

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Липецкий государственный технический университет»

На правах рукописи

Шатерников Максим Владимирович

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕМОНТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ  
ДИЗЕЛЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КАРЬЕРОВ**

Специальность 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта

Диссертация  
на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель –  
доктор технических наук,  
профессор  
**Корчагин Виктор Алексеевич**

Липецк - 2016

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Введение.....</b>	<b>5</b>
<b>Глава 1</b>	
<b>Необходимость совершенствования эффективности ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта.....</b>	<b>11</b>
1.1.Характеристика условий эксплуатации по организации технического и ремонтного обслуживания карьерного транспорта на предприятиях горнодобывающей промышленности.....	11
1.2. Анализ исследований по вопросу совершенствования организации ремонтного обслуживания автомобильной техники.....	17
1.3. Основные направления совершенствования организации ремонтного обслуживания карьерного транспорта.....	28
Выводы по главе.....	31
<b>Глава 2</b>	
<b>Основы формирования и выбора оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей карьерных автомобилей.....</b>	<b>32</b>
2.1. Математическая постановка задачи формирования оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов объектов производства.....	33
2.2. Характер изменения составляющих, входящих в целевую функцию оптимизации ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта.....	37
2.2.1. Характер изменения удельных потерь дохода при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании.....	38
2.2.2. Характер изменения удельных затрат на замену изношенных элементов при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании...41	41

2.2.3. Характер изменения потерь вследствие недоиспользования ресурса элементов двигателя при его нахождении в ремонтном обслуживании.....	43
2.2.4. Характер изменения потерь вследствие дополнительного количества разборок-сборок и приработка при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании.....	46
2.3. Разработка алгоритма оптимизации целевой функции, выбора стратегии ремонтных обслуживаний двигателя.....	49
2.4. Формирование и выбор оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей.....	54
2.4.1. Математическое описание изменения эксплуатационных затрат по рассматриваемым вариантам структуры ремонтного обслуживания двигателей.....	54
2.4.2. Выбор вариантов и показателей ремонтопригодности .....	56
2.4.3. Обоснование ограничений при выборе оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей.....	58
2.4.4. Разработка блок-схемы алгоритма выбора оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателя.....	59
Выводы по главе.....	61
<b>Глава 3</b>	
<b>Экспериментальные исследования дефектов, износов и показателей ремонтопригодности двигателей карьерного транспорта.....</b>	<b>63</b>
3.1. Методика экспериментальных исследований дефектов и износов двигателей карьерного транспорта.....	65
3.1.1. Требования к информации и методике её сбора.....	65
3.1.2. Методика обработки экспериментальных данных отказов основных деталей агрегатов.....	68
3.2. Результаты исследования дефектов и износов основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н.....	76

3.3. Методика определения показателей ремонтопригодности двигателей карьерного транспорта.....	96
3.4. Результаты экспериментальных исследований показателей ремонтопригодности двигателей при различных вариантах структуры ремонтного обслуживания .....	101
Выводы по главе.....	112
<b>Глава 4</b>	
<b>Выбор оптимальной структуры ремонтных обслуживаний для двигателей ЯМЗ-240Н.....</b>	<b>114</b>
4.1. Уточнение состава групп деталей двигателей карьерного транспорта, для одновременной их замены.....	114
4.2. Определение оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей ЯМЗ-240Н.....	120
4.3. Расчет экономической эффективности от внедрения оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей.....	124
Выводы по главе.....	128
<b>Общие выводы.....</b>	<b>129</b>
<b>Библиографический список.....</b>	<b>131</b>
<b>Приложения.....</b>	<b>142</b>
Приложение 1. Блок-схема алгоритма и последовательность шагов, для определения неизвестных коэффициентов уравнения 2.31, по методу Жордано без обратного хода.....	143
Приложение 2. Последовательность определения оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателя.....	145
Приложение 3. Карта дефектации коленчатого вала двигателя ЯМЗ-240Н. Коленчатый вал № 74385.....	148
Приложение 4. Акт опытного внедрения ремонта ПР1 и бестормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н на ЗАО «Гормаш».....	149
Приложение 5. Справка о практической реализации результатов НИР.....	151

## ВВЕДЕНИЕ

Дальнейшее развитие всех отраслей экономики страны, в том числе и автомобильного транспорта, предусмотрено основными направлениями [53] развития экономики Российской Федерации на ближайшее время, вплоть до 2020 года.

Необходимость в автомобильных перевозках очень быстро растет. Особенно это касается горнодобывающей промышленности. Поэтому, без улучшения технического состояния подвижного состава, а, следовательно, без повышения надежности и совершенствования методов технического и ремонтного обслуживания, интенсификация его использования невозможна.

