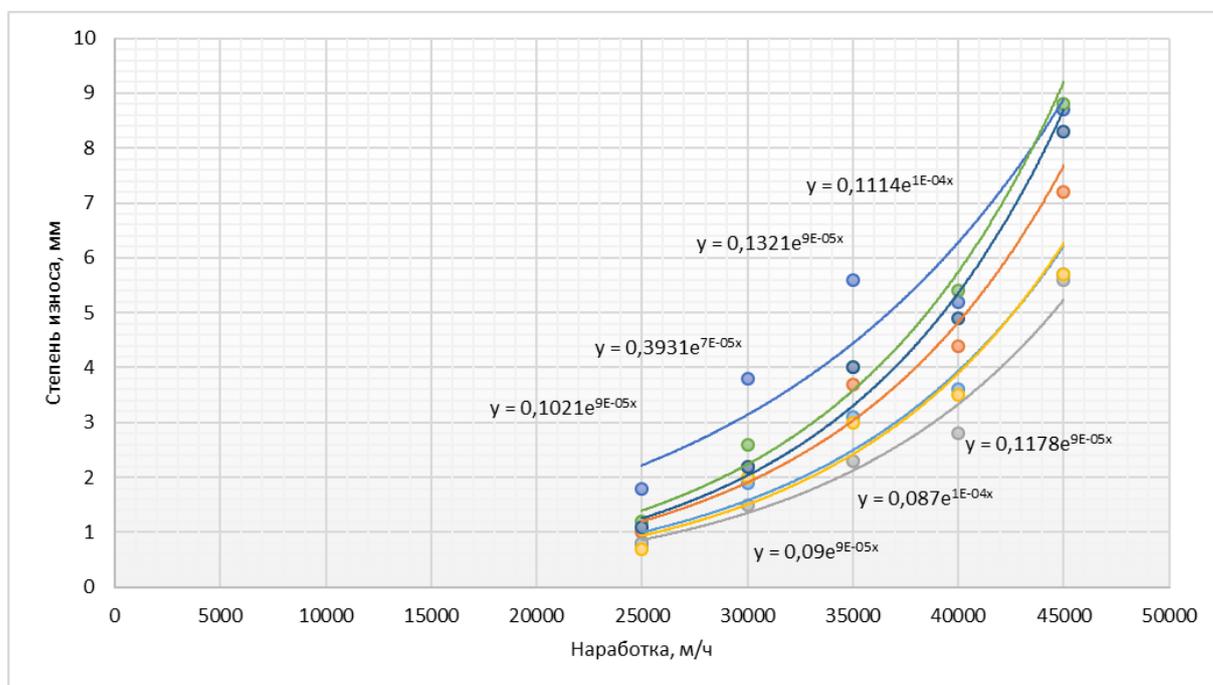


Рисунок 4.4 – Результаты аппроксимации зависимостей износа от наработки каждой муфты включения АКПП большегрузного самосвала

На рисунке 4.5 показан график расчетного гарантийного отказа относительно границ критического износа муфт АКПП большегрузного самосвала. Примечательно, что границы критического износа для некоторых муфт разные:

- муфта 3 и 4 передачи составляет 3 мм;
- муфта высокой и низкой скорости составляет 3,8 мм;
- муфта 1, 2 передачи и муфта заднего хода составляет 4 мм.

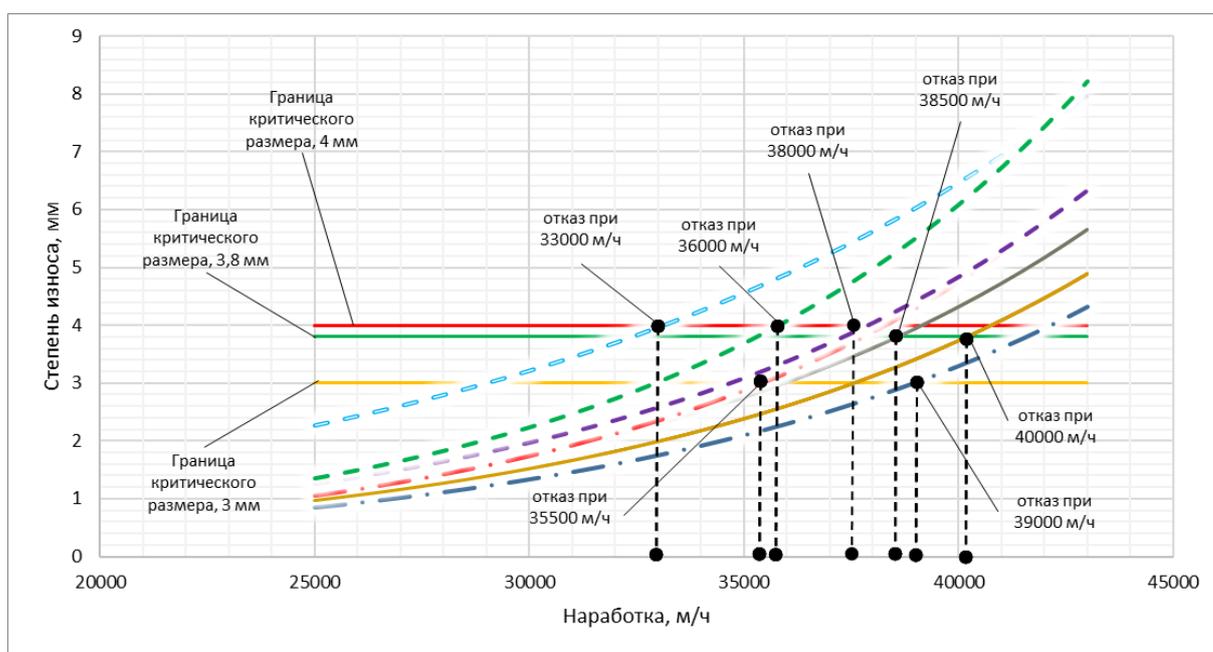


Рисунок 4.5 – График расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа муфт АКПП большегрузного самосвала

#### АКПП, металлические пластины муфты включения

В приложении Г, таблица ПГ.2 представлены нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждой металлической пластины муфты включения АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждой рассматриваемой металлической пластины.

На рисунке 4.6 показан график результатов аппроксимации зависимостей износа от наработки металлических пластин муфт включения АКПП большегрузного самосвала.

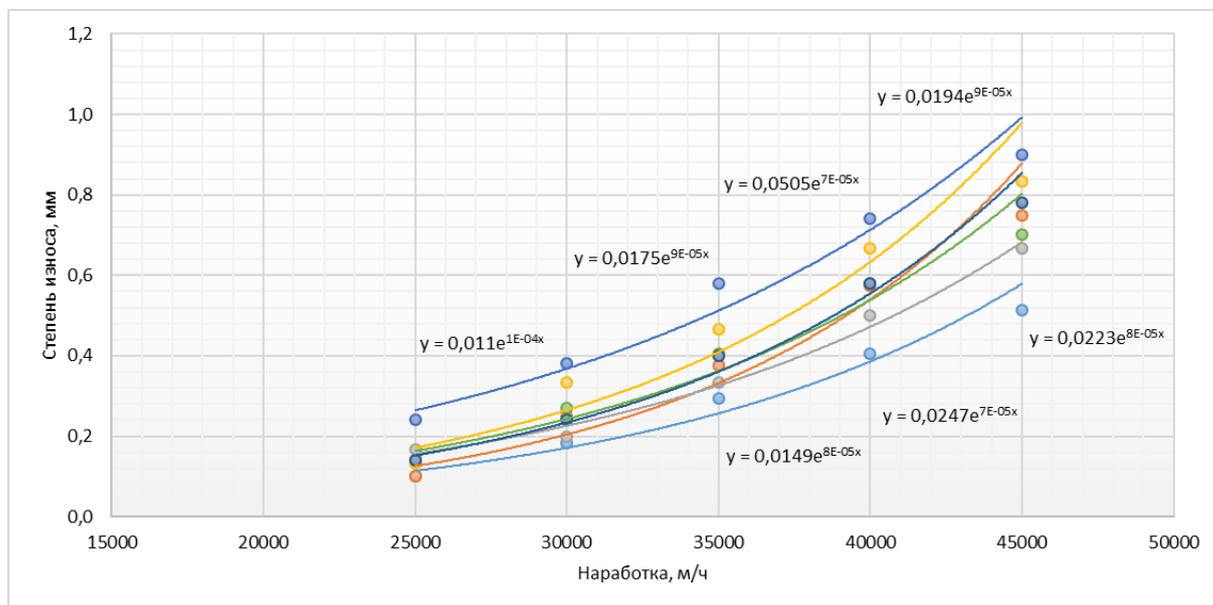


Рисунок 4.6 – Результаты аппроксимации зависимостей износа от наработки металлических пластин муфт включения АКПП большегрузного самосвала

На рисунке 4.7 показан график расчетного гарантийного отказа относительно границ критического износа металлических пластин муфт АКПП большегрузного самосвала. Граница критического износа составляет 0,2 мм.

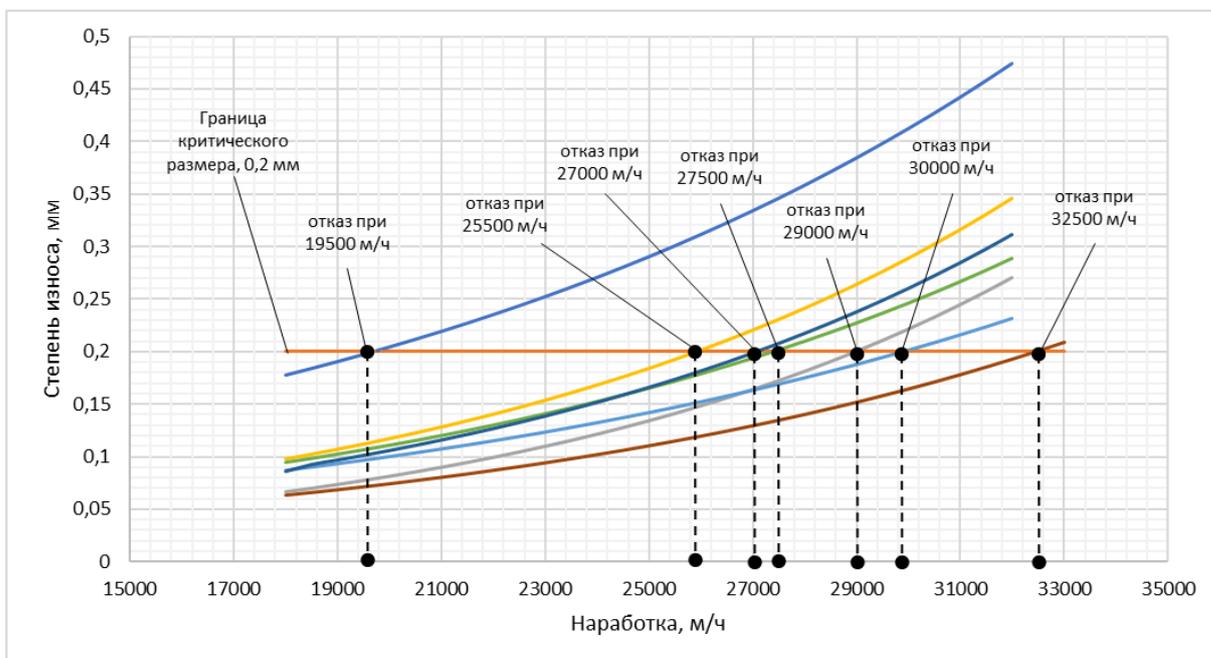


Рисунок 4.7 – График расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа металлических пластин муфт АКПП большегрузного самосвала

#### АКПП, фрикционные диски муфты включения

В приложении Г, таблица ПГ.3 представлены нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждого фрикционного диска муфты включения АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждого рассматриваемого фрикционного диска.

На рисунке 4.8 показан график аппроксимации зависимостей износа от наработки каждого фрикционного диска муфты включения АКПП большегрузного самосвала.

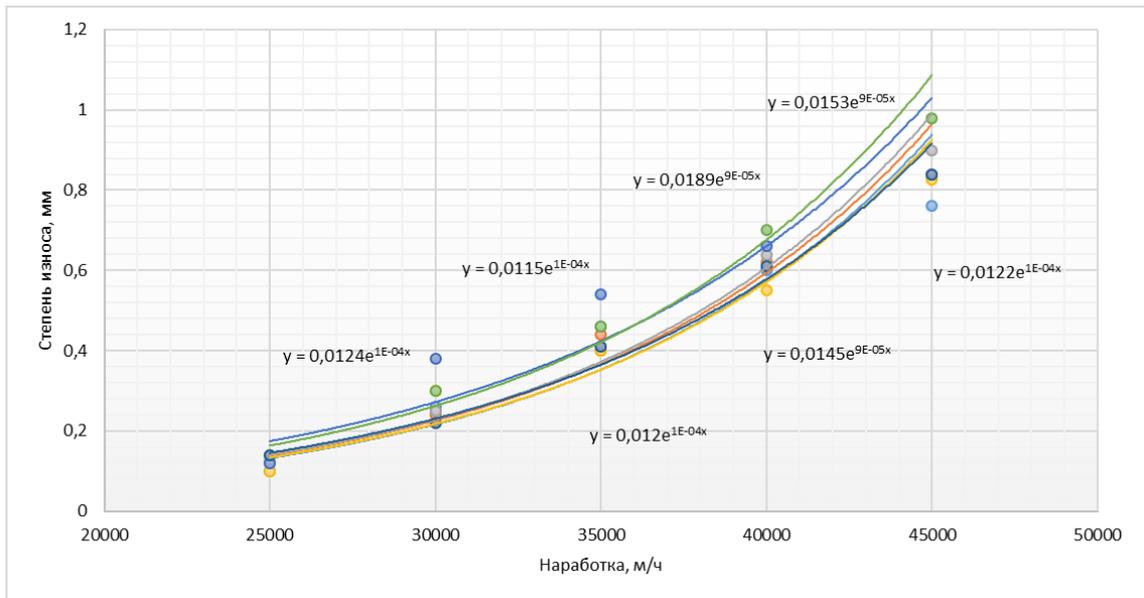


Рисунок 4.8 – Результаты аппроксимации зависимостей износа от наработки фрикционных дисков муфт включения АКПП большегрузного самосвала

На рисунке 4.9 показан график расчетного гарантийного отказа относительно границ критического износа фрикционных дисков муфт АКПП большегрузного самосвала. Граница критического износа составляет 0,6 мм.

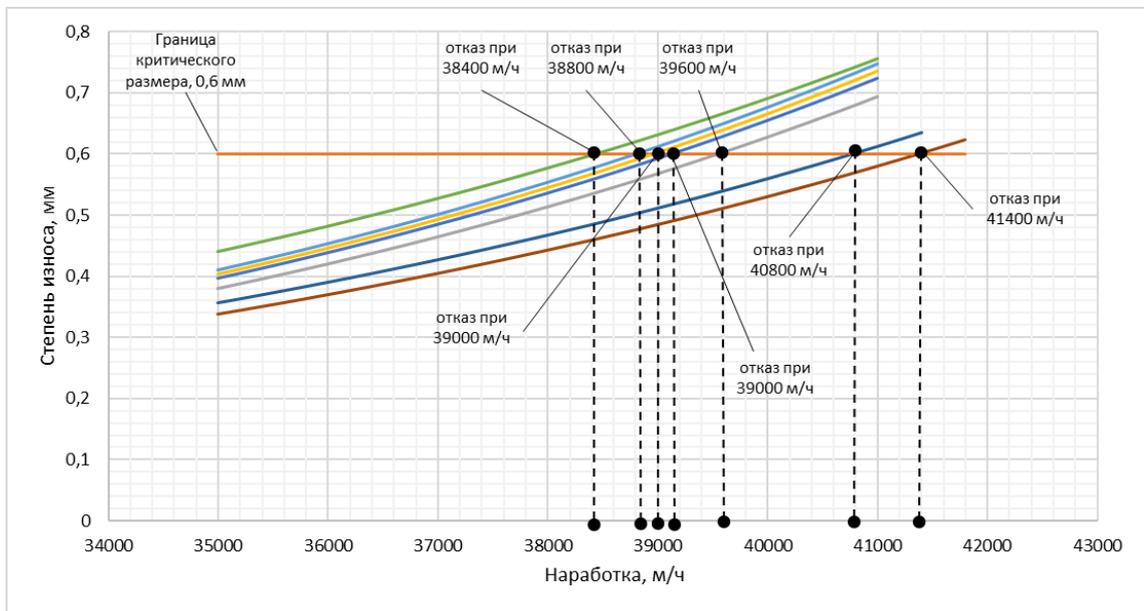


Рисунок 4.9 – График расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа фрикционных дисков муфт АКПП большегрузного самосвала

## АКПП, шайбы сателлитных шестерен

В приложении Г, таблица ПГ.4 представлены нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждой шайбы сателлитной шестерни АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждой рассматриваемой шайбы.

На рисунке 4.10 показан график аппроксимации зависимостей износа от наработки каждой шайбы сателлитной шестерни АКПП большегрузного самосвала.

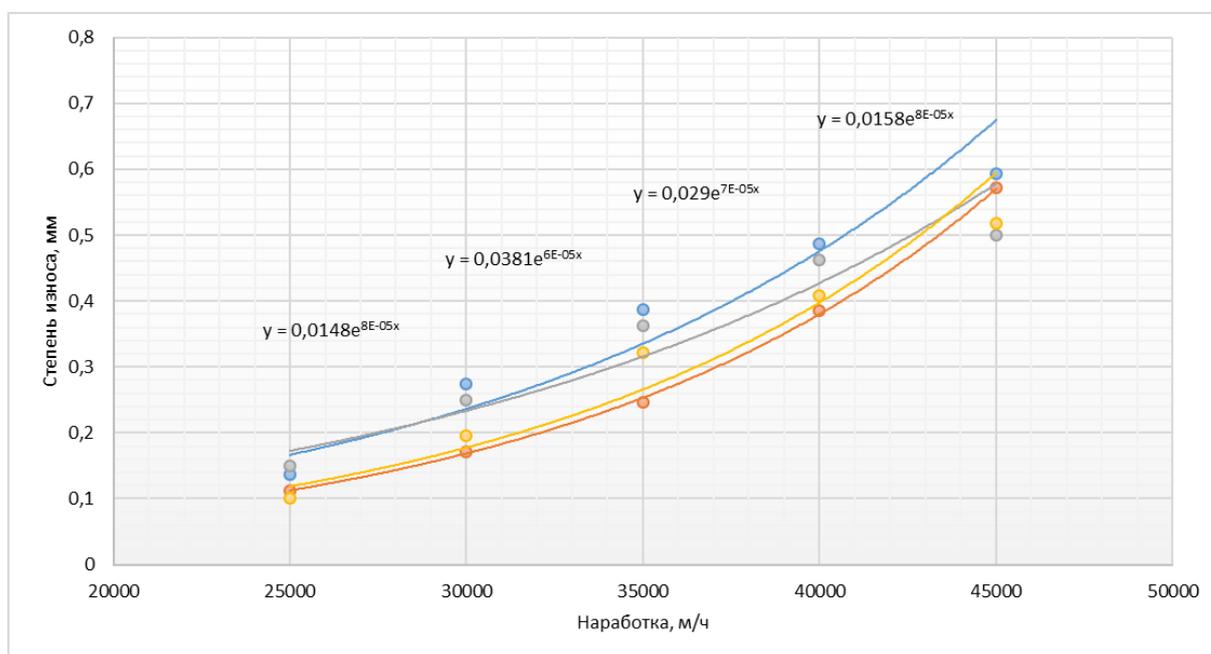


Рисунок 4.10 – Результаты аппроксимации зависимостей износа от наработки шайб сателлитных шестерен АКПП большегрузного самосвала

На рисунке 4.11 показан график расчетного гарантийного отказа относительно границ критического износа шайб сателлитной шестерни АКПП большегрузного самосвала. Граница критического износа составляет 0,5 мм.