В этой связи, задача повышения эффективности использования автомобильного транспорта приобретает особую **актуальность**, поскольку от производительности автомобильного транспорта и степени его технической готовности, во многом зависит успешное выполнение планов отраслей экономики страны.

Эффективное использование дорогостоящей автомобильной техники горнодобывающей промышленности, в которую вложен труд достаточного количества людей, является одним из слагаемых качества работы. Одной из важнейших задач, повышения эффективности работы автомобильного карьерного транспорта, является качество их управления в условиях эксплуатации.

В вопросах совершенствования и повышения эффективности работы автомобильного транспорта, значительный вклад внесен трудами отечественных ученых, а именно: Л.Л. Афанасьевым, Ю.Н. Барановым, Л.А. Бронштейном, Д.П. Великановым, А.Ф. Дергачевым, Л.В. Дехтеринским, И.Е. Дюминым, В.В. Ефимовым, Н.И. Иващенко, Г.В. Крамаренко, Р.Н. Колегаевым, В.А. Корчагиным, Р.В. Кугелем, К.Т. Кошкиным, Е.С. Кузнецовым, И.А. Луйк, Н.Н. Масловым, А.Н. Новиковым, А.Н. Островцевым, Ю.В. Родионовым, А.М. Шейниным, С.В. Шумик и др. Ими выполнены фундаментные исследования по вопросам надежности и долговечности, технологии и организации технического и ремонтного обслуживания автомобилей и их агрегатов.

Надо отметить, что применяемая система технического и ремонтного обслуживания в значительной степени определяет затраты на эксплуатацию автомобильного карьерного транспорта. Повышение технического прогресса техники и изменения требований к её эксплуатации настоятельно требуют совершенствования системы технического и ремонтного обслуживания. Поэтому, одним из основных требований повышения эффективности общественного производства, является экономическая оптимизация системы ремонтного обслуживания автомобильного карьерного транспорта.

Технико-экономический анализ, основных тенденций развития ремонтного обслуживания подвижного состава автомобильного транспорта и его агрегатов, как показали проведенные исследования, одним из наиболее перспективных направлений, на данном этапе научно-технического развития, является проведение ремонтных обслуживаний заменой изношенных элементов с организацией централизованного их восстановления индустриальными методами. Такой подход не противоречит и не препятствует развитию других прогрессивных методов, а именно, совершенствованию организации и технологии капитального ремонтного обслуживания автомобилей и их агрегатов. Это в большей степени касается подвижного состава автомобильного транспорта горнодобывающей промышленности.

Сравнительный анализ альтернативных стратегий ремонтных обслуживаний автомобильных двигателей показал, что восстановление их работоспособности методом замены изношенных элементов, в условиях централизации этих работ, является наиболее эффективным способом улучшения использования потенциальных свойств и повышения эффективности их эксплуатации.

Следовательно, задача совершенствования структуры и периодичности ремонтного обслуживания, с применением восстановления работоспособности двигателей заменой изношенных элементов, является весьма **актуальной** и имеет важное значение для экономики страны.

**Степень разработанности темы.** Анализ работ отечественных и зарубежных авторов показал, что по вопросу совершенствования ремонтного обслуживания

автомобильной техники не учтены в полной мере те конструктивные и технологические изменения, которые произошедшие за последние 20 лет. Поэтому, имеющиеся недоработки в теоретико-методологическом и технико-экономическом плане организации ремонтного обслуживания, настоятельно требуют постановки и решения научной проблемы – повышения эффективности ремонтного обслуживания двигателей карьерных автомобилей-самосвалов.

**Цель работы.** Повышение эффективности ремонтного обслуживания дизелей автомобилей, работающих в условиях карьеров за счёт совершенствования их структуры и периодичности.

Для достижения цели **поставлены и решены следующие взаимосвязанные задачи:**

- исследовать дефекты, износы и показатели ремонтопригодности двигателей карьерного транспорта;
- разработать математическую модель оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта;
- установить закономерности изменения эксплуатационных затрат в зависимости от пробега автомобилей;
- разработать алгоритм для выбора оптимальной структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта;
- установить оптимальную структуру и периодичность ремонтных обслуживаний за амортизационный срок службы двигателей карьерного транспорта;
- определить экономическую эффективность от внедрения оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний двигателей на предприятиях горнодобывающей промышленности.

**Теоретическая значимость работы.** Полученные новые результаты в виде совокупности научно-методических разработок, математических моделей, методик, научных подходов и алгоритмов вносят существенный вклад в теорию и практику менеджмента по организации и оптимизации структуры и периодичности ремонтных обслуживаний автомобильных двигателей.