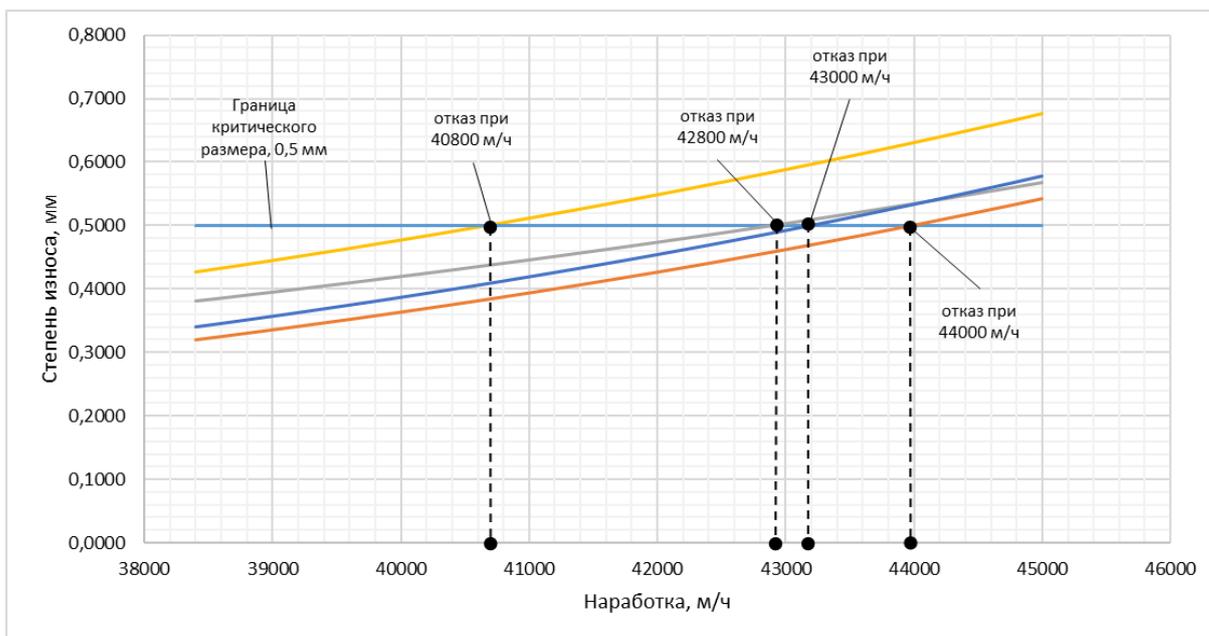


Рисунок 4.11 – График расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа шайб сателлитной шестерни АКПП большегрузного самосвала

### Демпфер

В приложении Г, таблица ПГ.5 представлены нормативные и измеренные значения геометрических параметров деталей демпфера ДВС большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа.

На рисунке 4.12 показан график аппроксимации зависимостей износа от наработки деталей демпфера ДВС большегрузного самосвала.

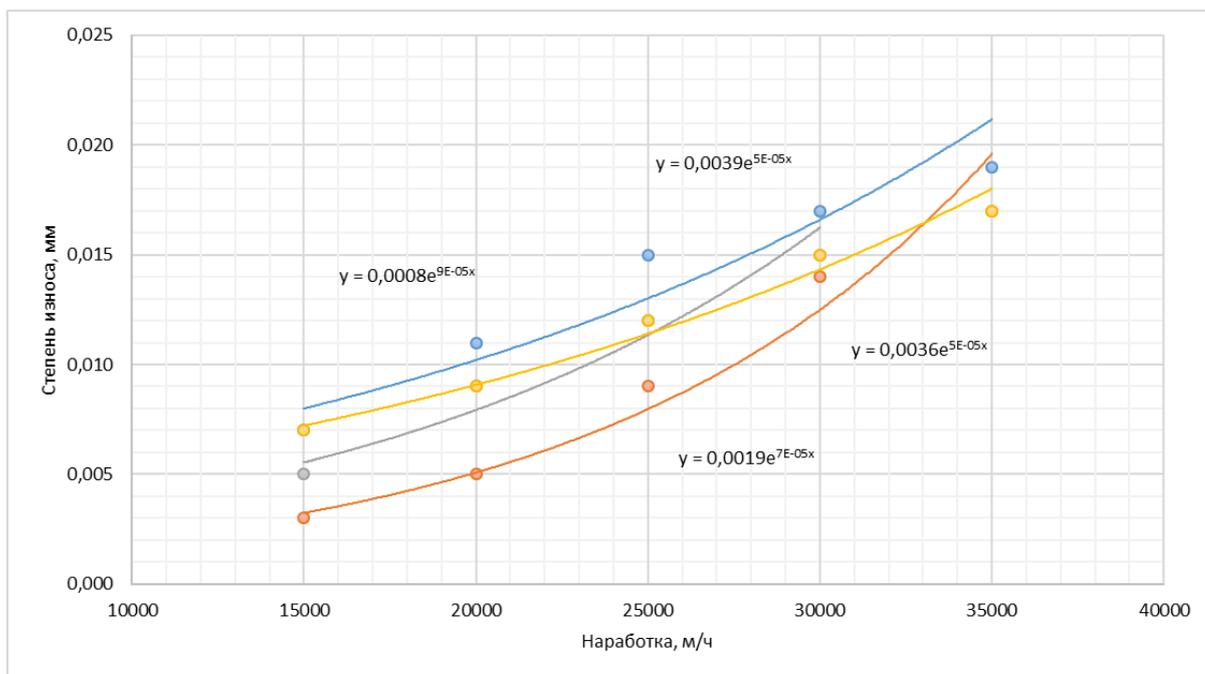


Рисунок 4.12 – Результаты аппроксимации зависимостей износа от наработки демфера ДВС большегрузного самосвала

На рисунке 4.13 показан график расчетного гарантийного отказа относительно границ критического износа деталей демфера ДВС большегрузного самосвала. Граница критического износа составляет 0,017 мм.

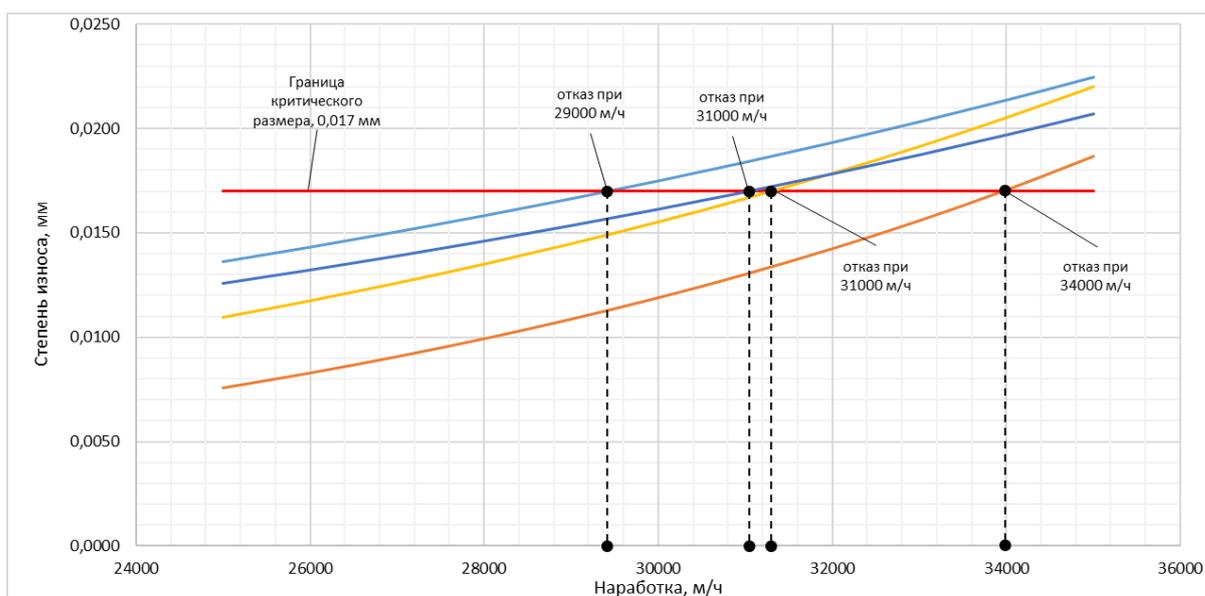


Рисунок 4.13 – График расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа деталей демфера ДВС большегрузного самосвала

## Передняя подвеска

В приложении Г, таблица ПГ.6 представлены нормативные и измеренные значения геометрических параметров деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа.

На рисунке 4.14 показан график аппроксимации зависимостей износа от наработки деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала.

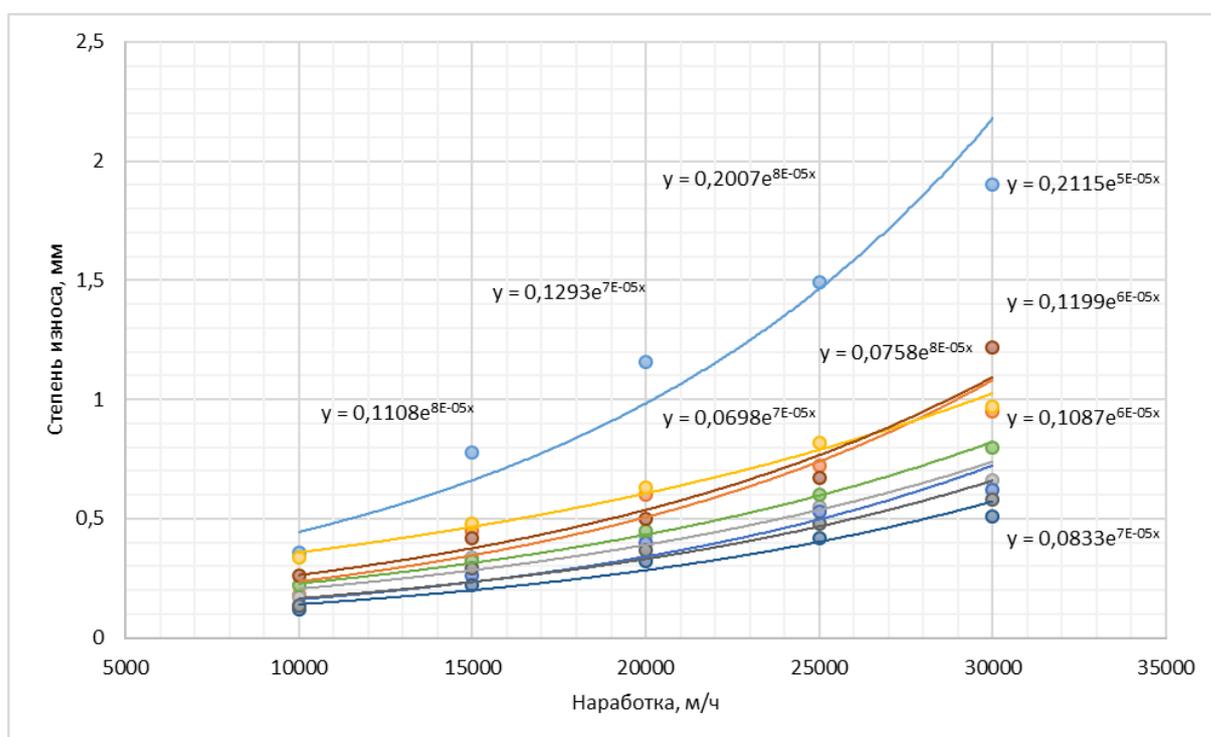


Рисунок 4.14 – Результаты аппроксимации зависимостей износа от наработки деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала

На рисунке 4.15 показан график расчетного гарантийного отказа относительно границ критического износа деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала. Границы критического износа составляют 0,3 мм, 0,4 мм, 0,7 мм, 1 мм.

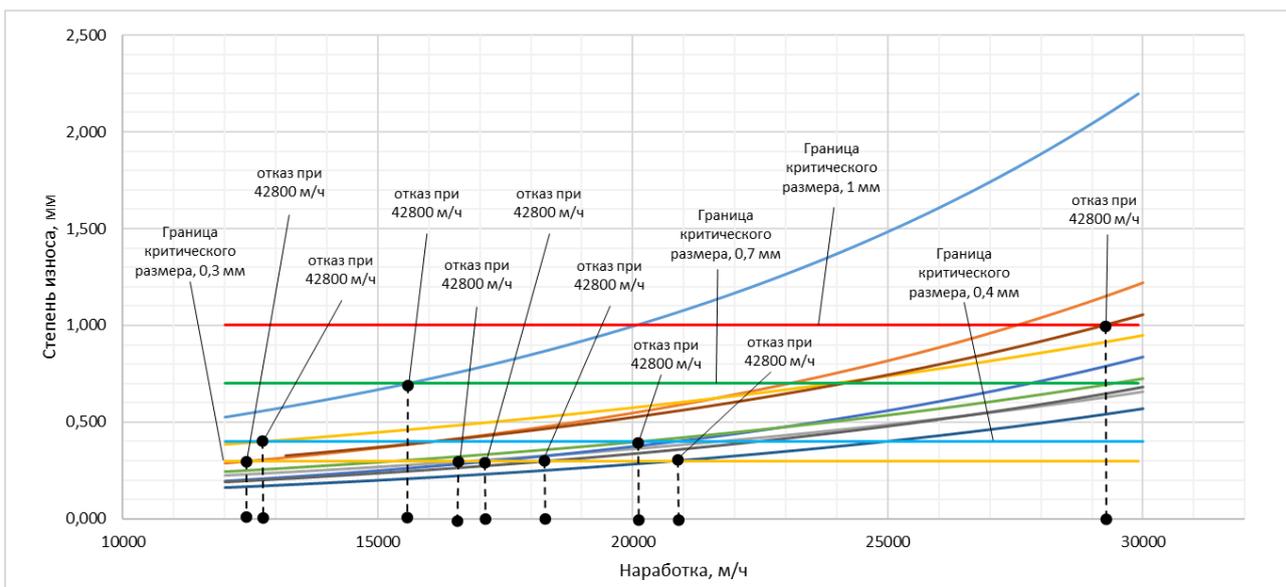


Рисунок 4.15 – График расчетного гарантийного отказа относительно границы критического износа деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала

### 4.3 Анализ результатов математического моделирования гарантийной наработки

Анализируя результаты математического расчета определения расчетной точности гарантийной наработки агрегатов после проведения ремонтных воздействий проведенного в предыдущей главе можно с уверенностью сказать, что данная теория верна и требует более скрупулёзного изучения. На рисунке 4.16 представлены результаты сравнения данных при рекомендованной гарантийной наработке агрегатов и механизмов на отказ, и расчётная гарантийная наработка на отказ, полученная в ходе математических вычислений на основании собранных статистических данным эксплуатации большегрузных самосвалов.

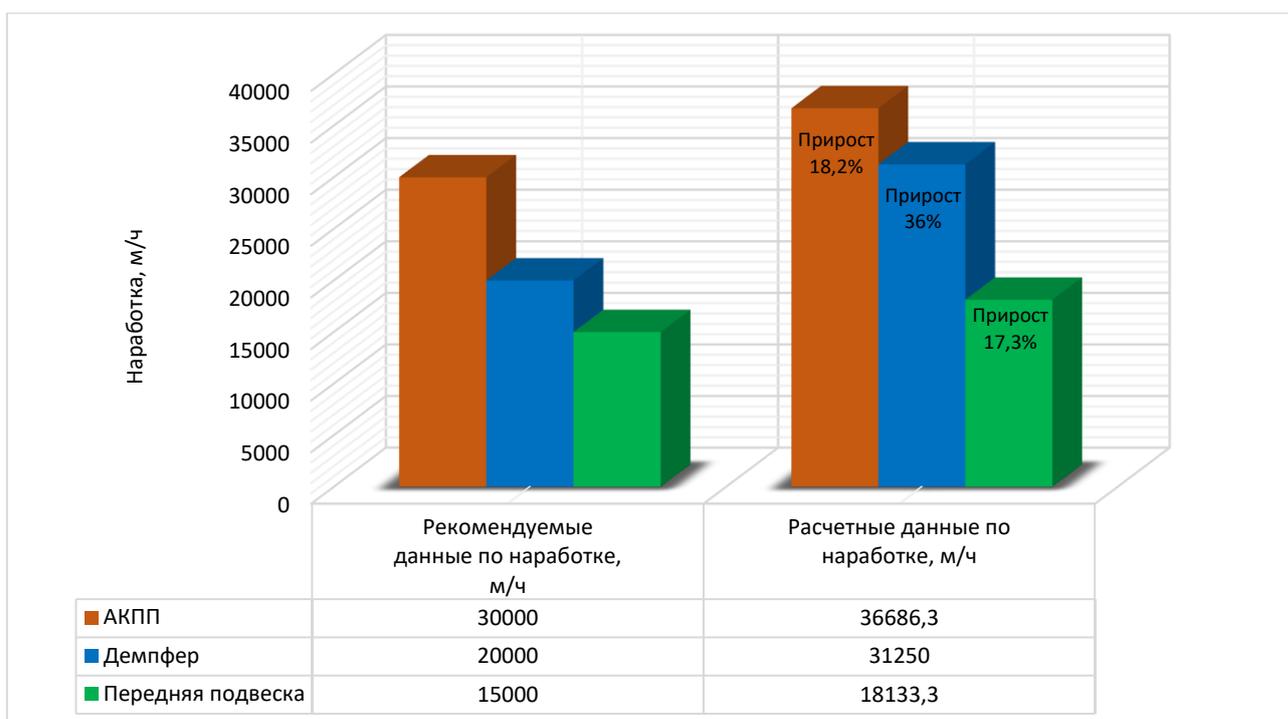
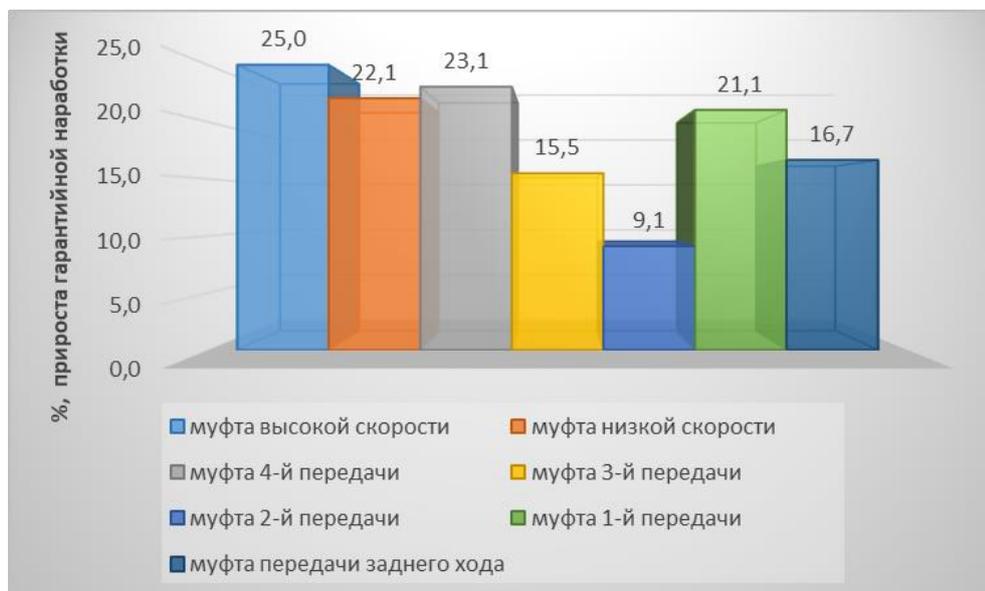


Рисунок 4.16 – Результаты сравнения данных при рекомендованной и расчетной гарантийной наработке агрегатов и механизмов большегрузного самосвала

По данным расчета прирост гарантийной наработки на отказ по выбранным агрегатам и механизмам составляет: автоматическая коробка переключения передач – 18,2 %; демпфер – 36 %; элементы передней подвески – 17,3 %. Стоит отметить, что результаты гарантийной наработки, рисунок 4.16 указаны общие данные, без разбивки на отдельные группы.

На рисунке 4.17 представлены результаты прироста расчетной наработки на отдельные группы деталей АКПП большегрузного самосвала, муфты включения (а), шайбы сателлитов (б).



а



б

Рисунок 4.17 – Результаты прироста расчетной наработки к гарантийной на отдельные группы деталей АКПП большегрузного самосвала, муфты включения (а), шайбы сателлитов (б)

Для примера, на рисунке 4.18 представлена структурная схема АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 с указанием групп деталей и гарантийной наработки для каждой из них в процентном соотношении.