**Практическая значимость.** За весь амортизационный срок службы двигателя ЯМЗ-240Н, по результатам проведенных исследований: разработана оптимальная структура и периодичность ремонтного обслуживания; установлен комплект узлов и деталей, подлежащих замене при проведении предупредительных ремонтных обслуживаний № 1 и № 2 (ПР1 и ПР2); определён экономически целесообразный ресурс двигателя до его списания.

**Методология и методы исследования.** Исследование выполнено путём формирования новых подходов и научной аргументации предложений на основе трудов отечественных и зарубежных учёных в области организации технической эксплуатации автомобильного транспорта. Методы исследования - системный анализ; эколого-экономический анализ; математическая статистика; теория вероятностей; математическое и имитационное моделирование; теория принятия решений, управления, надёжности.

По результатам выполненных в данной работе исследований, на **защиту выносятся:**

- математическая модель определения оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний двигателей ЯМЗ-240Н, работающих в технологическом процессе карьеров горнодобывающей промышленности по вывозке руды;
- методика определения оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний двигателей ЯМЗ-240Н за весь амортизационный срок их службы до списания;
- результаты экспериментальных исследований износов, дефектов и показателей ремонтопригодности двигателей, поступающих как в первое капитальное ремонтное обслуживание, так и в последующие ремонтные обслуживания;
- номенклатура ремонтных комплектов, подлежащих замене при проведении ремонтных обслуживаний ПР1 и ПР2;
- результаты формирования оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний за амортизационный срок службы двигателя ЯМЗ-240Н.

**Достоверность результатов.** Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научных методов, расчётно-экспериментальных результатов обеспечива-

ется принятой методологией исследования. Это позволило обеспечить репрезентативность, доказательность и обоснованность положений и полученных результатов.

**Апробация работы.** Основные положения диссертационной работы доложены: на кафедре «Управление автотранспортом» Липецкого государственного технического университета (ЛГТУ)» (Липецк 2014-2015 г.г.); на кафедре «Автомобильное хозяйство и автосервис» Курского автодорожного института» (г. Курск 2012 – 2013 г.г.); на кафедре «Сервис транспортных и технологических машин» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова (г. Белгород 2012 – 2013 г.г.); международной научно-практической конференции Воронежской государственной лесотехнической академии (2014 г.), XVI Международной научно-практической конференции ПГУАС, г. Пенза (2014 г.).

**Реализация результатов работы.** Рекомендации по совершенствованию ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н, полученные на основе проведенных теоретико-экспериментальных исследований, реализованы в цехах технологического транспорта Лебединского (г. Губкин), Стойленского (г. Старый Оскол) горно-обогатительных комбинатов (ГОК) и на ЗАО «Гормаш» г. Белгорода.

**Объектом исследования** являются двигатели ЯМЗ-240Н, установленные на карьерных автомобилях-самосвалах БелАЗ, работающих в технологическом процессе карьеров по перевозке руды.

**Научная новизна** работы состоит в разработке новых подходов и методик к решению поставленных задач, которые позволили установить качественные зависимости исследуемых процессов. Сущность поставленных задач заключаются в следующем. Применительно к ограниченному количеству рассматриваемых вариантов, разработана математическая модель определения оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний. С позиции экономико-математического моделирования разработана методика выбора оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей до их списания; разработана целевая функция оптимизации и дано аналитическое описание её составляющих с

точки зрения изменения потерь при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании.

**Публикации.** По результатам исследования опубликовано 8 статей в журналах входящих в перечень ВАК.

**Объём и структура работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов и 5-ти приложений. Объём работы с приложениями составляет 151 страницу машинописного текста, включая 50 рисунков и 12 таблиц.

Диссертационная работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Липецкий государственный технический университет на кафедре «Управление автотранспортом».

## Глава 1

### **Необходимость совершенствования эффективности ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта**

#### **1.1. Характеристика условий эксплуатации и организации технического и ремонтного обслуживания карьерного транспорта на предприятиях горнодобывающей промышленности**

Одним из важнейших способов обеспечения народного хозяйства страны минеральным сырьем, является открытая разработка месторождений полезных ископаемых. В Российской Федерации, в настоящее время, имеются мощные высокомеханизированные карьеры. Однако, постоянно увеличивающаяся глубина карьеров и усложнение условий производства добычи полезных ископаемых, ведёт не только к снижению эффективности работы карьерного транспорта, но и к уменьшению производственной мощности карьеров по добыче полезных ископаемых.

В настоящее время, основным видом транспорта горно-обогатительных комбинатов и рудоуправлений (РУ) является автомобильный и железнодорожный транспорт. Причём, доля перевозок, осуществляемых автомобильным транспортом, составляет около 80%. Автомобильным транспортом, в основном, перевозится вскрышной грунт и руда от экскаватора до перегрузочной площадки. Дальнейшая транспортировка руды, от перегрузочной площадки до фабрики дробления, осуществляется, как правило, железнодорожным транспортом.

В течение всего периода разработки месторождений полезных ископаемых непрерывно усложняются условия работы в карьерах горнодобывающей промышленности[1, 48, 92]. По данным Министерства металлургии РФ глубина карьеров открытых месторождений ежегодно увеличивается в среднем на 10-25 м [12, 99], поэтому с увеличением времени разработки месторождения происходит значительное углубление карьеров.

Поэтому, значительное углубление карьеров ГОКов и РУ привело к увеличению крутизны уклонов дорог [66], сокращению фронта горных работ и рабочих площадок [48], увеличению расстояния транспортировки руды и вскрышного грунта [80], ухудшению состояния дорог и экологии карьеров (запыленности и загазованности) [38, 104].

Надо отметить, что приведенные выше факторы оказывают значительное влияние на техническое состояние узлов и агрегатов карьерного транспорта, в том числе и на двигатель.

Постоянно увеличивающаяся глубина карьеров привела к тому, что использование железнодорожного транспорта на малом плече стало экономически нецелесообразным, в результате чего, вся тяжесть перевозок легла на автомобильный транспорт.

На большинстве крупных карьерах Российской Федерации, Украины и Казахстана, крутизна подъемов дорог увеличилась с 30% до 80%, а протяженность этих участков, при глубине карьеров свыше 250 м, составила 80% от их первоначальной длины. Это привело к тому, что автомобиль перевозящий руду, стал постоянно двигаться с грузом на подъём с повышенной крутизной карьерных дорог. При такой эксплуатации значительно возросли нагрузки на основные детали узлов и агрегатов карьерного транспорта и увеличилась степень интенсивности их износа. Надо отметить, что частота отказов также возросла. По причине частых отказов узлов и агрегатов карьерного транспорта, при плановом коэффициенте сменности в 2008 году - 1,76, он снизился до 1,47 [18, 47].

Повсеместное углубление карьеров привело к тому, что фронт горных работ, в карьерах глубиной от 100 м до 400 м, сократился на 20-40%. По данным Гипроруды [60, 66], фронт горных работ, за период с 1998 года по 2008 год, при среднем увеличении глубины железорудных карьеров на 60 м, снизился с 57,5% до 27,2%. Это привело не только к снижению длины экскаваторного блока, но и одновременно создало дополнительные трудности при маневрировании карьерного транспорта [1].

Уменьшение размеров рабочих площадок в зоне работы экскаваторного блока стало следствием уменьшением фронта горных работ. На некоторых карьерах Министерства металлургии РФ, при их глубине 200-300 м, ширина площадок не превышает 35-40 м, причём, количество таких площадок с нормальной шириной в отдельных случаях снизилась до 30-40%. В условиях ограниченного забойного пространства, технологический транспорт значительно утратил необходимую мобильность и производительность.

По причине снижения фронта горных работ и уменьшения размеров рабочих площадок, водители стали чаще прибегать к дополнительному маневрированию. Это привело к тому, что автомобиль стал дольше работать на пониженных передачах, а двигатель – на значительных частотах вращения коленчатого вала. При этом, охлаждение стало менее эффективным, повысился тепловой режим двигателя, и как следствие, износ деталей резко увеличился.

С увеличением глубины карьеров, расстояние транспортировки руды выросло не только за счет длины основных магистральных коммуникаций, но и благодаря увеличению количества маневровых путей [1, 80], дорог и разъездов [61, 75]. Причём, коэффициент развития трасс вырос с 1,1 до 1,7, что привело к увеличению продолжительности рейса [12, 66]. Для выполнения тех же объемов перевозок, количество автомобилей необходимо было бы увеличить, что ещё больше бы осложнило их движение на больших глубинах. По данным [61, 80], углубление карьеров на каждые 100 м приводит к снижению производительности труда технологического транспорта на 25-27% и росту затрат на их поддержание в работоспособном состоянии почти в 1,5 раза.

Установлено, что в глубоких карьерах значительно возрастает запыленность и загазованность рабочего пространства, вызванного выделением вредных примесей работающего оборудования, газами и пылью при производстве взрывных работ [38, 104]. По этой причине, суммарное время простоев технологического транспорта доходит до 10-12% рабочего времени [12, 47].

Исследованиями института горного дела Министерства металлургии РФ [38, 104] установлено, что относительные показатели выбросов вредных веществ в ат-

мосферу на железорудных карьерах из года в год непрерывно росли. Естественные возможности воздухообмена карьеров уменьшились, а средние уровни их запыленности и загазованности значительно выросли. Это приводит к тому, что вредные примеси, попадая в цилиндры двигателя, способствуют более интенсивному износу деталей гильзо-поршневой группы, и как результат, затраты на техническое и ремонтное обслуживание резко возрастают.