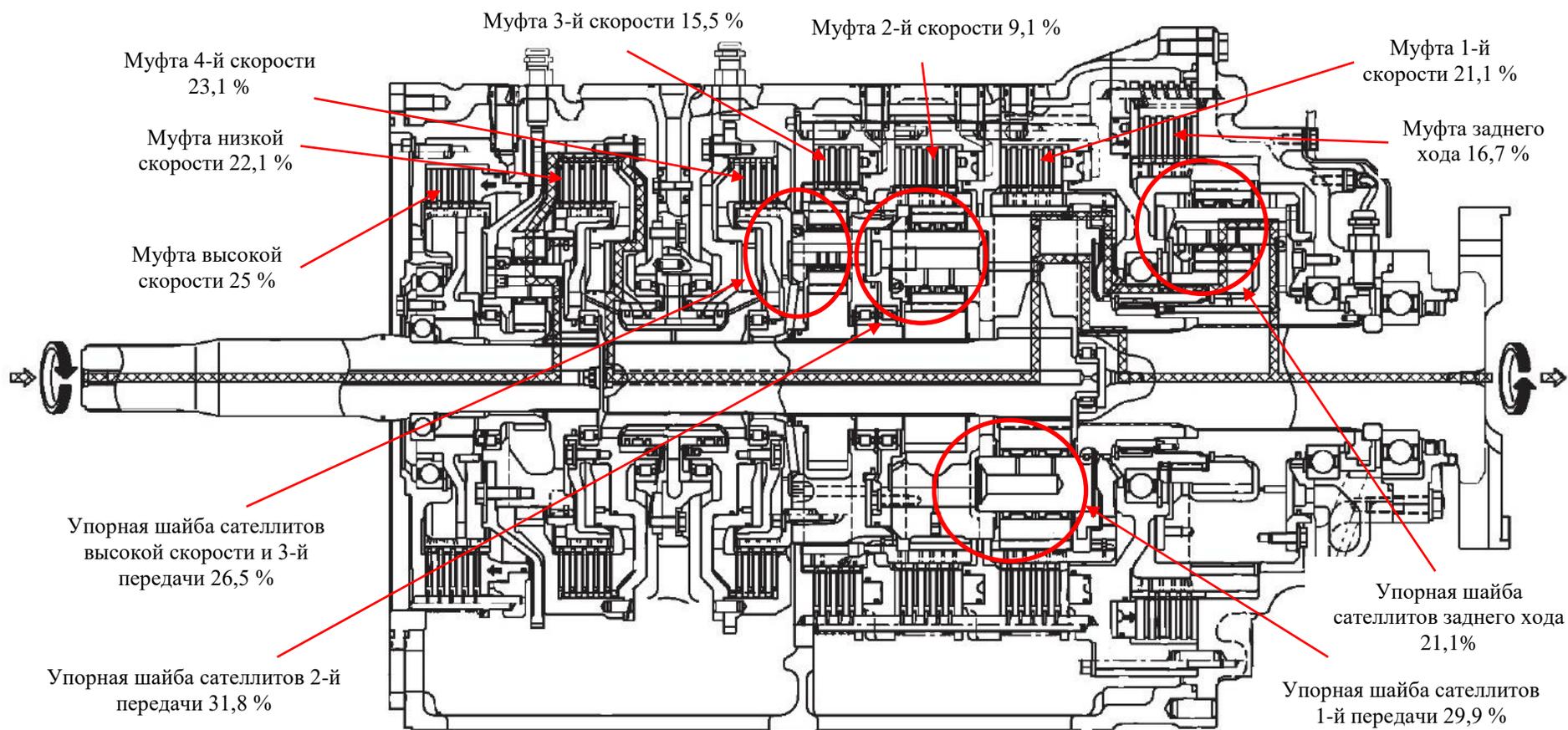


Рисунок 4.18 – Результаты назначения гарантийной наработки для отдельной группы размерных цепей АКПП  
 большегрузного самосвала Komatsu HD785-7

В таблице 4.1 приведены значения отношения гарантийной наработки к расчетной наработке (прирост в процентном соотношении) отдельных групп деталей АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7.

Таблица 4.1 – Значения отношения гарантийной наработки к расчетной наработке отдельных групп АКПП.

Наименование	Гарантийная наработка, моточасов	Расчетная наработка/прирост	
		моточасов	%
Муфты включения в сборе			
Общая толщина 5 дисков и 4 пластин в сборе муфты высокой скорости	30000	40000	25,0
Общая толщина 5 дисков и 4 пластин в сборе муфты низкой скорости	30000	38500	22,1
Общая толщина 4 дисков и 3 пластин в сборе муфты 4 передачи	30000	39000	23,1
Общая толщина 4 дисков и 3 пластин в сборе муфты 3 передачи	30000	35500	15,5
Общая толщина 5 дисков и 5 пластин в сборе муфты 2 передачи	30000	33000	9,1
Общая толщина 5 дисков и 5 пластин в сборе муфты 1 передачи	30000	38000	21,1
Общая толщина 5 дисков и 5 пластин в сборе муфты заднего хода	30000	36000	16,7
Среднее значение:		37143	18,2
Упорные шайбы сателлитных шестерен			
Упорная шайба (сателлитов высокой скорости и 3-й передачи)	30000	40800	26,5
Упорная шайба (сателлитов 2-й передачи)	30000	44000	31,8
Упорная шайба (сателлитов 1-й передачи)	30000	42800	29,9
Упорная шайба (сателлита заднего хода)	30000	43000	30,2
Среднее значение:		42650	29,6

Рекомендованная наработка статичная и не изменяется. Расчетное наработка будет меняться от вида ремонта размерных цепей, а также размерных параметров новых деталей.

Исходя из этого, при правильном подходе с научной и эксплуатационной точки зрения к процессу проведения текущих и капитальных ремонтных воздействий, имея нормативные размеры геометрических параметров деталей агрегатов и механизмов, а также грамотном сборе статистики отказов и ремонтов можно отодвинуть границу гарантийной наработки агрегатов большегрузных

самосвалов на более дальний период. Это даст возможность более целесообразно, экономически выгодно, спланированно подойти к процессу ремонта техники на производственных площадках горнодобывающих предприятий.

#### **4.4 Выводы по четвертой главе**

В ходе экспериментальных исследований были получены статистические и расчетные данные об гарантийной наработке рассматриваемых агрегатов и механизмов большегрузных самосвалов HD785-7. В нашем случае для расчета были взяты основные, в износном понятии части АКПП, демпфер и элементы передней подвески.

Установлено, что теоретически разработанная и просчитанная методика может быть использована на практике в условиях производственных площадок горнодобывающих предприятий для увеличения гарантийной наработки агрегатов и механизмов после проведения текущего и капитальных ремонтов, имея при этом все накопленные статистические данные отказов, размерные геометрические параметры деталей агрегатов и механизмов.

Была проведена работа по определению структуры отказов, все отказы рассматриваемых агрегатов и механизмов связаны с износом.

Произвели сравнение нормативных гарантийных наработок агрегатов и механизмов, рекомендованных заводом изготовителем с гарантийными наработками полученные в ходе расчетов. По данным расчета прирост гарантийной наработки на отказ по выбранным агрегатам и механизмам составляет: автоматическая коробка переключения передач – 18,2 %; демпфер – 36 %; элементы передней подвески – 17,3 %. Согласно результатам можно прийти к выводу, что данная методика имеет место быть и заслуживает отдельного внимания для развития в условиях производственных площадок горнодобывающих предприятий России.

## **5 Экономическая целесообразность**

### **5.1 Сравнение затрат при гарантийных и расчетных наработках**

Для понимания всех аспектов проведения гарантийных ремонтов агрегатов большегрузных самосвалов Komatsu HD785-7, проведем сравнение двух подходов, которые существуют:

- стандартный подход к проведению гарантийных ремонтов, предусмотренных заводом изготовителем, т.е. завод изготовитель дает рекомендованные наработки до проведения капитальных ремонтов основных агрегатов, и далее гарантийная наработка после проведения капитального ремонта должна составлять не менее 75-80% от наработки нового агрегата. Для примера, наработка основных узлов и агрегатов большегрузного самосвала Komatsu HD785-5 приведена в приложении А.

- расчетный подход к проведению гарантийных ремонтов, изменяется в зависимости от текущего состояния агрегата. При отказе агрегата производится его разборка, оценка и измерение размерных параметров отказавших деталей, и далее принимается решение о замене деталей на новые, аналоги или б/у (восстановленные) и предоставляется гарантия на тот вид ремонта и те комплектующие детали которые подверглись замене с согласия заказчика ремонта, которая может отличаться от предусмотренной заводом изготовителем как в большую так и в меньшую сторону.

Соответственно, в каждом из этих случаев затраты по трудоемкости и все накладные расходы не будут относиться к исполнителю ремонтов.

В таблице 5.1 представлены затраты Заказчика при стандартном подходе к проведению капитального ремонта агрегата, без учета стоимости запасных частей и расходных материалов, а также транспортных расходов на их доставку к месту проведения ремонта.

Таблица 5.1 – Затраты Заказчика при стандартном подходе к капитальному ремонту агрегатов

<b>Вид ремонтного воздействия</b>	<b>Исполнитель</b>	<b>Трудоемкость, чел./час</b>	<b>Стоимость чел./час, руб.</b>	<b>Сумма, руб. (без НДС)</b>
Разборка, дефектовка АКПП. Подготовка к сборке.	Механик по сервису	142	1186,44	168474,48
Сборка АКПП	Механик по сервису	105	1186,44	124576,2
<b>ИТОГО:</b>		247	-	293050,68

В таблице 5.2 представлены затраты Исполнителя при стандартном подходе к проведению капитального ремонта агрегата с учетом затрат на содержание одного работника. В затраты на одного работника входит:

- заработная плата;
- проезд к месту работы и обратно;
- налоги отчисления;
- инструменты;
- питание;
- проживание;
- СИЗ;
- прохождение ежегодных медицинских осмотров;

Таблица 5.2 – Затраты Исполнителя при стандартном подходе к капитальному ремонту агрегатов

<b>Вид ремонтного воздействия</b>	<b>Исполнитель</b>	<b>Трудоемкость, чел./час</b>	<b>Затраты на содержание работника, руб. (без НДС)</b>
Разборка, дефектовка АКПП. Подготовка к сборке.	Механик по сервису	142	74663,31
Сборка АКПП	Механик по сервису	105	52207,95
<b>ИТОГО:</b>		247	129871,26

В таблице 5.3 представлены затраты Заказчика при расчетном методе подхода к проведению капитального ремонта агрегата, без учета стоимости запасных частей и расходных материалов, а также транспортных расходов на их доставку к месту проведения ремонта.

Заработная плата слесаря по ремонту агрегатов 6 разряда в современных рыночных условиях может изменяться в широком диапазоне в зависимости от условия, места проведения работ, а также условий работодателя. Для расчета заработной платы используется формула:

$$Z_{\text{слесаря}} = s_{\text{т}} \cdot k_{\text{р}} \cdot k_{\text{с}}, \quad (5.1)$$

где  $s_{\text{т}}$  – тарифная ставка слесаря по ремонту агрегатов 6 разряда;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, соответствующий местности;

$k_{\text{с}}$  – северный коэффициент, соответствующий местности.

Для слесаря по ремонту агрегатов 6 разряда районный коэффициент  $k_{\text{р}}$  для Иркутской области, Бодайбинского района принимается равным 1,7, северный коэффициент  $k_{\text{с}}$  принимаем 1,5 согласно положению по данному региону.

Заработная плата инженера – механика рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{инж.мех.}} = s_0 \cdot k_{\text{р}} \cdot k_{\text{с}}, \quad (5.2)$$

где  $s_0$  – оклад инженера – механика;

$k_{\text{р}}$  – районный коэффициент, соответствующий местности;

$k_{\text{с}}$  – северный коэффициент, соответствующий местности.

Для инженера – механика районный и северный коэффициент составляют соответственно  $k_{\text{р}} = 1,7$  и  $k_{\text{с}} = 1,5$ . Расчетные данные представлены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Затраты Заказчика при расчетном методе подхода к капитальному ремонту агрегатов

Вид ремонтного воздействия	Трудоемкость, чел./час	Исполнитель	Фонд оплаты труда, руб.		Сумма, руб. (без НДС)
			Тарифная ставка	Оклад	
Разборка АКПП	100	Слесарь по ремонту агрегатов (6 разряд)	34,3	-	26504
Дефектовка. Измерение размерных параметров размерной цепи деталей АКПП	42	Инженер-механик	-	31000	11683,56
Проведение расчетов согласно полученных размерных данным	24	Инженер-механик	-	31000	6676,32
Замена деталей, размеры которых вышли за нормативный размер. Сборка АКПП	105	Слесарь по ремонту агрегатов (6 разряд)	34,3	-	27829,2
<b>ИТОГО:</b>					<b>72693,08</b>

В таблице 5.4 представлены затраты Исполнителя при расчетном методе подхода к проведению капитального ремонта агрегата с учетом затрат на содержание одного работника.

Таблица 5.4 – Затраты Исполнителя при расчетном методе подхода к капитальному ремонту агрегатов

Вид ремонтного воздействия	Исполнитель	Трудоемкость, чел./час	Затраты на содержание работника, руб. (без НДС)
Разборка АКПП	Механик по сервису	100	52579
Дефектовка. Измерение размерных параметров размерной цепи деталей АКПП	Механик по сервису	42	22083,18

#### Окончание таблицы 5.4

Проведение расчетов согласно полученных размерных данным	Механик по сервису	24	12618,96
Замена деталей, размеры которых вышли за нормативный размер. Сборка АКПП	Механик по сервису	105	55207,95
ИТОГО:		271	142489,09

Стоимость запасных частей и материалов, включая транспортные расходы при стандартном подходе к капитальному ремонту АКПП составляет 5304085,23 рублей, расчетный период 2018 год. Стоимость запасных частей при расчетном подходе к капитальному ремонту АКПП составляет 2982262,69 рублей, на расчетный период 2018 год.

На рисунке 5.1 представлен сравнительный анализ затрат при стандартном и расчетном подходе к капитальному ремонту АКПП.

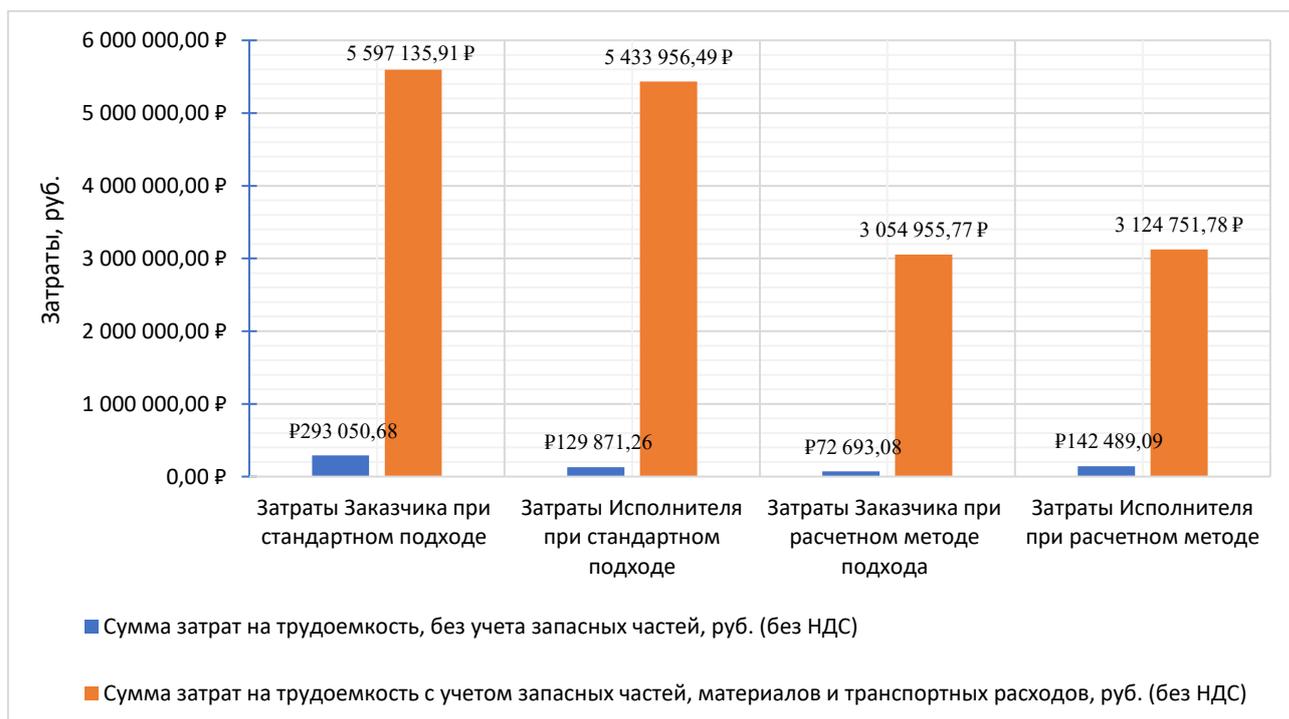


Рисунок 5.1 – Результаты сравнительного анализа затрат на капитальный ремонт АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 при стандартном и расчетном подходе

Исходя из данного анализа затрат на капитальный ремонт АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 можно сделать вывод, что даже при увеличении трудоемкости и сложности выполнения данного капитального ремонта при расчетном подходе является более предпочтительнее относительно стандартного подхода, так как затраты на запасные, материалы и транспортные расходы значительно меньше при сохранении гарантийной наработки не менее 75 –80% от наработки нового агрегата. Стоимость затрат при расчетном подходе к капитальному ремонту АКПП составляют на 2982262,69 рублей, что на 56% меньше, чем при стандартном подходе.

## **5.2 Выводы по пятой главе**

При анализе затрат на капитальный ремонт, применительно к автоматической коробке переключения передач большегрузного самосвала Komatsu HD785-7 получается, что расчетный подход к ремонту менее затратный чем стандартный, даже с увеличением трудоемкости выполнения работ. Затраты при расчетном подходе меньше на 56% относительно стандартного.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Авдонькин, Ф. Н. Изменение технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации / Ф. Н. Авдонькин, В. А. Сафонов, В. П. Боголюбов, А. М. Казначеев // Повышение эффективности использования автомобильного транспорта: межвузовский науч. сборник. – Саратов: СПИ, 1977. – С. 23–27.
2. Авдонькин, Ф. Н. Изменение технического состояния зубчатых передач в процессе эксплуатации автомобиля / Ф. Н. Авдонькин, А. С. Денисов, В. А. Сафонов // Известия высших учебных заведений. – 1978. – №3. – С. 46–50.
3. Авдонькин, Ф. Н. Оптимизация изменения технического состояния автомобиля в процессе эксплуатации / Ф. Н. Авдонькин. – М. : Транспорт, 1993. – 350 с.
4. Авдонькин, Ф. Н. Текущий ремонт автомобилей / Ф. Н. Авдонькин. – М. : Транспорт, 1978. – 269 с.
5. Авдонькин, Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: учеб. пособие для вузов / Ф. Н. Авдонькин. – М. : Транспорт, 1985. – 215 с.
6. Алексеев, А. Е. Диагностика надежности автоматизированных систем: учеб. пособие / А. Е. Алексеев. – Архангельск: Изд-во ГОУ АГТУ, 2004. – 75 с.
7. Апсин, В. П. Исследование некоторых методов управления качеством капитально отремонтированных изделий с целью разработки методики расчета норм точности деталей и механизмов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В. П. Апсин. – Москва, 1972. – 22 с.
8. Апсин, В. П. Моделирование процессов восстановления машин / В. П. Апсин, Л. В. Дехтеринский, С. Б. Норкин. – М. : Транспорт, 1996. – 311 с.
9. Апсин, В. П. Обоснование методики прогнозной оценки наработки составных частей автомобильных двигателей / В. П. Апсин, Р. Х. Хасанов //

Прогрессивные технологии в транспортных системах: сб. докладов VI российской науч.-техн. конф. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – С. 7–9.

10. Ананьин, А. Д. Диагностика и техническое обслуживание машин: учебник для студентов высш. учеб. заведений / А. Д. Ананьин, В. М. Михлин, И. И. Габитов. – М. : Академия, 2008. – 432 с.

11. Аметов, В. А. Исследование процессов изнашивания агрегатов трансмиссий автомобилей с применением многофакторных моделей / В. А. Аметов // Исследования механизации строительства и транспорта. – Томск: Изд-во Томск-го ун-та, 1982. – С. 121–126.

12. Бондаренко, О. Н. Размерный анализ конструкций / О. Н. Бондаренко, В. П. Чередников, В. П. Губий, Т. М. Игнатцев. – К. : Тэхника, 1989. – 150 с.

13. Бодров, В. А. (2002) Повышение эффективности использования автомобилей путем регламентирования текущих ремонтов: дис. ... д-ра техн. наук / В. А. Бодров. - Ярославль, 2002. - 449 с.