Значительное углубление карьеров привело не только к ухудшению состояния технологических дорог, но и к значительному снижению ресурса основных деталей и узлов агрегатов технологического транспорта.

Одним из важнейших факторов повышения производительности технологического транспорта является четкая организация работ по их техническому и ремонтному обслуживанию [18, 61]. В настоящее время, в цехах технологического транспорта (ЦТТ) ГОКов Министерства металлургии РФ, как и для автотранспортных предприятий общего назначения, принята планово-предупредительная система технического и ремонтного обслуживания, которая имеет целью поддержание технологического транспорта в технически исправном состоянии.

Надо отметить, что организация проведения работ по техническому обслуживанию (ТО) в ЦТТ ГОКов несколько отличается от организации ТО принятой в стране для грузового транспорта общего пользования. Согласно [83], организация ТО для грузового транспорта общего пользования предусматривает проведение технических обслуживаний № 1 и № 2 (ТО-1 и ТО-2), тогда как в ЦТТ большинства ГОКов практикуются специальные заезды по проведению профилактических работ, называемых плановым обслуживанием (ПО). Их предусмотрено пять. Особенностью такого вида обслуживания является то, что операции ТО-1 проводятся при всех пяти заездах, а операции ТО-2 – равномерно распределены от первого до пятого планового обслуживания. Периодичность каждого пятого планового обслуживания соответствует периодичности ТО-2, а плановые обслуживания № 1, 2, 3, 4 и 5 – через равные промежутки пробега, от ТО-2 до ТО-2.

Организационная форма проведения текущих ремонтных обслуживаний в ЦТТ ГОКов в основном не претерпела никаких изменений и соответствует организа-

ции ремонтных обслуживаний принятых в стране для транспорта общего пользования [81, 82]. Как правило, при текущем ремонтном обслуживании агрегатов технологического транспорта, изношенные и поврежденные детали и узлы заменяют без полной их разборки. Аналогичным образом, в основном, заменяют не более двух узлов. Например, у двигателей – это замена головки цилиндров, топливного насоса высокого давления (ТНВД), водяного насоса и т.д.; у гидромеханической передачи (ГМП) – золотниковой коробки, масляного насоса, механизма управления и т.д. Подобные замены проводят и по другим агрегатам технологического транспорта.

Известно, что единственной узаконенной формой восстановления работоспособности агрегатов автомобиля, когда требуется их полная разборка, является выполнение капитального ремонтного обслуживания в условиях специализированного ремонтного предприятия. В действительности, некоторые элементы капитального ремонтного обслуживания агрегатов присутствуют при их ремонтном обслуживании в условиях мастерских ЦТТ ГОКов. Надо отметить, что основные организационные принципы такого ремонтного обслуживания, были разработаны еще в первой половине 20 века. К великому сожалению, они сохранились и до настоящего времени практически без изменений, и в ряде случаев стали барьером не только на пути снижения затрат на ремонтное обслуживание, но и привели к увеличению продолжительности простоев в ремонтном обслуживании и снижению эффективности использования технического ресурса агрегатов технологического транспорта [105, 119].

По данным [55,97], восстановлению работоспособности агрегатов, путем проведения капитального ремонтного обслуживания на специализированных предприятиях, присущи все признаки современного индустриального ремонтного обслуживания. Однако, этот метод имеет ряд существенных недостатков, например, продолжительность простоев в ремонтном обслуживании составляет 15-20 дней и более [57]. Причём, стоимость обслуживания остаётся высокой, а качество - низким.

Заводское капитальное ремонтное обслуживание также не претерпело существенных изменений. Его организационной основой остался так называемый обезличенный метод, который не только ведёт к ухудшению качества обслуживания, но и в немалой степени сводит на нет деятельность ЦТТ ГОКов по сохранности автомобильной техники [12, 18].

Надо отметить, что так называемое капитальное ремонтное обслуживание двигателей в мастерских ЦТТ ГОКов осуществляется, как правило, по инициативе предприятия при условии, если есть в наличии запасные части. Как текущее, так и капитальное ремонтное обслуживание в мастерских ЦТТ ГОКов в основном обусловлены отказами отдельных деталей и узлов. Такое ремонтное обслуживание в основном сводится к переборке агрегатов и замене изношенных и поврежденных деталей. Однако выполнение капитального ремонтного обслуживания в мастерских ЦТТ ГОКов имеет и положительные стороны. Это, прежде всего, более высокое качество ремонтного обслуживания, отсутствие обезличенности деталей и как результат значительный ресурс агрегатов после ремонтного обслуживания. К недостаткам такой практики следует отнести: значительные простой в ремонтных обслуживаниях; попутная замена деталей со значительным запасом ресурса; изношенные и поврежденные детали, как правило, не восстанавливают.