14. Бажинов, А. В. Научные основы оценки ресурса силовых агрегатов транспортных машин с учетом условий эксплуатации: дис. ... д-ра техн. наук / А. В. Бажинов. – Харьков, 2001. – 324 с.

15. Базров, Б. М. Модульная технология в машиностроении / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2001. – 368 с.

16. Базров, Б. М. Метод описания конструкции изделия на модульном уровне / Б. М. Базров, Э. З. Насиров // Справочник. Инженерный журнал. – 2005. – №7. – С. 25–32.

17. Базров, Б. М. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 2005. – 736 с.

18. Базров, Б. М. Построение размерных цепей изделия с помощью графа модулей поверхностей / Б. М. Базров // Вестник машиностроения. – 2008. – №7. – С. 26–33.

19. Базров, Б. М. Расчет точности машин на ЭВМ / Б. М. Базров. – М. : Машиностроение, 1984. – 256 с.
20. Берестнев, О. В. Нормирование надежности технических систем / О. В. Берестнев, А. М. Гоман А, Ю. Л. Солитерман. – М. : Технопринт, 2004. – 266 с.
21. Бунько, Е. Б. Управление техническими системами: учеб. пособие / Е. Б. Бунько, В. Е. Смирнов, Е. Г. Мурачев, К. И. Меша. – М. : МАМИ, 2010. – 384 с.
22. Воронин, А. А. Оптимальные иерархические структуры /А. А. Воронин, С. П. Мишин. – М. : ИПУ РАН, 2003. – 214 с.
23. Власов, В. М. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В. М. Власов, С. В. Жанказиев, С. М. Круглов. – М. : Академия, 2004. – 480 с.
24. ГОСТ 27.410–87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. – Введ. 1989 – 01 – 01. – М. : Изд-во стандартов, 1988. – 109 с.
25. Говорущенко Н. Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Н. Я. Го-ворущенко. – Харьков: Вища школа, 1984. – 312 с.
26. Гузёма, А. Б. Совершенствование методики обоснования требований технических условий на дефектацию деталей при их ремонте (на примере коробок передач): дис. ... канд. техн. наук / А. Б. Гузёма. – Москва, 2008. – 231 с.
27. Дехтеринский, Л. В. Некоторые теоретические вопросы технологии ремонта машин / Л. В. Дехтеринский. – М. : Высш. школа, 1970. – 196 с.
28. Дехтеринский, Л. В. Размерный анализ ремонтируемых составных частей автомобилей и дорожных машин / Л. В. Дехтеринский, В. П. Апсин. – М. : МАДИ, 1988. – 47 с.
29. Дехтеринский, Л. В. Системный подход к обоснованию решений при управлении надежностью агрегатов в авторемонтном производстве / Л. В. Дехтеринский, Г. Н. Доценко, А. А Бояркин // Сб. науч. тр. МАДИ. – М. : МАДИ, 1975. – С. 86–90.

30. Дехтеринский, Л. В. Технология ремонта дорожных машин и основы проектирования ремонтных предприятий / Л. В. Дехтеринский. – М. : Высш. школа, 1971. – 496 с.
31. Денисов, А. С. Изнашивание шестерен коробки передач в процессе эксплуатации / А. С. Денисов, Г. Г. Туркеев // Совершенствование технологии восстановления и упрочнения деталей машин: сб. науч. тр. Саратов. гос. техн. ун-та. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2002. – С. 35–37.
32. Денисов, А. С. Ресурсосберегающие структуры эксплуатационно-ремонтного цикла агрегатов автомобиля / А. С. Денисов, Л. Б. Баланцов, А. П. Беликов, Г. Г. Туркеев // Автотранспортное предприятие. –2008. – №5. – С. 48–52.
33. Дементьев, В. Т. Задачи оптимизации иерархических структур / В. Т. Дементьев, А. И. Ерзин, Р. М. Ларин. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1996. – 204 с.
34. Евдокимов, В. И. Селективная сборка при капитальном ремонте автомобилей / В. И. Евдокимов, М. И. Зарухов, О. П. Соловьев. – М. : Транспорт, 1972. – 72 с.
35. Елагина, О. Ю. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин / О. Ю. Елагина. – М. : Логос, 2009. – 488
36. Заводская инструкция самосвала Komatsu HD785-7/ для местности с холодным климатом (-40 °С) // Япония 2010 г. – 1823 с.
37. Инструкция по эксплуатации и техобслуживанию самосвала Komatsu HD785-7 // Япония 2010 г. – 373 с.
38. Иванов, А. И. Взаимозаменяемость в ремонте и эксплуатации машин /А. И. Иванов, П. В. Полещенко, С. М. Бабусенко. – М. : Колос, 1969. – 320 с.
39. Крылов, К. А. Долговечность узлов трения самолетов / К. А. Крылов, М. Е. Займзон. – М. : Транспорт, 1976. – 184 с.
40. Кузнецов, Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е. С. Кузнецов, В. М. Власов. – М. : Наука, 2001. – 535 с.

41. Кузнецов, Е. С. Управление техническими системами: учеб. пособие / Е. С. Кузнецов. – М. : МАДИ, 2003. – 247 с.
42. Кравченко, И. Н. Основы надежности машин / И. Н. Кравченко, В. А. Зорин, Е. А. Пучин. – М. : Азимут, 2007. – 484 с.
43. Коробейник, А. В. Ремонт автомобилей / А. В. Коробейник. – М. : Фе-никс, 2004. – 288 с.
44. Крамаренко, Г. В. Техническая эксплуатация автомобилей / Г. В. Крамаренко. – 2-е изд. – М. : Транспорт, 1983. – 488 с.
45. Крагельский, И. В. Основы расчета на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.
46. Князьков, А. Н. Разработка методики автоматизированного проектирования нормативов системы технического обслуживания и ремонта автомобилей: дис. ... канд. техн. наук / А. Н. Князьков. – Красноярск, 2004. – 235 с.
47. Кобзарь, А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
48. Карташевич, А. Н. Диагностирование автомобилей. Практикум / А. Н. Карташевич. – Минск: Новое знание, 2011. – 208 с.
49. Кеян, Е. Г. (2000) Повышение ремонтпригодности двигателей на основе разработки оптимальной стратегии текущего ремонта: дис. ... канд. техн. наук / Е. Г. Кеян. - Оренбург, 2000. - 116 с.
50. Комаров, В. А. Критерии предельного состояния машинных агрегатов / В. А. Комаров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 2. – С. 28–30.
51. Комаров, В. А. Назначение критериев предельного состояния агрегатов / В. А. Комаров // Надежность и ремонт машин. – 2005.– С. 422–429.

52. Комаров, В. А. (2005) Обеспечение показателей безотказности и долговечности машинных агрегатов / В. А. Комаров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2005. - № 5. - С. 43-45.
53. Комаров, В. А. Обоснование правил назначения объемов попутных контроля и ремонта для агрегатов трансмиссии автомобилей / В. А. Комаров // Вестник Мордовского университета. – 2004. – № 1. – С. 140–147.
54. Комаров, В. А. Обеспечение показателей безотказности и долговечности машинных агрегатов / В. А. Комаров // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 5. – С. 43–45.
55. Комаров, В. А. Установление вероятности групповой замены деталей трансмиссии машин / В. А. Комаров // Механизация и электрификация сел. Хоз-ва. – 2006. – №1. – С. 23–24.
56. Карепин, П. А. Основы расчета размерных цепей: в 3 ч. / П. А. Карепин. – М. : МГАУ им. Горячкина, 1993. – Ч. 2. – 43 с.
57. Катаргин, В. Н. Представление знаний экспертной системы выбора восстановления деталей автомобиля / В. Н. Катаргин, А. Н. Князьков, Д. А. Непомнящих // Вестник КГТУ: транспорт. – Красноярск: КГТУ, 2000. – С. 21–24.
58. Катаргин, В. Н. Разработка методики проектирования режимов технического обслуживания газобаллонных автомобилей, работающих на сжатом природном газе: дис. ... канд. техн. наук / В. Н. Катаргин. – Москва, 1987. – 247 с.
59. Катаргин, В. Н. Экспертные системы и искусственные нейронные сети – основа современных интеллектуальных информационных систем в текущем и капитальном ремонте автомобилей / В. Н. Катаргин // Транспортные средства Сибири: сб. научн. тр. – Красноярск: КГТУ, 1998. – С. 184–189.
60. Карьерный автотранспорт стран СНГ в XXI веке: монография/ П.А. Мариев, А.А. Кулешов, А.Н. Егоров, И.В. Зырянов; Российская академии наук,

Институт проблем транспорта – Санкт - Петербург: Наука, 2006. – 386с. - ISBN 5-02-025124-0.

61. Лукинский, В. С. Определение зависимостей между параметрами ресурсов автомобилей / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев // Автомобильная промышленность. – 1982. – № 11. – С. 29–31.

62. Лукинский, В. С. Прогнозирование надежности автомобилей / В. С. Лукинский, Е. И. Зайцев. – Л. : Политехника, 1991. – 224 с.

63. Микипорис, Ю. А. Эксплуатация и ремонт автотехники / Ю. А. Мики-порис. – Ковров: КГТА, 2002. – 88 с.

64. Мышкис, А. Д. Элементы теории математических моделей / А. Д. Мышкис. – М. : КомКнига, 2007.– 192 с.

65. Монтгомери, Д. К. Планирование эксперимента и анализ данных / Д. К. Монтгомери. – Л. : Судостроение, 1980. – 380с.

66. Михлин, В. М. Прогнозирование технического состояния машин / В. М. Михлин. – М. : Колос, 1976. – 288 с.

67. Новиков, Д. А. Типология задач управления организационными структурами / Д. А. Новиков // Современные сложные системы управления: материалы междунар. научн. конф. – Старый Оскол: СТИ, 2002. – С. 110–115.

68. Надежность и ремонт машин / под ред. В.В. Курчаткина. – М. : Колос, 2000. – 776 с.

69. О компании Zeppelin: [сайт]. – 2022. – URL: <https://zeppelin.by> (дата обращения 26.04.2022).

70. Острейковский, В. А. Теория надежности / В. А. Острейковский. – М. : Высшая Школа, 2008. – 463 с.

71. Осетров В. Г. Теория и практика сборки машин / В. Г. Осетров. – Ижевск: Изд-во ИЖГТУ, 2005. – 246 с.

72. Павловский, А. Е. Формирование требований ремонтно-технической документации для машин новых марок на основе оценки их технического состояния: дис. ... канд. техн. наук / А. Е. Павловский. – Москва, 2005. – 153 с.

73. Проников, А. С. Параметрическая надежность машин / А. С. Проников. – М. : Изд-во МГТУ, 2002 . – 560 с.
74. Пустыльник, Е. И. Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М. : Наука, 1968. – 288с.
75. Печинкин, А. В. Теория вероятностей: учеб. для вузов / А. В. Печинкин, О. И. Тескин, Г. М. Цветкова. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 456 с.
76. РД 50–635–87. Цепи размерные. Основные понятия. Методы расчета линейных и угловых цепей. – Введ. 1988–07–01. – М. : Издательство стандартов, 1987. – 43 с.
77. РД 50–690–89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – Введ. 1991–01–01. – М. : Государственный комитет по управлению качеством продукции и стандартам, 1989. – 132 с.
78. Смирнов, К. А. (2005) Разработка системы формирования комплексов технических воздействий при ремонте двигателей по состоянию: дис. ... канд. техн. наук / К. А. Смирнов. - Владимир, 2005. - 211 с.
79. Сафонов, В. А. Управление надежностью сопряжений трансмиссии автомобилей / В. А. Сафонов // Теория и практика управления надежностью машин: межвузовский науч. сб. – Хабаровск: Хабаровский политехн. ин-т, 1978. – №2. – С. 142–151.
80. Селиванов, А. И. Основы теории старения машин / А. И. Селиванов. – М. : Машиностроение, 1971. – 408 с.
81. Центр «Реман» Магадан: Информационный буклет: [сайт]. – 2019. – URL: [https://www.modernmachinery.ru/images/Reman/Reman\\_2019.pdf](https://www.modernmachinery.ru/images/Reman/Reman_2019.pdf) (дата обращения: 26.04.2022).
82. Центр «Реман» в России: [сайт]. – 2021. – URL: <https://www.komatsureman.ru> (дата обращения: 26.04.2022).
83. Цитович И. С. Надежность трансмиссий автомобилей и тракторов / И. С. Цитович, Б. Е. Митин, В. А. Дзюнь. – М. : Наука и техника, 1985. – 143 с.

84. Цвиркун, А. Д. Основы синтеза структуры сложных систем / А. Д. Алексеев. – М. : Наука, 1982. – 201 с.
85. Шишмарев, В. Ю. Надежность технических систем / В. Ю. Шишмарев. – М. : Академия, 2010. – 304 с.
86. Шашкин, В. В. Надежность в машиностроении. Справочник / В. В. Шашкин. – М. : Политехника, 1992. – 722 с.
87. Шейнин, А. М. Закономерности влияния надежности машин на эффективность их эксплуатации / А. М. Шейнин. – М. : Знание, 1987. – 322 с.
88. Щетинин, С. Ф. Предельные износы и сроки службы автомобильных шестерен и деталей шлицевых соединений / С. Ф. Щетинин. – М. : Машиностроение, 1963. – 62 с.
89. Cat Reman: [сайт]. – 2022. – URL: <https://www.caterpillar.com/ru/brands/cat-reman.html> (дата обращения: 26.04.2022).
90. Carzo, R. J. Effects of flat and tall organization structure / R. J. Carzo, J. N. Janouzas. – Administrat. Sci. Quart, 1969. – 450 p.
91. Hanft, F. Untersuchung über die Abnutzung an Kraftfahrzeugteilen // Automobiltechnische Zeitschrift. – 1936. – №1. – P. 21–23.
92. Katargin, V. Optimization of mathematical model of dimensional links resources for predicting life time conditions for the mechanical gearboxes switching in automobiles [Электронный ресурс] / V. Katargin, I. Pisarev, S. Khmelnitsky // XLIII. International scientific conference of Czech and Slo-vak university departments and institutions dealing with the research of combustion engines. – Praha: Czech Republic, 2012. – 6 p. ; CD-ROM, ISBN 978-80-86786-34-6.
93. Part Book Dump Truck HD785-7 Extreme Cold Area Arrangement / Serial No. Y700001- and up, 2011 Komatsu, 967 p.

**Письмо дилера Komatsu, касательно наработки основных узлов и агрегатов до капитального ремонта большегрузного самосвала Komatsu HD785-5**

**KOMATSU**

**Московское Представительство тел: 787-5474 факс: 787-5473**

113405, Россия, Москва,  
Варшавское шоссе, 141.

26 апреля 2004 г.  
Moscow, Russia  
Ref. № КМС-

**Начальнику ЦБА ЗДК "ПОЛЮС"  
Плохову С.А.**

Уважаемые господа,  
Отвечая на Ваш запрос, касательно наработки основных узлов автосамосвала HD785-5 до капитального ремонта, сообщаем следующее.  
Значения наработок могут сильно варьироваться в зависимости от условий эксплуатации и технического обслуживания. Точное прогнозирование ресурса узлов может проводиться на основе регулярного анализа масел и диагностических показателей. Данные, приведенные в таблице, являются приблизительными и не могут рассматриваться в качестве гарантийных.

**Наработка основных узлов автосамосвалов HD785-5 до капитального ремонта**

Основные узлы	Период до капитального ремонта (в часах)
Двигатель	14,000 – 16,000
Гидротрансформатор	14,000 – 16,000
Трансмиссия	14,000 – 16,000
Дифференциал	15,000
Бортовая передача	15,000
Клапан рулевого управления	12,000
Цилиндр рулевого управления	12,000
Цилиндр подъема кузова	12,000
Передняя подвеска	12,000
Задняя подвеска	12,000
Насос рулевого управления	10,000
Насос гидросистемы	10,000
Передний тормоз в сборе	12,000 – 16,000
Накладки передних тормозов	6,000 - 10,000
Задний тормоз в сборе	12,000 - 20,000

С уважением,  
Жупаник Е.Г.  
Сотрудник представительства фирмы КОМАЦУ в Москве.



**Разделение системы и описание элементов структурной модели  
конструктивных связей размерной модели (автоматическая коробка  
переключения передач)**

Таблица ПБ.1 – Разделение системы и описание элементов структурной модели конструктивных связей размерной модели (автоматическая коробка переключения передач)

<b>Уровень разделения: 1. Автоматическая коробка переключения передач</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
1	561-15-72050	АКПП в сборе
<b>Уровень разделения: 2. Укрупненные единицы</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
2.1	-	Муфта включения в сборе №1
2.2	-	Муфта включения в сборе №2
2.3	-	Муфта включения в сборе №3
2.4	-	Муфта включения в сборе №4
2.5	-	Муфта включения в сборе №5
2.6	-	Муфта включения в сборе №6
2.7	-	Муфта включения в сборе №7
2.8	-	Блок клапанов ЕСMV
2.9	561-15-71060	Входной вал в сборе
2.10	561-15-72131	Выходной вал в сборе
2.11	561-15-71040	Планетарная передача
2.12	561-15-71030	Картер АКПП
2.13	561-15-71960	Масленный поддон
<b>Уровень разделения: 3. Детали укрупненных единиц и размерных параметров</b>		
<b>Укрупненная единица: 3.1.1. Муфта включения в сборе №1</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
3.1.1.1	561-15-71171	Корпус муфты
3.1.1.2	561-15-72710	Поршень
3.1.1.3	569-15-52930	Диск
3.1.1.4	561-15-52941	Пластина
3.1.1.5	561-15-71181	Крышка муфты
3.1.1.6	175-15-42880	Пружина
<b>Укрупненная единица: 3.1.2. Муфта включения в сборе №2</b>		
3.1.2.1	561-15-71211	Корпус
3.1.2.2	561-15-72880	Поршень
3.1.2.3	561-15-72320	Крышка
3.1.2.4	569-15-52930	Диск
3.1.2.5	561-15-52961	Пластина
3.1.2.6	561-15-79811	Пружина волновая
3.1.2.7	561-15-72651	Шестерня

Продолжение приложения Б

<b>Уровень разделения: 3. Детали укрупненных единиц и размерных параметров</b>		
<b>Укрупненная единица: 3.1.1. Муфта включения в сборе №2</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
3.1.2.8	561-15-61230	Втулка
<b>Укрупненная единица: 3.1.3. Муфта включения в сборе №3</b>		
3.1.3.1	561-15-52671	Барaban
3.1.3.2	561-15-71211	Корпус
3.1.3.3	561-15-71880	Поршень
3.1.3.4	561-15-72320	Крышка
3.1.3.5	569-15-52930	Диск
3.1.3.6	561-15-52961	Пластина
3.1.3.7	561-15-79811	Пружина волновая
3.1.3.8	561-15-61230	Втулка
3.1.3.9	561-15-59610	Подшипник
3.1.3.10	561-15-59310	Подшипник
<b>Укрупненная единица: 3.1.4. Муфта включения в сборе №4</b>		
3.1.4.1	195-15-12880	Пружина
3.1.4.2	561-15-71151	Корпус
3.1.4.3	561-15-72591	Поршень
3.1.4.4	561-15-72970	Пластина
3.1.4.5	561-15-71160	Крышка
3.1.4.6	561-15-52931	Пластина
3.1.4.7	561-15-52811	Диск
<b>Укрупненная единица: 3.1.5. Муфта включения в сборе №5</b>		
3.1.5.1	561-15-52951	Пластина
3.1.5.2	562-15-22890	Диск
3.1.5.3	195-15-12880	Пружина
3.1.5.4	561-15-72980	Пластина
3.1.5.5	561-15-72581	Поршень
3.1.5.6	561-15-71141	Корпус
<b>Укрупненная единица: 3.1.6. Муфта включения в сборе №6</b>		
3.1.6.1	195-15-12880	Пружина
3.1.6.2	561-15-72980	Пластина
3.1.6.3	561-15-72581	Поршень
3.1.6.4	561-15-71132	Корпус
3.1.6.5	561-15-52951	Пластина
3.1.6.6	562-15-22890	Диск
<b>Укрупненная единица: 3.1.7. Муфта включения в сборе №7</b>		
3.1.7.1	562-15-22820	Пластина
3.1.7.2	562-15-22870	Диск
3.1.7.3	561-15-72571	Поршень
3.1.7.4	562-15-22740	Пластина
3.1.7.5	561-15-79690	Подшипник
<b>Укрупненная единица: 3.1.8. Блок клапанов ESMV</b>		
3.1.8.1	561-15-75800	Клапан в сборе
3.1.8.2	561-15-75700	Клапан в сборе

Продолжение приложения Б

<b>Уровень разделения: 3. Детали укрупненных единиц и размерных параметров</b>		
<b>Укрупненная единица: 3.1.8. Блок клапанов ЕСMV</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
3.1.8.3	561-15-75500	Клапан в сборе
3.1.8.4	561-15-75131	Постель для клапанов
3.1.8.5	561-15-71750	Фильтр в сборе
<b>Укрупненная единица: 3.1.9. Входной вал в сборе</b>		
3.1.9.1	561-15-71060	Входной вал
3.1.9.2	561-15-79910	Подшипник
3.1.9.3	561-15-52360	Крышка
<b>Укрупненная единица: 3.1.10. Выходной вал в сборе</b>		
3.1.10.1	561-15-72131	Выходной вал
3.1.10.2	561-15-72242	Шестерня
3.1.10.3	561-15-72261	Адаптер
3.1.10.4	561-15-79680	Подшипник
<b>Укрупненная единица: 3.1.11. Планетарная передача</b>		
3.1.11.1	-	Корпус
3.1.11.2	561-15-72481	Сателлитная шестерня
3.1.11.3	561-15-79410	Подшипник
3.1.11.4	561-15-32570	Упорные шайбы скольжения
3.1.11.5	561-15-72561	Вал
3.1.11.6	561-15-72860	Втулка
3.1.11.7	561-15-72381	Крышка
3.1.11.8	561-15-71612	Коронная шестерня
3.1.11.9	561-15-62441	Сателлитная шестерня
3.1.11.10	561-15-72451	Сателлитная шестерня
3.1.11.11	561-15-79440	Подшипник
3.1.11.12	561-15-79420	Подшипник
3.1.11.13	561-15-42560	Упорные шайбы скольжения
3.1.11.14	561-15-72541	Вал
3.1.11.15	561-15-72550	Вал

Таблица ПБ.2 – Разделение системы и описание элементов структурной модели конструктивных связей размерной модели (демпфер)

<b>Уровень разделения: 1. Dempfer</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
1	561-01-74007	Демпфер в сборе
<b>Уровень разделения: 2. Укрупненные единицы</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
2.1	561-01-71153	Корпус демпфера
2.2	561-01-72140	Корпус муфты

Продолжение приложения Б

<b>Уровень разделения: 3. Детали укрупненных единиц и размерных параметров</b>		
<b>Укрупненная единица: 3.1.1. Корпус демпфера</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
3.1.1.1	561-01-71640	Подшипник
3.1.1.2	427-12-11262	Втулка
3.1.1.3	561-01-71153	Корпус
3.1.1.4	561-01-71140	Выходной вал
<b>Укрупненная единица: 3.1.2. Корпус муфты</b>		
3.1.2.1	561-01-72140	Корпус
3.1.2.2	561-01-62161	Фланец
3.1.2.3	561-0172651	Корпус
3.1.2.4	561-01-72420	Резиновая муфта
3.1.2.5	561-01-62410	Резиновая муфта
3.1.2.6	427-12-11223	Втулка

Таблица ПБ.3 – Разделение системы и описание элементов структурной модели конструктивных связей размерной модели (передняя подвеска)

<b>Уровень разделения: 1. Передняя подвеска</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
1	-	Передняя подвеска в сборе
<b>Уровень разделения: 2. Укрупненные единицы</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
2.1	561-40-81121	Рычаг (А-образной рамы)
2.2	561-40-81210	Центральный рычаг
2.3	561-40-81410	Поперечная рулевая тяга
2.4	561-40-81311	Рычаг поворотного кулака
<b>Уровень разделения: 3. Детали укрупненных единиц и размерных параметров</b>		
<b>Укрупненная единица: 3.1.1. Рычаг (А-образной рамы)</b>		
<b>Обозначение</b>	<b>Каталожный номер</b>	<b>Наименование</b>
3.1.1.1	561-40-81121	Рычаг (А-образной рамы)
3.1.1.2	561-40-61260	Подшипник
3.1.1.3	07137-06010	Подшипник
<b>Укрупненная единица: 3.1.2. Центральный рычаг</b>		
3.1.2.1	561-40-41130	Втулка
3.1.2.2	561-40-61522	Палец
3.1.2.3	561-40-81210	Центральный рычаг
<b>Укрупненная единица: 3.1.3. Поперечная рулевая тяга</b>		
3.1.3.1	561-40-61531	Палец
3.1.3.2	561-40-81410	Поперечная рулевая тяга
3.1.3.3	561-40-61330	Втулка
3.1.3.4	07137-05008	Подшипник

Окончание приложения Б

<b>Уровень разделения: 3. Детали укрупненных единиц и размерных параметров</b>		
<b>Укрупненная единица: 3.1.4. Рычаг поворотного кулака</b>		
3.1.4.1	561-40-81311	Рычаг поворотного кулака
3.1.4.2	561-40-61330	Втулка
3.1.4.3	561-40-61531	Палец
3.1.4.4	561-40-81510	Палец

**Характерные причины ресурсных и аварийных отказов АКПП, демпфера  
большегрузного самосвала HD785-7**

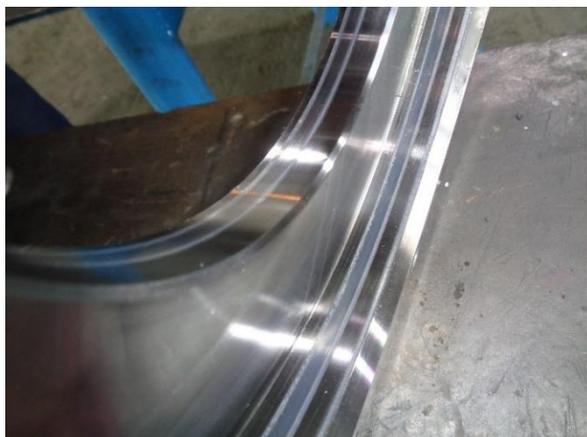


Рисунок ПВ.1. Износ рабочей поверхности цилиндра муфты включения



Рисунок ПВ.2. Механическое разрушение шлицев промежуточной муфты



Рисунок ПВ.3. Износ дисков и пластин муфты включения

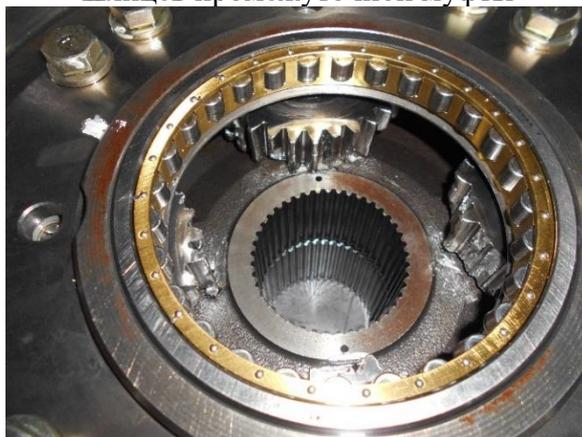


Рисунок ПВ.4. Механическое разрушение сателлитных шестерен

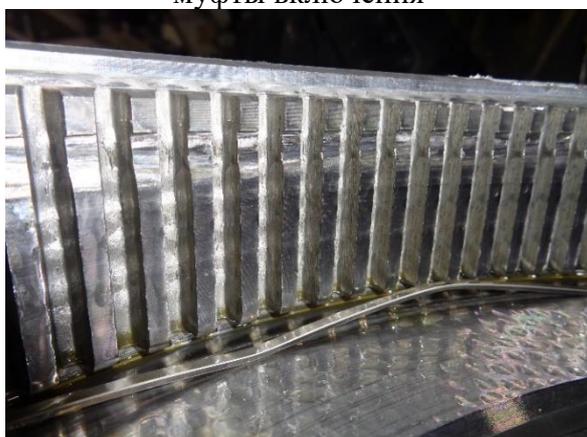


Рисунок ПВ.5. Механическое разрушение (износ) шлицев корпуса муфты



Рисунок ПВ.6. Последствия износа, разрушения деталей АКПП

Окончание приложения В

**Характерные причины ресурсных и аварийных отказов демпфера  
большегрузного самосвала HD785-7**

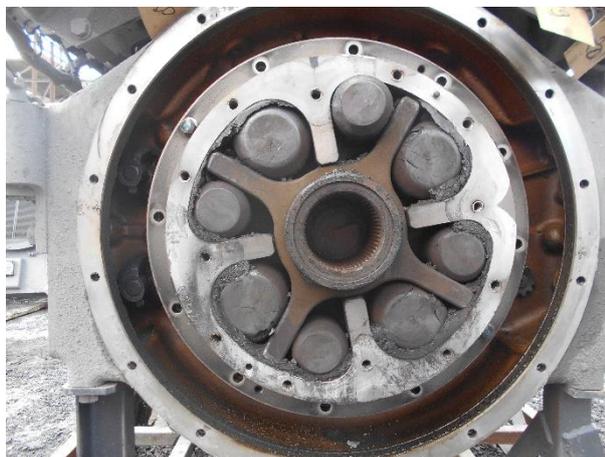


Рисунок ПВ.7. Механическое разрушение резиновых муфт демпфера

**Нормативные и измеренные значения геометрических параметров отдельных групп деталей АКПП, демпфера и передней подвески большегрузного самосвала**

Таблица ПГ.1 – Нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждой муфты включения АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждой рассматриваемой муфты

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Общая толщина 5 дисков и 4 пластин в сборе муфты высокой скорости	50,2	46,4	3,8	49,4	48,3	47,1	45,8	44,5	0,8	1,9	3,1	3,6	5,7
2	Общая толщина 5 дисков и 4 пластин в сборе муфты низкой скорости	50,2	46,4	3,8	49,2	48	46,5	44,8	43	1	2,2	3,7	4,4	7,2
3	Общая толщина 4 дисков и 3 пластин в сборе муфты 4 передачи	39	36	3	38,2	37,5	36,7	35,4	33,4	0,8	1,5	2,3	2,8	5,6

Продолжение приложения Г

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативны й зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
4	Общая толщина 4 дисков и 3 пластин в сборе муфты 3 передачи	39	36	3	38,3	37	36	34,8	33,3	0,7	2	3	3,5	5,7
5	Общая толщина 5 дисков и 5 пластин в сборе муфты 2 передачи	56	52	4	54,2	52,2	50,4	49	47,3	1,8	3,8	5,6	5,2	8,7
6	Общая толщина 5 дисков и 5 пластин в сборе муфты 1 передачи	56	52	4	54,8	53,4	52	49,4	47,2	1,2	2,6	4	5,4	8,8
7	Общая толщина 5 дисков и 5 пластин в сборе муфты заднего хода	55	51	4	53,9	52,8	51	49	46,7	1,1	2,2	4	4,9	8,3

Продолжение приложения Г

Таблица ПГ.2 – Нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждой металлической пластины муфты включения АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждой рассматриваемой металлической пластины

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Толщина одной пластины муфты высокой скорости	5,8	5,6	0,2	5,7	5,65	5,6	5,48	5,3	0,1	0,15	0,2	0,32	0,5
2		5,8	5,6		5,7	5,62	5,5	5,4	5,3	0,1	0,18	0,3	0,4	0,5
3		5,8	5,6		5,7	5,6	5,52	5,4	5,3	0,1	0,2	0,28	0,4	0,5
4		5,8	5,6		5,7	5,6	5,4	5,3	5,25	0,1	0,2	0,4	0,5	0,55
1	Толщина одной пластины муфты низкой скорости	5,8	5,6	0,2	5,7	5,6	5,3	5,2	5,1	0,1	0,2	0,5	0,6	0,7
2		5,8	5,6		5,7	5,5	5,5	5,2	5	0,1	0,3	0,3	0,6	0,8
3		5,8	5,6		5,7	5,5	5,5	5,2	5,1	0,1	0,3	0,3	0,6	0,7
4		5,8	5,6		5,7	5,6	5,4	5,3	5	0,1	0,2	0,4	0,5	0,8
1	Толщина одной пластины муфты 4 передачи	5,8	5,6	0,2	5,7	5,6	5,5	5,3	5,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7
2		5,8	5,6		5,6	5,6	5,5	5,3	5,1	0,2	0,2	0,3	0,5	0,7
3		5,8	5,6		5,6	5,6	5,4	5,3	5,2	0,2	0,2	0,4	0,5	0,6
1	Толщина одной пластины муфты 3 передачи	5,8	5,6	0,2	5,7	5,5	5,4	5,2	5	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8
2		5,8	5,6		5,6	5,4	5,3	5,1	4,9	0,2	0,4	0,5	0,7	0,9
3		5,8	5,6		5,7	5,5	5,3	5,1	5	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8

Продолжение приложения Г

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)					
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000	
1	Толщина одной пластины муфты 2 передачи	5,8	5,6	0,2	5,6	5,4	5,2	5	4,9	0,2	0,4	0,6	0,8	0,9	
2		5,8	5,6		5,6	5,4	5,2	5,1	4,9	0,2	0,4	0,6	0,7	0,9	
3		5,8	5,6		5,6	5,5	5,2	5,1	4,9	0,2	0,3	0,6	0,7	0,9	
4		5,8	5,6		5,6	5,5	5,4	5,3	5,1	4,9	0,3	0,4	0,5	0,7	0,9
5		5,8	5,6		5,6	5,5	5,4	5,2	5	4,9	0,3	0,4	0,6	0,8	0,9
1	Толщина одной пластины муфты 1 передачи	5,8	5,6	0,2	5,6	5,45	5,38	5,2	5,1	0,2	0,35	0,42	0,6	0,7	
2		5,8	5,6		5,6	5,7	5,5	5,3	5,2	5	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8
3		5,8	5,6		5,6	5,7	5,6	5,5	5,3	5,2	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6
4		5,8	5,6		5,6	5,6	5,5	5,3	5,2	5,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7
5		5,8	5,6		5,6	5,7	5,6	5,5	5,2	5,1	0,1	0,2	0,3	0,6	0,7
1	Толщина одной пластины муфты заднего хода	5,8	5,6	0,2	5,7	5,6	5,5	5,2	5	0,1	0,2	0,3	0,6	0,8	
2		5,8	5,6		5,6	5,6	5,6	5,5	5,3	5	0,2	0,2	0,3	0,5	0,8
3		5,8	5,6		5,6	5,7	5,5	5,3	5,2	5,1	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7
4		5,8	5,6		5,6	5,6	5,5	5,3	5,2	5	0,2	0,3	0,5	0,6	0,8
5		5,8	5,6		5,6	5,7	5,6	5,4	5,2	5	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8

Продолжение приложения Г

Таблица ПГ.3 – Нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждого фрикционного диска муфты включения АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждого рассматриваемого фрикционного диска

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Толщина одного диска муфты высокой скорости	5,4	4,8	0,6	5,3	5,1	5	4,9	4,7	0,1	0,3	0,4	0,5	0,7
2		5,4	4,8		5,3	5,1	4,9	4,8	4,7	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7
3		5,4	4,8		5,3	5,2	4,9	4,7	4,6	0,1	0,2	0,5	0,7	0,8
4		5,4	4,8		5,3	5,1	4,9	4,8	4,6	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8
5		5,4	4,8		5,3	5,2	5	4,8	4,6	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
1	Толщина одного диска муфты низкой скорости	5,4	4,8	0,6	5,3	5,2	5	4,8	4,5	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9
2		5,4	4,8		5,2	5,1	4,9	4,8	4,5	0,2	0,3	0,5	0,6	0,9
3		5,4	4,8		5,3	5,2	5	4,7	4,6	0,1	0,2	0,4	0,7	0,8
4		5,4	4,8		5,3	5,1	4,9	4,8	4,6	0,1	0,3	0,5	0,6	0,8
5		5,4	4,8		5,3	5,2	5	4,8	4,6	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
1	Толщина одного диска муфты 4 передачи	5,4	4,8	0,6	5,3	5,2	5	4,75	4,4	0,1	0,2	0,4	0,65	1
2		5,4	4,8		5,2	5,1	4,9	4,7	4,5	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9
3		5,4	4,8		5,3	5,2	5,1	4,8	4,5	0,1	0,2	0,3	0,6	0,9
4		5,4	4,8		5,3	5,1	5	4,8	4,6	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8

Продолжение приложения Г

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Толщина одного диска муфты 3 передачи	5,4	4,8	0,6	5,3	5,1	5	4,9	4,6	0,1	0,3	0,4	0,5	0,8
2		5,4	4,8		5,3	5,2	5	4,8	4,6	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8
3		5,4	4,8		5,3	5,1	5	4,9	4,6	0,1	0,3	0,4	0,5	0,8
4		5,4	4,8		5,3	5	5	4,8	4,5	0,1	0,4	0,4	0,6	0,9
1	Толщина одного диска муфты 2 передачи	5,4	4,8	0,6	5,3	5	4,8	4,9	4,5	0,1	0,4	0,6	0,5	0,9
2		5,4	4,8		5,2	5	4,8	4,7	4,6	0,2	0,4	0,6	0,7	0,8
3		5,4	4,8		5,3	5,1	4,8	4,7	4,5	0,1	0,3	0,6	0,7	0,9
4		5,4	4,8		5,3	5	4,9	4,7	4,6	0,1	0,4	0,5	0,7	0,8
5		5,4	4,8		5,3	5	5	4,7	4,6	0,1	0,4	0,4	0,7	0,8
1	Толщина одного диска муфты 1 передачи	5,4	4,8	0,6	5,3	5,1	5	4,7	4,5	0,1	0,3	0,4	0,7	0,9
2		5,4	4,8		5,3	5,1	5	4,8	4,5	0,1	0,3	0,4	0,6	0,9
3		5,4	4,8		5,3	5,2	4,9	4,8	4,4	0,1	0,2	0,5	0,6	1
4		5,4	4,8		5,2	5	4,9	4,5	4,2	0,2	0,4	0,5	0,9	1,2
5		5,4	4,8		5,2	5,1	4,9	4,7	4,5	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9
1	Толщина одного диска муфты заднего хода	5,2	4,6	0,6	5,1	4,9	4,7	4,5	4,4	0,1	0,3	0,5	0,7	0,8
2		5,2	4,6		5	5	4,85	4,65	4,2	0,2	0,2	0,35	0,55	1
3		5,2	4,6		5,1	5,1	4,8	4,6	4,4	0	0,1	0,4	0,6	0,8
4		5,2	4,6		5	4,9	4,7	4,5	4,3	0,2	0,3	0,5	0,7	0,9
5		5,2	4,6		5,1	5	4,9	4,7	4,5	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7

Продолжение приложения Г

Таблица ПГ.4 – Нормативные и измеренные значения геометрических параметров каждой шайбы сателлитной шестерни АКПП большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа для каждой рассматриваемой шайбы

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Толщина упорной шайбы (сателлитов высокой скорости и 3-й передачи)	2	1,5	0,5	1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
2		2	1,5		1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6
3		2	1,5		1,8	1,7	1,5	1,4	1,3	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7
4		2	1,5		1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	0,1	0,2	0,3	0,4	0,6
5		2	1,5		1,9	1,7	1,6	1,5	1,45	0,1	0,3	0,4	0,5	0,55
6		2	1,5		1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
7		2	1,5		1,9	1,7	1,6	1,5	1,4	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6
8		2	1,5		1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6

Продолжение приложения Г

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Толщина упорной шайбы (сателлитов 2-й передачи)	3	2,5	0,5	2,9	2,8	2,77	2,67	2,49	0,1	0,2	0,23	0,33	0,51
2		3	2,5		2,9	2,83	2,76	2,6	2,4	0,1	0,17	0,24	0,4	0,6
3		3	2,5		2,9	2,9	2,8	2,8	2,4	0,1	0,1	0,2	0,2	0,6
4		3	2,5		2,9	2,9	2,8	2,6	2,4	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6
5		3	2,5		2,9	2,8	2,7	2,55	2,44	0,1	0,2	0,3	0,45	0,56
6		3	2,5		2,9	2,7	2,7	2,5	2,4	0,1	0,3	0,3	0,5	0,6
7		3	2,5		2,9	2,9	2,8	2,6	2,4	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6
8		3	2,5		2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5
1	Толщина упорной шайбы (сателлитов 1-й передачи)	3	2,5	0,5	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
2		3	2,5		2,8	2,7	2,6	2,5	2,45	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55
3		3	2,5		2,9	2,8	2,6	2,5	2,45	0,1	0,2	0,4	0,5	0,55
4		3	2,5		2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
5		3	2,5		2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
6		3	2,5		2,9	2,8	2,7	2,6	2,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
7		3	2,5		2,9	2,8	2,7	2,6	2,6	0,1	0,2	0,3	0,4	0,4
8		3	2,5		2,8	2,7	2,6	2,5	2,6	0,2	0,3	0,4	0,5	0,4