Ремонтные обслуживания по отказу, как показывает практика и проведенные исследования [11, 39], экономически не оправданы. Годовая потеря рабочего времени от простоев автомобиля, при его нахождении в ремонтном обслуживании по отказу, по данным [57], превышает 700 часов. Если ещё учесть, что потери пробыли за 1 час простоя технологического транспорта в ремонтном обслуживании составляет более 1200 рублей, то общие потери окажутся весьма внушительными.

Таким образом, по результатам проведенного обзора условий эксплуатации, можно сделать следующее заключение. Существующая практика ремонтного обслуживания технологического транспорта характеризуется длительностью простоев в ремонтном обслуживании и значительными трудозатратами на восстановление их работоспособности. Поэтому, совершенствование организации ремонт-

ного обслуживания является важнейшим направлением в повышении эффективности использования ресурса агрегатов технологического транспорта, снижении потерь и затрат на проведение ремонтных обслуживаний, что в конечном счете позволит улучшить показатели ремонтопригодности.

## **1.2.Анализ исследований по вопросу совершенствованию организации ремонтного обслуживания автомобильной техники**

Любая система ремонтного обслуживания, применяемая на предприятиях горнодобывающей промышленности, определяется, прежде всего, количеством плановых ремонтных обслуживаний за весь срок службы, величинами межремонтных периодов, объемами и видами запланированных ремонтных обслуживаний. Таким образом, при разработке системы ремонтного обслуживания двигателей карьерных большегрузных автомобилей-самосвалов, необходимо руководствоваться перечисленными выше параметрами и их величины.

В настоящее время, в Российской Федерации, вопросам совершенствования организации ремонтного обслуживания автомобильной техники не уделяется должного внимания. Однако, решением задач по определению оптимальной стратегии ремонтного обслуживания занимались как отечественные, так и зарубежные учёные. Надо отметить, что при решении данной проблемы они подходили различными путями. Одни, при разработке основ системы структуры и периодичности ремонтных обслуживаний, использовали информацию о доходах и затратах. Другие предпочитали оперировать информацией о долговечности деталей агрегатов и затратами на ремонтное обслуживание.

Ниже рассмотрим некоторые теоретические исследования по проблеме оптимизации систем ремонтного обслуживания объектов производства.

В основу оптимизации ремонтного обслуживания автомобильных двигателей, В.Н. Авдоныкин [2, 3] положил ресурсы деталей гильзо-поршневой группы, ко-

ленчатого вала и шатунных вкладышей, а также величину удельных затрат на поддержание двигателя в работоспособном состоянии. Математическая модель такой взаимосвязи представлена в виде следующей зависимости:

$$C_{уд} = \frac{C_1 + C_2 + C_{дор}}{L_{пр} + L_2} \rightarrow \min, \text{ руб/км} \quad (1,1)$$

где  $C_{уд}$  - величина удельных затрат, руб./км;  $C_1$  – стоимость первого комплекта вкладышей и поршневых колец, руб.;  $C_2$  - затраты, связанные с заменой вкладышей и поршневых колец, руб.;  $C_{дор}$  – стоимость коленчатого вала, гильз цилиндр, поршней и поршневых пальцев, руб.;  $L_{пр}$ - ресурс двигателя до профилактической замены вкладышей и поршневых колец, км;  $L_2$  - ресурс второго комплекта вкладышей и поршневых колец, км.

Согласно представленной модели, деталями лимитирующими ресурс двигателя до ремонтного обслуживания, являются гильзо-поршневая группа, вал коленчатый и шатунные вкладыши. От величины  $L_{пр} + L_2$ , будет зависеть получение минимального значения удельных затрат на 1 км пробега двигателя. Это обусловлено тем, что при проведении восстановительных работ, значения  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_{дор}$ , являются величинами постоянными. Поэтому, чем больше величина  $L_{пр} + L_2$ , тем меньше значение удельных затрат на 1 км пробега двигателя.

Недостатком данной модели является то, что в ней учитываются только затраты, непосредственно связанные с заменой деталей при проведении ремонтного обслуживания. Кроме того, в модели не учитывается величина остаточной стоимости двигателя на момент проведения ремонтного обслуживания. При проведении ремонтных обслуживаний, очень часто приходится проводить попутную замену деталей, имеющих достаточный ресурс. Как правило, преждевременная замена деталей, пригодных для дальнейшей эксплуатации, ведёт к недоиспользованию их ресурса. В математической модели Ф.Н. Авдоныкина, эти моменты также не нашли соответствующего отражения.