Продолжение приложения Г

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Ремонтный допуск, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					25000	30000	35000	40000	45000	25000	30000	35000	40000	45000
1	Толщина упорной шайбы (сателлита заднего хода)	2	1,5	0,5	1,9	1,8	1,6	1,5	1,4	0,1	0,2	0,4	0,5	0,6
2		2	1,5		1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
3		2	1,5		1,9	1,85	1,72	1,65	1,5	0,1	0,15	0,28	0,35	0,5
4		2	1,5		1,9	1,78	1,7	1,64	1,49	0,1	0,22	0,3	0,36	0,51
5		2	1,5		1,9	1,8	1,65	1,56	1,5	0,1	0,2	0,35	0,44	0,5
6		2	1,5		1,9	1,8	1,7	1,6	1,5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

Продолжение приложения Г

Таблица ПГ.5 – Нормативные и измеренные значения геометрических параметров деталей демпфера ДВС большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Нормативный зазор, мм	Нормативный зазор, мм	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					Наработка агрегата, м/ч /Степень износа, мм (расчетные значения)				
					15000	20000	25000	30000	35000	15000	20000	25000	30000	35000
1	Зазор между подшипником и крышкой	170	0,017	-0,033	170,007	170,011	170,015	170,017	170,019	0,007	0,011	0,015	0,017	0,019
				0,017										
2	Зазор между валом и подшипником	95	0,017	-0,017	95,003	95,005	95,009	95,014	95,017	0,003	0,005	0,009	0,014	0,017
				-0,003										
3	Зазор между подшипником и крышкой	170	0,017	-0,033	170,005	170,009	170,012	170,015	170,017	0,005	0,009	0,012	0,015	0,017
				0,017										
4	Зазор между подшипником и валом	95	0,017	-0,017	95,007	95,009	95,012	95,015	95,017	0,007	0,009	0,012	0,015	0,017
				-0,003										

Продолжение приложения Г

Таблица ПГ.6 – Нормативные и измеренные значения геометрических параметров деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала, а также полученные в ходе вычислений расчетные данные степени износа

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Нормативный зазор, мм	Предельный зазор, мм	Цепь	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					
						Новая деталь	10000	15000	20000	25000	30000
1	Зазор между внутренней и наружной втулкой рычага поворотного кулака	190	0,150 - 0,270	0,7	A1	190	189,8	189,5	189,2	189	188,8
					A2	190	190,16	190,28	190,36	190,49	190,7
					AΔ	0	0,36	0,78	1,16	1,49	1,9
2	Зазор между втулкой и пальцем	105	0 - 0,076	0,3	A1	105	104,92	104,8	104,74	104,68	104,5
					A2	105	105,1	105,25	105,34	105,4	105,45
					AΔ	0	0,18	0,45	0,6	0,72	0,95
3	Зазор между монтажным пальцем цилиндра рулевого механизма и втулкой	50	0,055 - 0,133	0,3	A1	50	50,07	50,09	50,14	50,23	50,3
					A2	50	49,9	49,75	49,71	49,68	49,64
					AΔ	0	0,17	0,34	0,43	0,55	0,66
4	Зазор между внутренней и наружной втулкой	100	0,120 - 0,250	0,4	A1	100	100,14	100,21	100,29	100,34	100,4
					A2	100	99,8	99,73	99,66	99,52	99,43
					AΔ	0	0,34	0,48	0,63	0,82	0,97

Окончание приложения Г

№ п/п	Наименование	Нормативный размер, мм	Нормативный зазор, мм	Предельный зазор, мм	Цепь	Наработка агрегата, м/ч /Измеренные значения, мм					
						Новая деталь	10000	15000	20000	25000	30000
5	Зазор между монтажным пальцем поперечной рулевой тяги и втулкой	50	0,055 - 0,133	0,3	A1	50	50,065	50,1	50,17	50,24	50,3
					A2	50	49,93	49,84	49,77	49,71	49,68
					AΔ	0	0,135	0,26	0,4	0,53	0,62
6	Зазор между внутренней и наружной втулкой	120	0,120 - 0,250	0,4	A1	120	120,13	120,19	120,25	120,36	120,4
					A2	120	119,91	119,87	119,8	119,76	119,6
					AΔ	0	0,22	0,32	0,45	0,6	0,8
7	Зазор между монтажным пальцем рычага и втулкой	60	0,060 - 0,152	0,3	A1	60	60,072	60,11	60,16	60,25	60,3
					A2	60	59,95	59,89	59,84	59,83	59,79
					AΔ	0	0,122	0,22	0,32	0,42	0,51
8	Зазор между монтажным пальцем центрального рычага и втулкой	60	0,167 - 0,273	1	A1	60	60,17	60,29	60,35	60,47	61
					A2	60	59,91	59,87	59,85	59,8	59,78
					AΔ	0	0,26	0,42	0,5	0,67	1,22
9	Зазор между монтажным пальцем цилиндра подвески и втулкой	80	0,030 - 0,122	0,3	A1	80	80,033	80,17	80,22	80,27	80,3
					A2	80	79,9	79,88	79,85	79,79	79,72
					AΔ	0	0,133	0,29	0,37	0,48	0,58

**Расчетные данные гарантийного отказа**

Таблица ПД.1 – Расчетные данные гарантийного отказа относительно границ критического износа муфт включения автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала

Граница критического размера, мм			Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
a	b	c		x	y	y1	y2	y3	y4	y5
4	3	3,8	25000	0,9687	1,1177	0,8539	1,0599	2,2621	1,2533	1,3571
4	3	3,8	25500	1,0133	1,1691	0,8932	1,1142	2,3427	1,3110	1,4267
4	3	3,8	26000	1,0599	1,2229	0,9343	1,1713	2,4262	1,3714	1,4999
4	3	3,8	26500	1,1087	1,2792	0,9773	1,2314	2,5126	1,4345	1,5768
4	3	3,8	27000	1,1597	1,3381	1,0223	1,2945	2,6021	1,5005	1,6576
4	3	3,8	27500	1,2131	1,3997	1,0694	1,3609	2,6948	1,5696	1,7426
4	3	3,8	28000	1,2690	1,4641	1,1186	1,4307	2,7907	1,6418	1,8319
4	3	3,8	28500	1,3274	1,5315	1,1701	1,5040	2,8902	1,7174	1,9259
4	3	3,8	29000	1,3885	1,6020	1,2239	1,5812	2,9931	1,7964	2,0246
4	3	3,8	29500	1,4524	1,6757	1,2802	1,6622	3,0997	1,8791	2,1284
4	3	3,8	30000	1,5192	1,7528	1,3392	1,7474	3,2101	1,9656	2,2375
4	3	3,8	30500	1,5891	1,8335	1,4008	1,8370	3,3245	2,0561	2,3522
4	3	3,8	31000	1,6623	1,9179	1,4653	1,9312	3,4429	2,1507	2,4729
4	3	3,8	31500	1,7388	2,0062	1,5327	2,0302	3,5655	2,2497	2,5996
4	3	3,8	32000	1,8188	2,0985	1,6033	2,1343	3,6925	2,3533	2,7329
4	3	3,8	32500	1,9026	2,1951	1,6771	2,2438	3,8240	2,4616	2,8730
4	3	3,8	33000	1,9901	2,2961	1,7543	2,3588	3,9603	2,5749	3,0203
4	3	3,8	33500	2,0817	2,4018	1,8350	2,4797	4,1013	2,6934	3,1752
4	3	3,8	34000	2,1775	2,5124	1,9195	2,6069	4,2474	2,8174	3,3380

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм			Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
a	b	c		x	y	y1	y2	y3	y4	y5
4	3	3,8	34500	2,2778	2,6280	2,0078	2,7405	4,3987	2,9470	3,5091
4	3	3,8	35000	2,3826	2,7490	2,1002	2,8810	4,5554	3,0827	3,6891
4	3	3,8	35500	2,4923	2,8755	2,1969	3,0288	4,7176	3,2246	3,8782
4	3	3,8	36000	2,6070	3,0079	2,2980	3,1840	4,8857	3,3730	4,0770
4	3	3,8	36500	2,7270	3,1463	2,4038	3,3473	5,0597	3,5283	4,2861
4	3	3,8	37000	2,8525	3,2911	2,5145	3,5189	5,2399	3,6907	4,5058
4	3	3,8	37500	2,9838	3,4426	2,6302	3,6993	5,4266	3,8605	4,7368
4	3	3,8	38000	3,1211	3,6011	2,7512	3,8890	5,6199	4,0382	4,9797
4	3	3,8	38500	3,2648	3,7668	2,8779	4,0884	5,8200	4,2241	5,2350
4	3	3,8	39000	3,4151	3,9402	3,0103	4,2980	6,0274	4,4185	5,5034
4	3	3,8	39500	3,5723	4,1216	3,1489	4,5184	6,2421	4,6219	5,7856
4	3	3,8	40000	3,7367	4,3113	3,2938	4,7500	6,4644	4,8346	6,0822
4	3	3,8	40500	3,9087	4,5097	3,4454	4,9936	6,6947	5,0572	6,3941
4	3	3,8	41000	4,0886	4,7173	3,6040	5,2496	6,9331	5,2899	6,7219
4	3	3,8	41500	4,2768	4,9344	3,7699	5,5188	7,1801	5,5334	7,0665
4	3	3,8	42000	4,4736	5,1615	3,9434	5,8017	7,4358	5,7881	7,4289
4	3	3,8	42500	4,6795	5,3991	4,1250	6,0992	7,7007	6,0545	7,8097
4	3	3,8	43000	4,8949	5,6476	4,3148	6,4119	7,9750	6,3332	8,2102

Продолжение приложения Д

Таблица ПД.2 – Расчетные данные гарантийного отказа относительно границ критического износа металлических пластин муфт включения автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
		y	y1	y2	y3	y4	y5	y6
а	х							
0,2	18000	0,0629	0,0665	0,0871	0,0980	0,1780	0,0941	0,0859
0,2	18500	0,0655	0,0700	0,0902	0,1025	0,1844	0,0980	0,0925
0,2	19000	0,0681	0,0735	0,0934	0,1073	0,1909	0,1020	0,0968
0,2	19500	0,0709	0,0773	0,0967	0,1122	0,1977	0,1061	0,1012
0,2	20000	0,0738	0,0813	0,1002	0,1174	0,2048	0,1105	0,1059
0,2	20500	0,0768	0,0854	0,1037	0,1228	0,2121	0,1150	0,1107
0,2	21000	0,0799	0,0898	0,1074	0,1284	0,2196	0,1197	0,1158
0,2	21500	0,0832	0,0944	0,1113	0,1343	0,2275	0,1245	0,1212
0,2	22000	0,0866	0,0993	0,1152	0,1405	0,2356	0,1296	0,1267
0,2	22500	0,0901	0,1044	0,1193	0,1470	0,2440	0,1349	0,1326
0,2	23000	0,0938	0,1097	0,1236	0,1537	0,2526	0,1404	0,1387
0,2	23500	0,0976	0,1153	0,1280	0,1608	0,2616	0,1461	0,1451
0,2	24000	0,1016	0,1213	0,1325	0,1682	0,2710	0,1521	0,1517
0,2	24500	0,1058	0,1275	0,1372	0,1760	0,2806	0,1583	0,1587
0,2	25000	0,1101	0,1340	0,1421	0,1841	0,2906	0,1648	0,1660
0,2	25500	0,1146	0,1409	0,1472	0,1925	0,3010	0,1715	0,1737
0,2	26000	0,1193	0,1481	0,1524	0,2014	0,3117	0,1785	0,1817
0,2	26500	0,1241	0,1557	0,1579	0,2107	0,3228	0,1858	0,1900
0,2	27000	0,1292	0,1637	0,1635	0,2204	0,3343	0,1934	0,1988
0,2	27500	0,1345	0,1721	0,1693	0,2305	0,3462	0,2013	0,2079
0,2	28000	0,1400	0,1809	0,1754	0,2411	0,3585	0,2095	0,2175

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
		у	у1	у2	у3	у4	у5	у6
а	х							
0,2	28500	0,1457	0,1902	0,1816	0,2522	0,3713	0,2180	0,2275
0,2	29000	0,1516	0,1999	0,1881	0,2638	0,3845	0,2269	0,2380
0,2	29500	0,1578	0,2102	0,1948	0,2760	0,3982	0,2362	0,2489
0,2	30000	0,1642	0,2209	0,2017	0,2887	0,4124	0,2458	0,2604
0,2	30500	0,1709	0,2323	0,2089	0,3020	0,4271	0,2558	0,2724
0,2	31000	0,1779	0,2442	0,2163	0,3159	0,4423	0,2663	0,2849
0,2	31500	0,1852	0,2567	0,2240	0,3304	0,4580	0,2772	0,2980
0,2	32000	0,1927	0,2699	0,2320	0,3456	0,4744	0,2885	0,3117
0,2	32500	0,2006						
0,2	33000	0,2088						

Таблица ПД.3 – Расчетные данные гарантийного отказа относительно границ критического износа фрикционных дисков муфт включения автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала.

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
		у	у1	у2	у3	у4	у5	у6
а	х							
0,6	35000	0,3808	0,4106	0,4040	0,3974	0,4411	0,3570	0,3384
0,6	35200	0,3885	0,4189	0,4122	0,4054	0,4491	0,3635	0,3445
0,6	35400	0,3964	0,4274	0,4205	0,4136	0,4572	0,3701	0,3508
0,6	35600	0,4044	0,4360	0,4290	0,4220	0,4655	0,3769	0,3571
0,6	35800	0,4125	0,4448	0,4377	0,4305	0,4740	0,3837	0,3636
0,6	36000	0,4209	0,4538	0,4465	0,4392	0,4826	0,3907	0,3702
0,6	36200	0,4294	0,4630	0,4555	0,4481	0,4914	0,3978	0,3770

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
		y	y1	y2	y3	y4	y5	y6
а	х	у	y1	y2	y3	y4	y5	y6
0,6	36400	0,4381	0,4723	0,4647	0,4571	0,5003	0,4050	0,3838
0,6	36600	0,4469	0,4819	0,4741	0,4663	0,5094	0,4123	0,3908
0,6	36800	0,4559	0,4916	0,4837	0,4758	0,5186	0,4198	0,3979
0,6	37000	0,4651	0,5015	0,4935	0,4854	0,5280	0,4275	0,4051
0,6	37200	0,4745	0,5117	0,5034	0,4952	0,5376	0,4352	0,4125
0,6	37400	0,4841	0,5220	0,5136	0,5052	0,5474	0,4431	0,4200
0,6	37600	0,4939	0,5326	0,5240	0,5154	0,5573	0,4512	0,4276
0,6	37800	0,5039	0,5433	0,5346	0,5258	0,5675	0,4594	0,4353
0,6	38000	0,5141	0,5543	0,5454	0,5364	0,5778	0,4677	0,4433
0,6	38200	0,5244	0,5655	0,5564	0,5473	0,5883	0,4762	0,4513
0,6	38400	0,5350	0,5769	0,5676	0,5583	0,5989	0,4849	0,4595
0,6	38600	0,5459	0,5886	0,5791	0,5696	0,6098	0,4937	0,4679
0,6	38800	0,5569	0,6005	0,5908	0,5811	0,6209	0,5026	0,4763
0,6	39000	0,5681	0,6126	0,6027	0,5928	0,6322	0,5118	0,4850
0,6	39200	0,5796	0,6250	0,6149	0,6048	0,6437	0,5211	0,4938
0,6	39400	0,5913	0,6376	0,6273	0,6170	0,6553	0,5305	0,5028
0,6	39600	0,6033	0,6505	0,6400	0,6295	0,6672	0,5402	0,5119
0,6	39800	0,6154	0,6636	0,6529	0,6422	0,6794	0,5500	0,5212
0,6	40000	0,6279	0,6770	0,6661	0,6552	0,6917	0,5600	0,5307
0,6	40200	0,6406	0,6907	0,6796	0,6684	0,7043	0,5701	0,5403
0,6	40400	0,6535	0,7046	0,6933	0,6819	0,7171	0,5805	0,5501
0,6	40600	0,6667	0,7189	0,7073	0,6957	0,7301	0,5910	0,5601
0,6	40800	0,6802	0,7334	0,7216	0,7097	0,7433	0,6018	0,5703
0,6	41000	0,6939	0,7482	0,7362	0,7241	0,7568	0,6127	0,5807

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм						
		y	y1	y2	y3	y4	y5	y6
а	х							
0,6	41200						0,6238	0,5912
0,6	41400						0,6351	0,6019
0,6	41600							0,6129
0,6	41800							0,6240

Таблица ПД.4 – Расчетные данные гарантийного отказа относительно границ критического износа шайб сателлитных шестерен автоматической коробки переключения передач большегрузного самосвала

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм			
		y	y1	y2	y3
а	х				
0,5	38400	0,4264	0,3195	0,3815	0,3410
0,5	38600	0,4324	0,3246	0,3861	0,3465
0,5	38800	0,4385	0,3298	0,3908	0,3521
0,5	39000	0,4447	0,3352	0,3955	0,3578
0,5	39200	0,4509	0,3406	0,4003	0,3636
0,5	39400	0,4573	0,3461	0,4051	0,3694
0,5	39600	0,4637	0,3516	0,4100	0,3754
0,5	39800	0,4703	0,3573	0,4150	0,3815
0,5	40000	0,4769	0,3631	0,4200	0,3876
0,5	40200	0,4836	0,3689	0,4251	0,3939
0,5	40400	0,4904	0,3749	0,4302	0,4002
0,5	40600	0,4974	0,3809	0,4354	0,4067
0,5	40800	0,5044	0,3871	0,4406	0,4132

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм			
		y	y1	y2	y3
a	x	y	y1	y2	y3
0,5	41000	0,5115	0,3933	0,4460	0,4199
0,5	41200	0,5187	0,3997	0,4513	0,4267
0,5	41400	0,5260	0,4061	0,4568	0,4336
0,5	41600	0,5334	0,4127	0,4623	0,4405
0,5	41800	0,5409	0,4193	0,4679	0,4476
0,5	42000	0,5486	0,4261	0,4735	0,4549
0,5	42200	0,5563	0,4330	0,4792	0,4622
0,5	42400	0,5641	0,4399	0,4850	0,4697
0,5	42600	0,5721	0,4470	0,4909	0,4772
0,5	42800	0,5802	0,4542	0,4968	0,4849
0,5	43000	0,5883	0,4616	0,5028	0,4928
0,5	43200	0,5966	0,4690	0,5089	0,5007
0,5	43400	0,6050	0,4766	0,5150	0,5088
0,5	43600	0,6136	0,4843	0,5212	0,5170
0,5	43800	0,6222	0,4921	0,5275	0,5253
0,5	44000	0,6310	0,5000	0,5339	0,5338
0,5	44200	0,6399	0,5081	0,5403	0,5424
0,5	44400	0,6489	0,5163	0,5469	0,5512
0,5	44600	0,6581	0,5246	0,5535	0,5600

Продолжение приложения Д

Таблица ПД.5 – Расчетные данные гарантийного отказа относительно границ критического износа деталей демпфера ДВС большегрузного самосвала

Граница критического размера, мм	Наработка, м/ч	Степень износа, мм			
		y	y1	y2	y3
a	x				
0,017	25000	0,0136	0,0076	0,0109	0,0126
0,017	26000	0,0143	0,0083	0,0117	0,0132
0,017	27000	0,0150	0,0091	0,0126	0,0139
0,017	28000	0,0158	0,0099	0,0135	0,0146
0,017	29000	0,0166	0,0109	0,0145	0,0153
0,017	30000	0,0175	0,0119	0,0155	0,0161
0,017	31000	0,0184	0,0130	0,0166	0,0170
0,017	32000	0,0193	0,0143	0,0178	0,0178
0,017	33000	0,0203	0,0156	0,0191	0,0187
0,017	34000	0,0213	0,0171	0,0205	0,0197
0,017	35000	0,0224	0,0187	0,0220	0,0207

Таблица ПД.6 – Расчетные данные гарантийного отказа относительно границ критического износа деталей элементов передней подвески большегрузного самосвала

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	12000	0,524	0,289	0,223	0,385	0,198	0,246	0,162		0,193
0,3	0,4	0,7	1	12100	0,528	0,292	0,225	0,387	0,200	0,248	0,163		0,194
0,3	0,4	0,7	1	12200	0,533	0,294	0,226	0,389	0,201	0,249	0,164		0,196
0,3	0,4	0,7	1	12300	0,537	0,296	0,227	0,391	0,203	0,251	0,165		0,197