Поддержание работоспособности автомобиля за счет проведения одних только капитальных ремонтных обслуживаний, предлагают В. Аверкин и др. [4]. Они, за критерий оптимальности предлагают принять минимум удельных затрат. При-

чём, отношение суммы затрат связанных с приобретением автомобиля, проведением капитальных ремонтных и эксплуатационных расходов к выполненной транспортной работе, за весь его срок службы, должно быть минимальным. Минимальные удельные затраты предлагаются определять по следующей зависимости:

$$\min_{\tau}, \min_{M, \tau_m} \frac{C + \sum_{m=1}^M \frac{R_m}{(1+E)^t} + \sum_{m=0}^M \sum_{t=1}^{T-\tau_m} \frac{U(t,m)}{(1+E)^{t-\tau_m}} - \frac{J}{(1+E)^T}}{\sum_{m=0}^M \sum_{t=1}^{T-\tau_m} \frac{W(t,m)}{(1-E)^{t-\tau_m}}}, \quad (1.2)$$

где  $C$  – первоначальная стоимость автомобиля, руб.;  $R_m$  – стоимость  $m$ -го капитального ремонтного обслуживания автомобиля, руб.;  $U(t,m)$  – функция, описывающая изменение текущих затрат на поддержание автомобиля в работоспособном состоянии в зависимости от срока службы, исчисляемого с момента проведения  $m$ -го капитального ремонтного обслуживания;  $W(t,m)$  - функция, описывающая изменение производительности автомобиля в зависимости от срока службы, исчисляемого с момента проведения  $m$ -го капитального ремонтного обслуживания;  $T$  - срок службы автомобиля, лет;  $\tau_m$  – год, в котором следует проводить капитальное ремонтное обслуживание автомобиля;  $M$  – количество капитальных ремонтных обслуживаний автомобиля;  $m = 0$  – соответствует моменту приобретения нового автомобиля.

Практика показала нерациональность восстановления работоспособности автомобиля за счет проведения одних только капитальных ремонтных обслуживаний, поскольку это способствует значительному увеличению затрат на ремонтное обслуживание. В данной математической модели нет ограничения количества проводимых капитальных ремонтных обслуживаний, что также является существенным её недостатком.

Рассмотренную задачу, А.С. Гальперин в работе [19], сформулировал в рамках стохастической модели, в которой вводятся вероятностные методы перехода объекта производства из одного состояния в другое, как функции ее возраста, и других факторов. Поставленная задача реализована на тракторной шине, состоящей из каркаса и протектора. В определенном смысле, данная модель представляет

некоторый интерес, однако её решение затруднено при увеличении количества элементов, входящих в машину.

Поставленную задачу, определения объемов ремонтных обслуживаний, их периодичности и срока службы, Л.И. Дубровин [34] решает исходя из условия обеспечения требуемой вероятности безотказной работы при минимизации общих затрат. При этом делаются следующие допущения:

- время на ремонтное обслуживание и профилактику должно быть очень малым;
- при отказе системы в период работы, начисляется штраф за отказ;
- отказы должны появляться с постоянной во времени интенсивностью.

В основу решения задачи положен принцип эксплуатации и ремонтного обслуживания системы, представленный как управляемый стохастический процесс. Представленная методика имеет теоретическую ценность, однако приведенные допущения делают её не приемлемой для таких технических систем, как автомобили.

Задачу построения оптимальной системы ремонтного обслуживания, с использованием информации о затратах, решал в своей работе Р.Н. Колегаев [49]. Он рассматривал модель, в которой объект исследования в течение срока службы подвергался некоторым плановым ремонтным обслуживаниям, а затем определялся оптимальный срок службы машины и оптимальные межремонтные периоды, т.е. периоды между капитальными ремонтными обслуживаниями, количество которых могло быть неограниченно.

Целевая функция, при этом, имела следующий вид [49]:

$$Z_{An} = \frac{S_h - O_n + \sum_{i=1}^n E_i + \sum_{i=2}^{n-1} R_i}{\sum_{i=1}^n l_i} \text{ руб./км}, \quad (1.3)$$

где  $Z_{An}$  – удельные расходы в течение всего срока службы машины, руб./км;  $S_h$  – стоимость новой машины, руб.;  $O_n$  – ликвидационная стоимость машины в  $n$ -ном ремонтном цикле при данном сроке службы, руб.;  $E_i$  – эксплуатационные расходы в  $i$ -том ремонтном цикле, руб.;  $R_i$  – затраты на  $i$ -е капитальное ремонтное обслу-

живание, руб.;  $l_i$  – величина пробега  $i$ -го ремонтного цикла, км;  $n$  – количество ремонтных циклов.

Полный срок службы машины, по данной системе, состоит из суммы всех ремонтных циклов, т.е.:

$$\sum_{i=1}^n l_i = L, \text{ км} \quad (1.4)$$

где  $L$  – полный срок службы машины, км (ч).