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	12400	0,541	0,299	0,229	0,393	0,204	0,252	0,166		0,198
0,3	0,4	0,7	1	12500	0,546	0,301	0,230	0,395	0,206	0,254	0,167		0,200
0,3	0,4	0,7	1	12600	0,550	0,304	0,232	0,397	0,208	0,255	0,169		0,201
0,3	0,4	0,7	1	12700	0,554	0,306	0,233	0,399	0,209	0,257	0,170		0,203
0,3	0,4	0,7	1	12800	0,559	0,309	0,234	0,401	0,211	0,258	0,171		0,204
0,3	0,4	0,7	1	12900	0,563	0,311	0,236	0,403	0,213	0,260	0,172		0,206
0,3	0,4	0,7	1	13000	0,568	0,313	0,237	0,405	0,214	0,262	0,173		0,207
0,3	0,4	0,7	1	13100	0,572	0,316	0,239	0,407	0,216	0,263	0,175		0,208
0,3	0,4	0,7	1	13200	0,577	0,319	0,240	0,409	0,218	0,265	0,176	0,326	0,210
0,3	0,4	0,7	1	13300	0,582	0,321	0,241	0,411	0,220	0,266	0,177	0,328	0,211
0,3	0,4	0,7	1	13400	0,586	0,324	0,243	0,413	0,221	0,268	0,178	0,330	0,213
0,3	0,4	0,7	1	13500	0,591	0,326	0,244	0,415	0,223	0,270	0,180	0,333	0,214
0,3	0,4	0,7	1	13600	0,596	0,329	0,246	0,417	0,225	0,271	0,181	0,335	0,216
0,3	0,4	0,7	1	13700	0,601	0,332	0,247	0,420	0,227	0,273	0,182	0,337	0,217
0,3	0,4	0,7	1	13800	0,605	0,334	0,249	0,422	0,229	0,274	0,183	0,340	0,219
0,3	0,4	0,7	1	13900	0,610	0,337	0,250	0,424	0,230	0,276	0,185	0,342	0,220
0,3	0,4	0,7	1	14000	0,615	0,340	0,252	0,426	0,232	0,278	0,186	0,345	0,222
0,3	0,4	0,7	1	14100	0,620	0,342	0,253	0,428	0,234	0,279	0,187	0,347	0,224
0,3	0,4	0,7	1	14200	0,625	0,345	0,255	0,430	0,236	0,281	0,189	0,349	0,225
0,3	0,4	0,7	1	14300	0,630	0,348	0,256	0,432	0,238	0,283	0,190	0,352	0,227
0,3	0,4	0,7	1	14400	0,635	0,351	0,258	0,435	0,240	0,284	0,191	0,354	0,228
0,3	0,4	0,7	1	14500	0,640	0,353	0,259	0,437	0,242	0,286	0,193	0,357	0,230
0,3	0,4	0,7	1	14600	0,645	0,356	0,261	0,439	0,244	0,288	0,194	0,359	0,231
0,3	0,4	0,7	1	14700	0,651	0,359	0,263	0,441	0,246	0,290	0,195	0,362	0,233

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	14800	0,656	0,362	0,264	0,443	0,248	0,291	0,197	0,364	0,235
0,3	0,4	0,7	1	14900	0,661	0,365	0,266	0,446	0,250	0,293	0,198	0,367	0,236
0,3	0,4	0,7	1	15000	0,666	0,368	0,267	0,448	0,252	0,295	0,199	0,369	0,238
0,3	0,4	0,7	1	15100	0,672	0,371	0,269	0,450	0,254	0,297	0,201	0,372	0,240
0,3	0,4	0,7	1	15200	0,677	0,374	0,271	0,452	0,256	0,298	0,202	0,375	0,241
0,3	0,4	0,7	1	15300	0,683	0,377	0,272	0,455	0,258	0,300	0,204	0,377	0,243
0,3	0,4	0,7	1	15400	0,688	0,380	0,274	0,457	0,260	0,302	0,205	0,380	0,245
0,3	0,4	0,7	1	15500	0,694	0,383	0,276	0,459	0,262	0,304	0,207	0,383	0,247
0,3	0,4	0,7	1	15600	0,699	0,386	0,277	0,461	0,264	0,306	0,208	0,385	0,248
0,3	0,4	0,7	1	15700	0,705	0,389	0,279	0,464	0,266	0,308	0,209	0,388	0,250
0,3	0,4	0,7	1	15800	0,710	0,392	0,281	0,466	0,268	0,309	0,211	0,391	0,252
0,3	0,4	0,7	1	15900	0,716	0,395	0,282	0,468	0,270	0,311	0,212	0,394	0,254
0,3	0,4	0,7	1	16000	0,722	0,399	0,284	0,471	0,273	0,313	0,214	0,396	0,255
0,3	0,4	0,7	1	16100	0,728	0,402	0,286	0,473	0,275	0,315	0,215	0,399	0,257
0,3	0,4	0,7	1	16200	0,733	0,405	0,287	0,475	0,277	0,317	0,217	0,402	0,259
0,3	0,4	0,7	1	16300	0,739	0,408	0,289	0,478	0,279	0,319	0,218	0,405	0,261
0,3	0,4	0,7	1	16400	0,745	0,411	0,291	0,480	0,281	0,321	0,220	0,408	0,263
0,3	0,4	0,7	1	16500	0,751	0,415	0,293	0,483	0,284	0,323	0,222	0,410	0,264
0,3	0,4	0,7	1	16600	0,757	0,418	0,294	0,485	0,286	0,325	0,223	0,413	0,266
0,3	0,4	0,7	1	16700	0,763	0,421	0,296	0,487	0,288	0,327	0,225	0,416	0,268
0,3	0,4	0,7	1	16800	0,770	0,425	0,298	0,490	0,291	0,329	0,226	0,419	0,270
0,3	0,4	0,7	1	16900	0,776	0,428	0,300	0,492	0,293	0,331	0,228	0,422	0,272
0,3	0,4	0,7	1	17000	0,782	0,432	0,301	0,495	0,295	0,333	0,229	0,425	0,274
0,3	0,4	0,7	1	17100	0,788	0,435	0,303	0,497	0,298	0,335	0,231	0,428	0,276

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	17200	0,795	0,439	0,305	0,500	0,300	0,337	0,233	0,431	0,278
0,3	0,4	0,7	1	17300	0,801	0,442	0,307	0,502	0,303	0,339	0,234	0,434	0,280
0,3	0,4	0,7	1	17400	0,807	0,446	0,309	0,505	0,305	0,341	0,236	0,437	0,282
0,3	0,4	0,7	1	17500	0,814	0,449	0,311	0,507	0,307	0,343	0,238	0,440	0,284
0,3	0,4	0,7	1	17600	0,820	0,453	0,312	0,510	0,310	0,345	0,239	0,443	0,286
0,3	0,4	0,7	1	17700	0,827	0,457	0,314	0,512	0,312	0,347	0,241	0,446	0,288
0,3	0,4	0,7	1	17800	0,834	0,460	0,316	0,515	0,315	0,349	0,243	0,449	0,290
0,3	0,4	0,7	1	17900	0,840	0,464	0,318	0,518	0,317	0,351	0,244	0,453	0,292
0,3	0,4	0,7	1	18000	0,847	0,468	0,320	0,520	0,320	0,353	0,246	0,456	0,294
0,3	0,4	0,7	1	18100	0,854	0,471	0,322	0,523	0,322	0,355	0,248	0,459	0,296
0,3	0,4	0,7	1	18200	0,861	0,475	0,324	0,525	0,325	0,357	0,250	0,462	0,298
0,3	0,4	0,7	1	18300	0,868	0,479	0,326	0,528	0,328	0,359	0,251	0,466	0,300
0,3	0,4	0,7	1	18400	0,875	0,483	0,328	0,531	0,330	0,362	0,253	0,469	0,302
0,3	0,4	0,7	1	18500	0,882	0,487	0,330	0,533	0,333	0,364	0,255	0,472	0,304
0,3	0,4	0,7	1	18600	0,889	0,491	0,332	0,536	0,336	0,366	0,257	0,475	0,306
0,3	0,4	0,7	1	18700	0,896	0,495	0,334	0,539	0,338	0,368	0,258	0,479	0,308
0,3	0,4	0,7	1	18800	0,903	0,499	0,336	0,541	0,341	0,370	0,260	0,482	0,311
0,3	0,4	0,7	1	18900	0,910	0,503	0,338	0,544	0,344	0,373	0,262	0,485	0,313
0,3	0,4	0,7	1	19000	0,918	0,507	0,340	0,547	0,347	0,375	0,264	0,489	0,315
0,3	0,4	0,7	1	19100	0,925	0,511	0,342	0,550	0,349	0,377	0,266	0,492	0,317
0,3	0,4	0,7	1	19200	0,932	0,515	0,344	0,552	0,352	0,379	0,268	0,496	0,319
0,3	0,4	0,7	1	19300	0,940	0,519	0,346	0,555	0,355	0,382	0,270	0,499	0,322
0,3	0,4	0,7	1	19400	0,947	0,523	0,348	0,558	0,358	0,384	0,271	0,503	0,324
0,3	0,4	0,7	1	19500	0,955	0,527	0,350	0,561	0,361	0,386	0,273	0,506	0,326

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	19600	0,963	0,532	0,352	0,564	0,364	0,389	0,275	0,510	0,328
0,3	0,4	0,7	1	19700	0,970	0,536	0,354	0,566	0,367	0,391	0,277	0,513	0,331
0,3	0,4	0,7	1	19800	0,978	0,540	0,357	0,569	0,369	0,393	0,279	0,517	0,333
0,3	0,4	0,7	1	19900	0,986	0,544	0,359	0,572	0,372	0,396	0,281	0,521	0,335
0,3	0,4	0,7	1	20000	0,994	0,549	0,361	0,575	0,375	0,398	0,283	0,524	0,338
0,3	0,4	0,7	1	20100	1,002	0,553	0,363	0,578	0,378	0,400	0,285	0,528	0,340
0,3	0,4	0,7	1	20200	1,010	0,558	0,365	0,581	0,381	0,403	0,287	0,532	0,343
0,3	0,4	0,7	1	20300	1,018	0,562	0,367	0,584	0,385	0,405	0,289	0,535	0,345
0,3	0,4	0,7	1	20400	1,026	0,567	0,370	0,587	0,388	0,408	0,291	0,539	0,347
0,3	0,4	0,7	1	20500	1,035	0,571	0,372	0,589	0,391	0,410	0,293	0,543	0,350
0,3	0,4	0,7	1	20600	1,043	0,576	0,374	0,592	0,394	0,413	0,295	0,547	0,352
0,3	0,4	0,7	1	20700	1,051	0,580	0,376	0,595	0,397	0,415	0,297	0,551	0,355
0,3	0,4	0,7	1	20800	1,060	0,585	0,379	0,598	0,400	0,418	0,299	0,555	0,357
0,3	0,4	0,7	1	20900	1,068	0,590	0,381	0,601	0,403	0,420	0,301	0,558	0,360
0,3	0,4	0,7	1	21000	1,077	0,595	0,383	0,604	0,407	0,423	0,304	0,562	0,362
0,3	0,4	0,7	1	21100	1,086	0,599	0,386	0,607	0,410	0,425	0,306	0,566	0,365
0,3	0,4	0,7	1	21200	1,094	0,604	0,388	0,610	0,413	0,428	0,308	0,570	0,367
0,3	0,4	0,7	1	21300	1,103	0,609	0,390	0,614	0,417	0,430	0,310	0,574	0,370
0,3	0,4	0,7	1	21400	1,112	0,614	0,393	0,617	0,420	0,433	0,312	0,578	0,373
0,3	0,4	0,7	1	21500	1,121	0,619	0,395	0,620	0,423	0,436	0,314	0,582	0,375
0,3	0,4	0,7	1	21600	1,130	0,624	0,397	0,623	0,427	0,438	0,317	0,586	0,378
0,3	0,4	0,7	1	21700	1,139	0,629	0,400	0,626	0,430	0,441	0,319	0,591	0,380
0,3	0,4	0,7	1	21800	1,148	0,634	0,402	0,629	0,434	0,443	0,321	0,595	0,383
0,3	0,4	0,7	1	21900	1,157	0,639	0,404	0,632	0,437	0,446	0,323	0,599	0,386

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	22000	1,167	0,644	0,407	0,635	0,441	0,449	0,326	0,603	0,389
0,3	0,4	0,7	1	22100	1,176	0,649	0,409	0,639	0,444	0,452	0,328	0,607	0,391
0,3	0,4	0,7	1	22200	1,185	0,654	0,412	0,642	0,448	0,454	0,330	0,612	0,394
0,3	0,4	0,7	1	22300	1,195	0,660	0,414	0,645	0,451	0,457	0,332	0,616	0,397
0,3	0,4	0,7	1	22400	1,204	0,665	0,417	0,648	0,455	0,460	0,335	0,620	0,400
0,3	0,4	0,7	1	22500	1,214	0,670	0,419	0,651	0,459	0,463	0,337	0,625	0,402
0,3	0,4	0,7	1	22600	1,224	0,676	0,422	0,655	0,462	0,465	0,340	0,629	0,405
0,3	0,4	0,7	1	22700	1,234	0,681	0,424	0,658	0,466	0,468	0,342	0,633	0,408
0,3	0,4	0,7	1	22800	1,244	0,687	0,427	0,661	0,470	0,471	0,344	0,638	0,411
0,3	0,4	0,7	1	22900	1,254	0,692	0,429	0,665	0,473	0,474	0,347	0,642	0,414
0,3	0,4	0,7	1	23000	1,264	0,698	0,432	0,668	0,477	0,477	0,349	0,647	0,417
0,3	0,4	0,7	1	23100	1,274	0,703	0,435	0,671	0,481	0,479	0,352	0,651	0,420
0,3	0,4	0,7	1	23200	1,284	0,709	0,437	0,675	0,485	0,482	0,354	0,656	0,423
0,3	0,4	0,7	1	23300	1,294	0,715	0,440	0,678	0,489	0,485	0,357	0,661	0,426
0,3	0,4	0,7	1	23400	1,305	0,720	0,443	0,681	0,493	0,488	0,359	0,665	0,429
0,3	0,4	0,7	1	23500	1,315	0,726	0,445	0,685	0,497	0,491	0,362	0,670	0,432
0,3	0,4	0,7	1	23600	1,326	0,732	0,448	0,688	0,501	0,494	0,364	0,675	0,435
0,3	0,4	0,7	1	23700	1,337	0,738	0,451	0,692	0,505	0,497	0,367	0,679	0,438
0,3	0,4	0,7	1	23800	1,347	0,744	0,453	0,695	0,509	0,500	0,369	0,684	0,441
0,3	0,4	0,7	1	23900	1,358	0,750	0,456	0,699	0,513	0,503	0,372	0,689	0,444
0,3	0,4	0,7	1	24000	1,369	0,756	0,459	0,702	0,517	0,506	0,375	0,694	0,447
0,3	0,4	0,7	1	24100	1,380	0,762	0,462	0,706	0,521	0,509	0,377	0,699	0,450
0,3	0,4	0,7	1	24200	1,391	0,768	0,464	0,709	0,525	0,512	0,380	0,704	0,453
0,3	0,4	0,7	1	24300	1,402	0,774	0,467	0,713	0,530	0,515	0,382	0,708	0,456

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	24400	1,413	0,780	0,470	0,716	0,534	0,518	0,385	0,713	0,460
0,3	0,4	0,7	1	24500	1,425	0,787	0,473	0,720	0,538	0,521	0,388	0,718	0,463
0,3	0,4	0,7	1	24600	1,436	0,793	0,476	0,724	0,542	0,525	0,391	0,724	0,466
0,3	0,4	0,7	1	24700	1,448	0,799	0,478	0,727	0,547	0,528	0,393	0,729	0,469
0,3	0,4	0,7	1	24800	1,459	0,806	0,481	0,731	0,551	0,531	0,396	0,734	0,473
0,3	0,4	0,7	1	24900	1,471	0,812	0,484	0,735	0,556	0,534	0,399	0,739	0,476
0,3	0,4	0,7	1	25000	1,483	0,819	0,487	0,738	0,560	0,537	0,402	0,744	0,479
0,3	0,4	0,7	1	25100	1,495	0,825	0,490	0,742	0,565	0,541	0,404	0,749	0,483
0,3	0,4	0,7	1	25200	1,507	0,832	0,493	0,746	0,569	0,544	0,407	0,755	0,486
0,3	0,4	0,7	1	25300	1,519	0,839	0,496	0,749	0,574	0,547	0,410	0,760	0,490
0,3	0,4	0,7	1	25400	1,531	0,845	0,499	0,753	0,578	0,550	0,413	0,765	0,493
0,3	0,4	0,7	1	25500	1,544	0,852	0,502	0,757	0,583	0,554	0,416	0,771	0,496
0,3	0,4	0,7	1	25600	1,556	0,859	0,505	0,761	0,588	0,557	0,419	0,776	0,500
0,3	0,4	0,7	1	25700	1,568	0,866	0,508	0,765	0,592	0,560	0,422	0,781	0,503
0,3	0,4	0,7	1	25800	1,581	0,873	0,511	0,768	0,597	0,564	0,425	0,787	0,507
0,3	0,4	0,7	1	25900	1,594	0,880	0,514	0,772	0,602	0,567	0,428	0,792	0,511
0,3	0,4	0,7	1	26000	1,606	0,887	0,517	0,776	0,607	0,571	0,431	0,798	0,514
0,3	0,4	0,7	1	26100	1,619	0,894	0,520	0,780	0,612	0,574	0,434	0,804	0,518
0,3	0,4	0,7	1	26200	1,632	0,901	0,524	0,784	0,617	0,577	0,437	0,809	0,521
0,3	0,4	0,7	1	26300	1,646	0,908	0,527	0,788	0,621	0,581	0,440	0,815	0,525
0,3	0,4	0,7	1	26400	1,659	0,916	0,530	0,792	0,626	0,584	0,443	0,821	0,529
0,3	0,4	0,7	1	26500	1,672	0,923	0,533	0,796	0,632	0,588	0,446	0,826	0,532
0,3	0,4	0,7	1	26600	1,685	0,931	0,536	0,800	0,637	0,591	0,449	0,832	0,536
0,3	0,4	0,7	1	26700	1,699	0,938	0,539	0,804	0,642	0,595	0,452	0,838	0,540

Продолжение приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм								
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7
0,3	0,4	0,7	1	26800	1,713	0,946	0,543	0,808	0,647	0,599	0,456	0,844	0,544
0,3	0,4	0,7	1	26900	1,726	0,953	0,546	0,812	0,652	0,602	0,459	0,850	0,548
0,3	0,4	0,7	1	27000	1,740	0,961	0,549	0,816	0,657	0,606	0,462	0,856	0,551
0,3	0,4	0,7	1	27100	1,754	0,968	0,553	0,820	0,663	0,610	0,465	0,862	0,555
0,3	0,4	0,7	1	27200	1,768	0,976	0,556	0,824	0,668	0,613	0,469	0,868	0,559
0,3	0,4	0,7	1	27300	1,783	0,984	0,559	0,828	0,673	0,617	0,472	0,874	0,563
0,3	0,4	0,7	1	27400	1,797	0,992	0,563	0,832	0,679	0,621	0,475	0,880	0,567
0,3	0,4	0,7	1	27500	1,811	1,000	0,566	0,836	0,684	0,624	0,478	0,886	0,571
0,3	0,4	0,7	1	27600	1,826	1,008	0,569	0,841	0,690	0,628	0,482	0,893	0,575
0,3	0,4	0,7	1	27700	1,841	1,016	0,573	0,845	0,695	0,632	0,485	0,899	0,579
0,3	0,4	0,7	1	27800	1,855	1,024	0,576	0,849	0,701	0,636	0,489	0,905	0,583
0,3	0,4	0,7	1	27900	1,870	1,032	0,580	0,853	0,706	0,639	0,492	0,912	0,587
0,3	0,4	0,7	1	28000	1,885	1,041	0,583	0,858	0,712	0,643	0,496	0,918	0,591
0,3	0,4	0,7	1	28100	1,900	1,049	0,587	0,862	0,718	0,647	0,499	0,924	0,596
0,3	0,4	0,7	1	28200	1,916	1,058	0,590	0,866	0,723	0,651	0,503	0,931	0,600
0,3	0,4	0,7	1	28300	1,931	1,066	0,594	0,871	0,729	0,655	0,506	0,937	0,604
0,3	0,4	0,7	1	28400	1,947	1,075	0,597	0,875	0,735	0,659	0,510	0,944	0,608
0,3	0,4	0,7	1	28500	1,962	1,083	0,601	0,879	0,741	0,663	0,513	0,951	0,612
0,3	0,4	0,7	1	28600	1,978	1,092	0,605	0,884	0,747	0,667	0,517	0,957	0,617
0,3	0,4	0,7	1	28700	1,994	1,101	0,608	0,888	0,753	0,671	0,520	0,964	0,621
0,3	0,4	0,7	1	28800	2,010	1,110	0,612	0,893	0,759	0,675	0,524	0,971	0,625
0,3	0,4	0,7	1	28900	2,026	1,118	0,616	0,897	0,765	0,679	0,528	0,978	0,630
0,3	0,4	0,7	1	29000	2,042	1,127	0,619	0,902	0,771	0,683	0,531	0,985	0,634
0,3	0,4	0,7	1	29100	2,059	1,137	0,623	0,906	0,778	0,687	0,535	0,991	0,639

Окончание приложения Д

Граница критического размера, мм				Наработка, м/ч	Степень износа, мм									
a	b	c	d		x	y	y1	y2	y3	y4	y5	y6	y7	y8
0,3	0,4	0,7	1	29200	2,075	1,146	0,627	0,911	0,784	0,691	0,539	0,998	0,643	
0,3	0,4	0,7	1	29300	2,092	1,155	0,631	0,915	0,790	0,696	0,543	1,005	0,648	
0,3	0,4	0,7	1	29400	2,109	1,164	0,634	0,920	0,796	0,700	0,547	1,012	0,652	
0,3	0,4	0,7	1	29500	2,126	1,173	0,638	0,924	0,803	0,704	0,550	1,020	0,657	
0,3	0,4	0,7	1	29600	2,143	1,183	0,642	0,929	0,809	0,708	0,554	1,027	0,661	
0,3	0,4	0,7	1	29700	2,160	1,192	0,646	0,934	0,816	0,712	0,558	1,034	0,666	
0,3	0,4	0,7	1	29800	2,177	1,202	0,650	0,938	0,822	0,717	0,562	1,041	0,671	
0,3	0,4	0,7	1	29900	2,195	1,212	0,654	0,943	0,829	0,721	0,566	1,049	0,675	
0,3	0,4	0,7	1	30000	2,212	1,221	0,658	0,948	0,836	0,725	0,570	1,056	0,680	

## Выдержка с технического отчета по разборке и дефектовки АКПП большегрузного самосвала HD785-7

### Отчет по разборке, дефектовке КПП автосамосвала HD785-7

Заказчик	<b>АО «Полюс Вернинское»</b>
Модель КПП	<b>KOMATSU 561-15-72050</b>
S/N КПП	<b>104943</b>

КПП была доставлена:

На заводской подставке		Подставка изготовлена заказчиком	
Без подставки	<b>V</b>	Другое	

История КПП:

КПП поступила в ремонт 17.05.2018 г.

Вид ремонта:

	Частичный ремонт		Капитальный ремонт	<b>V</b>	Разборка и инспекция
Описание работ:					
1. Мойка КПП.					
2. Разборка, дефектация КПП.					
3. Подготовка технического отчета.					

*Отчет по разборке, дефектовке КПП автосамосвала HD785-7*

---

КПП - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР



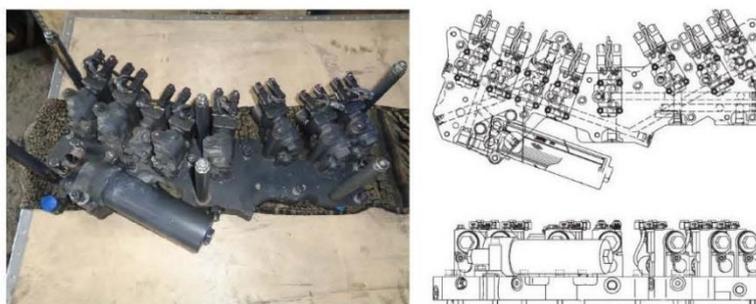
ЭЛЕКТРОПРОВОДКА - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР



КОНЕЧНЫЙ ФИЛЬТР - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР



РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ КЛАПАН (КЛАПАНЫ ЕСMV) В СБОРЕ - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР



Продолжение приложения Ж

Отчет по разборке, дефектовке КПП автосамосвала HD785-7

	муфты высокой скорости				5,8
					5,8
					5,7
3	Общая толщина 5 дисков и 4 пластин в сборе муфты высокой скорости	50,2	$\pm 0,30$	46,4	49,5

\* - Единица измерения - мм.

\*\* - При несоответствии размеров, заменить.

Таблица 4

№ п/п	Пункт проверки		Критерии			
			Нормативный размер	Допуск	Ремонтный предел	Измеренный размер
1	Износ уплотнительного кольца входного вала коробки передач	Ширина	3,0	-0,01 -0,03	2,7	2,7
		Толщина	3,7	$\pm 0,12$	3,55	3,6
2	Износ уплотнительного кольца водила высокой скорости	Ширина	3,95	0 -0,1	3,56	3,5
		Толщина	4,95	$\pm 0,1$	4,8	4,7

\* - Единица измерения - мм.

\*\* - При несоответствии размеров, заменить.

МУФТА НИЗКОЙ СКОРОСТИ В СБОРЕ - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР



Отчет по разборке, дефектовке КПП автосамосвала HD785-7



Таблица 7

№ п/п	Пункт проверки	Критерии			
		Нормативный размер	Допуск	Ремонтный предел	Измеренная толщина
1	Толщина одного диска муфты 4-й передачи	5,4	±0,1	4,8	5,3
					5,3
					5,2
					5,3
2	Толщина одной пластины муфты 4-й передачи	5,8	±0,1	5,6	5,8
					5,7
					5,7
3	Общая толщина 4 дисков и 3 пластин муфты 4-й передачи	39,0	±0,26	36,0	38,3

МУФТА 3-Й ПЕРЕДАЧИ В СБОРЕ - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР





ПОДДОН И МАГНИТНЫЕ ФИЛЬТРА - ВИЗУАЛЬНЫЙ ОСМОТР



**ВЫВОДЫ:**

1. Резиновые и композитные уплотнения, прокладки потеряли эластичность и функциональность. Подлежат замене.
2. Фторопластовые уплотнения поршней и цилиндров изношены. Подлежат замене.
3. Латунные уплотнительные кольца изношены. Подлежат замене.
4. Бронзовые втулки имеют износ. Подлежат замене.
5. Подшипники имеют накат, износ. Подлежат замене.
6. Электропроводка высохла, имеет растрескивание изоляции проводов и разрушение разъёмных фишек. Подлежит замене.
7. Фрикционные диски, пластины муфты заднего хода изношены. Подлежат замене.
8. Фрикционные диски, пластины муфты 1-й передачи вне нормативного размера, изношены. Подлежат замене.
9. Фрикционные диски муфты 2-й передачи вне нормативного размера, изношены. Подлежат замене.
10. Фрикционные диски, пластины муфты 3-й передачи вне нормативного размера, изношены. Подлежат замене.
11. Фрикционные диски, пластины муфты 4-й передачи вне нормативного размера, изношены. Подлежат замене.
12. Зубчатый барабан муфты 4-й передачи имеет износ внутренних шлицев, связанных с задирами от поломки волновых пружин. Подлежит замене.
13. Фрикционные диски повышенной и пониженной муфт изношены и подлежат замене.
14. Электромагнитные клапана ECMV в сборе подлежат замене.

22.05.2018г.

## Выдержка фрагмента с ведомости дефектов АКПП большегрузного самосвала HD785-7

### ДЕФЕКТНАЯ ВЕДОМОСТЬ

согласно заявки №Ц121 от 21.09.2017г. от АО "Полус Вернинское"  
на проведение ремонта КПП 561-15-72050

Самосвал:	Komatsu
Модель:	HD785-7
S/N КПП:	104944

№п/п	Наименование узла, агрегата	Каталожный номер	Ед. изм.	Кол-во на технике, шт.	Кол-во давал, шт.	Кол-во к закуп, шт.	Возможность оборотного использования	Примечание
1	Кольцо уплотнительное	195-15-39220	шт.	1		1	замена	Износ
2	Кольцо уплотнительное	175-15-59240	шт.	1		1	замена	Износ
3	Кольцо уплотнительное	562-15-19560	шт.	1		1	замена	Износ
4	Кольцо уплотнительное	195-15-29210	шт.	1		1	замена	Износ
5	Кольцо уплотнительное	195-15-39220	шт.	1		1	замена	Износ
6	Кольцо уплотнительное	175-15-59240	шт.	1		1	замена	Износ
7	Кольцо уплотнительное	175-15-59240	шт.	1		1	замена	Износ
8	Кольцо уплотнительное	155-15-12811	шт.	1		1	замена	Износ
9	Подшипник	561-15-79690	шт.	1		1	замена	Износ
10	Кольцо уплотнительное	175-15-59250	шт.	1		1	замена	Износ
11	Кольцо уплотнительное	155-15-12811	шт.	1		1	замена	Износ
12	О-кольцо	569-15-59110	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
13	О-кольцо	07000-72055	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
14	Кольцо уплотнительное	232-15-19270	шт.	1		1	замена	Износ
15	Кольцо уплотнительное	232-15-19270	шт.	1		1	замена	Износ
16	Кольцо уплотнительное	569-15-12860	шт.	1		1	замена	Износ
17	Кольцо уплотнительное	569-15-12860	шт.	1		1	замена	Износ
18	Кольцо уплотнительное	561-15-79220	шт.	1		1	замена	Износ
19	Кольцо уплотнительное	561-15-79220	шт.	1		1	замена	Износ
20	Пружина волновая	561-15-79811	шт.	5		5	замена	Износ
21	Пружина волновая	561-15-79811	шт.	4		4	замена	Износ
22	Кольцо уплотнительное	144-15-62890	шт.	4		4	замена	Износ
23	Втулка	561-15-61230	шт.	1		1	замена	Износ
24	Втулка	561-15-61230	шт.	1		1	замена	Износ
25	Кольцо	561-15-69540	шт.	1		1	замена	Износ
26	Кольцо	561-15-69540	шт.	1		1	замена	Износ
27	Подшипник	561-15-59610	шт.	1		1	замена	Износ
28	Подшипник	561-15-59610	шт.	1		1	замена	Износ
29	Подшипник	561-15-59310	шт.	1		1	замена	Износ
30	Шарик фиксатор	04260-00635	шт.	1		1	замена	Износ
31	Шарик фиксатор	04260-00635	шт.	1		1	замена	Износ
32	Кольцо уплотнительное	195-09-18361	шт.	1		1	замена	Износ
33	Втулка	561-15-72860	шт.	1		1	замена	Износ
34	Втулка скольжения	561-15-71321	шт.	1		1	замена	Износ
35	Шайба	561-15-42560	шт.	16		16	замена	Износ
36	Подшипник	561-15-79680	шт.	1		1	замена	Износ
37	Кольцо уплотнительное	561-15-79281	шт.	1		1	замена	Износ
38	Кольцо уплотнительное	147-22-13270	шт.	1		1	замена	Износ
39	Кольцо уплотнительное	07018-21004	шт.	1		1	замена	Износ
40	Шайба	569-15-32580	шт.	8		8	замена	Износ
41	Подшипник	569-15-39620	шт.	2		2	замена	Износ
42	Кольцо уплотнительное	561-15-59110	шт.	1		1	замена	Износ
43	Шайба	561-15-71360	шт.	1		1	замена	Износ
44	Кольцо уплотнительное	561-15-69220	шт.	1		1	замена	Износ
45	Подшипник	569-15-39620	шт.	1		1	замена	Износ
46	Подшипник	561-15-59310	шт.	1		1	замена	Износ
47	Шестерня	561-15-72210	шт.	1		1	замена	Износ
48	Подшипник	561-15-79510	шт.	1		1	замена	Износ
49	Подшипник	561-15-79910	шт.	1		1	замена	Износ
50	О-кольцо	07000-73032	шт.	10		10	замена	Потеря эластичности
51	О-кольцо	07000-72055	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
52	О-кольцо	07000-72020	шт.	3		3	замена	Потеря эластичности
53	О-кольцо	07000-73032	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
54	О-кольцо	07000-73032	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
55	О-кольцо	07000-73032	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
56	О-кольцо	07000-73045	шт.	7		7	замена	Потеря эластичности
57	О-кольцо	07000-73045	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
58	О-кольцо	07000-73038	шт.	2		2	замена	Потеря эластичности
59	О-кольцо	07000-73025	шт.	5		5	замена	Потеря эластичности
60	О-кольцо	07000-73022	шт.	5		5	замена	Потеря эластичности
61	О-кольцо	569-15-59110	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
62	О-кольцо	198-22-69640	шт.	1		1	замена	Потеря эластичности
63	О-кольцо	17M-22-47830	шт.	2		2	замена	Потеря эластичности
64	Втулка	561-15-71330	шт.	2		2	замена	Износ
65	Втулка	569-15-31310	шт.	2		2	замена	Износ
66	Втулка	561-15-41330	шт.	1		1	замена	Износ

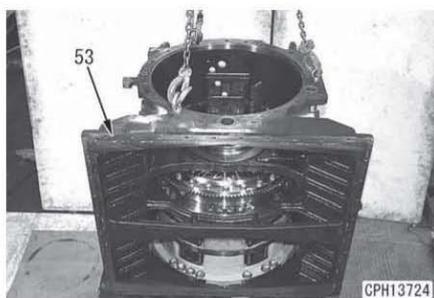
## Выдержка фрагментов с заводской инструкции по сборке АКПП большегрузного самосвала Komatsu HD785-7

SRN05523-00

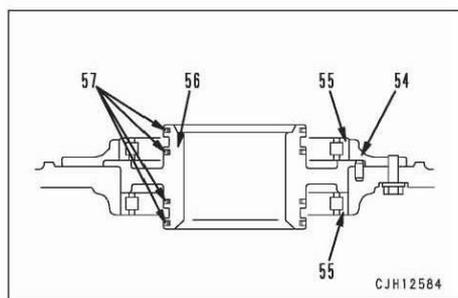
50 Разборка и сборка

### 8. Картер коробки передач

- 1) При помощи рымболтов снимите картер коробки передач (53).
  - ★ Произведите строповку картера коробки передач в вертикальном положении.



- 2) Снимите с картера коробки передач (53) следующие детали.
  - 1] Корпус (54)
  - 2] Подшипник (55)
  - 3] Распорное кольцо (56)
- 3) Снимите уплотнительное кольцо (57) с распорного кольца (56).

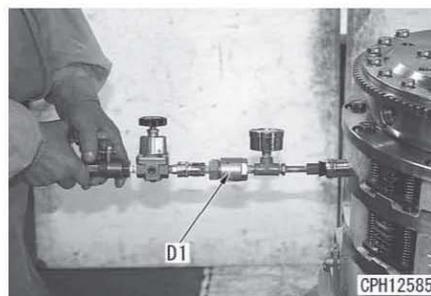


### 9. Проверка работы поршня

При помощи приспособления D1 проверьте эксплуатационное состояние поршней муфт № 4, 5, 6 и 7.

- ★ Давление воздуха: 0,29 - 0,59 МПа {3 - 6 кг/см<sup>2</sup>}

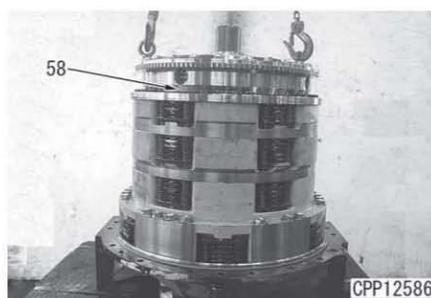
Поршень №	Величина хода (мм)
4	4,0
5	6,3
6	6,8
7	6,0



### 10. Корпус муфты № 3 в сборе

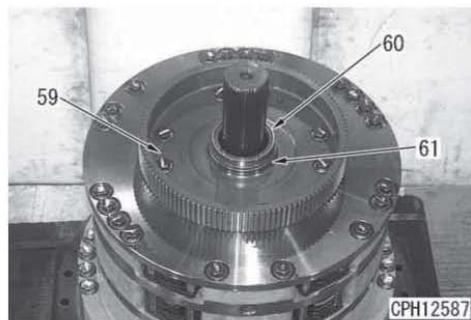
При помощи рымболтов снимите корпус муфты № 3 в сборе (58).

- ★ Для разборки корпуса в сборе см. пункт Разборка муфты № 2 в сборе.



**11. Коронная шестерня № 3**

- 1) Снимите коронную шестерню № 3 (59).
- 2) Снимите внутреннюю обойму (60) и уплотнительное кольцо (61) с коронной шестерни № 3 (59).

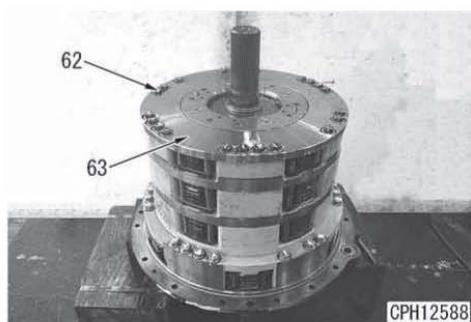


**12. Стяжной болт**

Снимите стяжные болты (62).

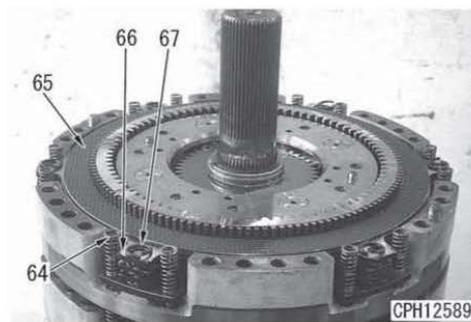
**13. Пластина муфты № 4**

При помощи рымболтов снимите пластину (63).



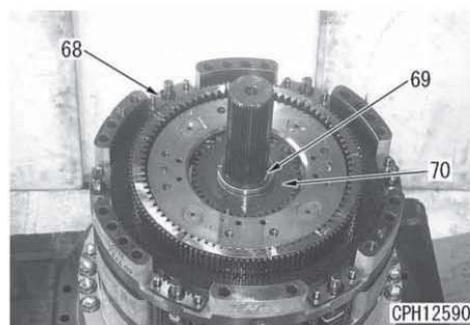
**14. Диск, пластина и пружина муфты № 4**

- 1) Снимите пружины (64).
- 2) Снимите диски (65), пластины (66) и пружины (67).



**15. Солнечная шестерня и пластина муфты № 4**

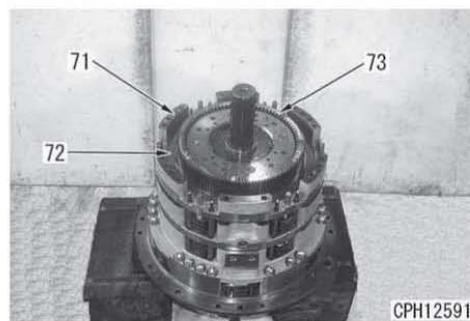
- 1) Снимите пластину (68).
- 2) Снимите пружинное кольцо (69).
- 3) Снимите солнечную шестерню (70).



**16. Корпус, поршень и коронная шестерня № 4**

При помощи рымболтов снимите вместе корпус (71), поршень (72) и коронную шестерню (73) муфты № 4.

★ Если установочный штифт не отсоединяется и корпус требуется поддеть рычагом, будьте осторожны, чтобы не повредить корпус.



Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

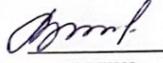
институт

Транспорт

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 А.С. Зяев  
подпись инициалы, фамилия

« 17 » 06 20 22 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Методика выбора видов технических воздействий агрегатов большегрузной  
техники на основе размерных параметров

тема

23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

код и наименование направления

23.04.03.01 Автомобильный сервис

код и наименование магистерской программы

Руководитель

  
подпись, дата

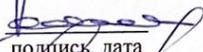
Доцент, канд. технич. наук

должность, ученая степень

С.В. Хмельницкий

инициалы, фамилия

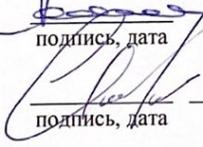
Выпускник

  
подпись, дата

А.В. Толстой

инициалы, фамилия

Рецензент

  
подпись, дата

должность, ученая степень

Е.А. Маркин

инициалы, фамилия

Красноярск 2022