Решение поставленной задачи выполняется путем перебора количества циклов эксплуатации от 1 до  $n$ , приравнивая частные производные по  $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_n$  нулю и решая совместно систему уравнений:

$$\frac{dZ_{A1}}{dl_1} = 0, \frac{dZ_{A2}}{dl_2} = 0, \dots, \frac{dZ_{Ai}}{dl_i} = 0, \dots, \frac{dZ_{An}}{dl_{1n}} = 0, \quad (1.5)$$

Определив  $n$  неизвестных  $l_1, l_2, \dots, l_i, \dots, l_{n-1}, l_n$ , которые подставляются в (1.3), определяются значения  $Z_{Ai}$ . Затем значения  $Z_{A1}, Z_{A2}, \dots, Z_{An}$  сравниваются между собой и выбирается  $Z_{Amin}$ . Количество циклов эксплуатации, соответствующее  $Z_{Amin}$  определит оптимальные межремонтные сроки  $l_1^*, l_2^*, \dots, l_i^*, \dots, l_n^*$  и полный срок службы машины  $L$  в соответствии с (1.4).

В формулу 1.3 затраты на капитальные ремонтные обслуживания входят особой статьей в себестоимость единицы продукции, поэтому функция затрат является прерывной, с разрывами в моменты проведения капитальных ремонтных обслуживаний.

Автором данной системы выведена формула для случая, когда изменение удельных эксплуатационных затрат подчиняется следующей зависимости:

$$\frac{E_i(l)}{l_i} = a_i + b_i \cdot l_i, \text{ руб./км} \quad (1.6)$$

где  $a_i$  – постоянная величина удельных затрат на эксплуатацию, не зависящая от величины цикла, руб./км;  $b_i$  – интенсивность нарастания затрат с увеличением номера цикла.

Поскольку  $E(l)$  прерывна, то можно считать, что отдельные ее отрезки, при малой кривизне, достаточно близки к отрезкам прямых. По данной методике планируется проведение только капитальных ремонтных обслуживаний. Однако, машина, в ремонтном цикле, проходит и другие виды плановых ремонтных об-

служиваний (через свои межремонтные циклы), от величины которых в значительной степени зависит величина затрат на ремонтные обслуживания. Недостатком данной модели оптимизации является то, что при введении нелинейных зависимостей, методы классического анализа не пригодны.

На автомобильном транспорте, наибольшее распространение нашли применение технико-экономический и экономико-вероятностный методы определения оптимальной периодичности технических и ремонтных обслуживаний.

Предложенная Г.В. Крамаренко [56] периодичность обслуживания, в основе которой лежит технико-экономический метод, определяется по формуле:

$$\frac{dC_{\Sigma}}{dl} = \frac{d}{dl} \cdot \left( \frac{A}{l} + \frac{B}{L} \right), \text{ км} \quad (1.7)$$

где  $C_{\Sigma}$  – суммарная удельная стоимость технического и ремонтного обслуживания, руб.; А – затраты на операции технического обслуживания, руб.; В – затраты на ремонтное обслуживание узла, руб.;  $l$  – периодичность обслуживания, км.;  $L$  – межремонтный пробег, км.

Зависимость изменения периодичности технического обслуживания автомобиля, приведена на рисунке 1.1. Из рисунка 1.1. видно, что оптимальная периодичность, определяется точкой минимума ( $C_{min}$ ) на суммарной кривой удельной стоимости технического и ремонтного обслуживания.

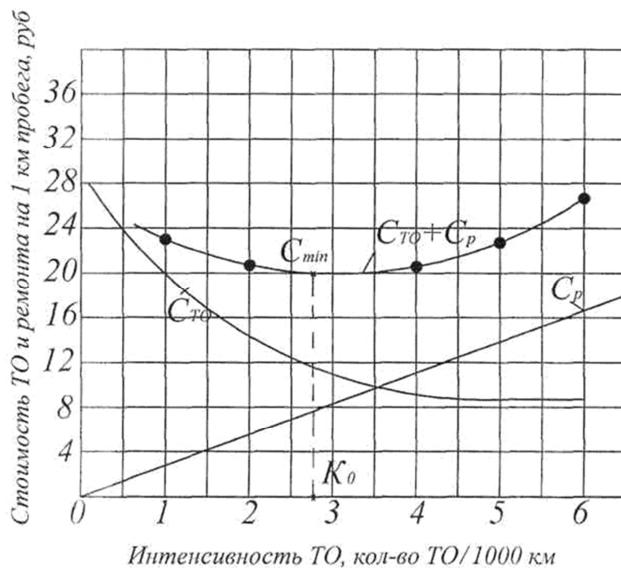


Рисунок 1.1 - Определение оптимальной периодичности технического обслуживания автомобилей

Идея данного метода является чрезвычайно ценной, поскольку позволяет получить периодичность технического и ремонтного обслуживания, близкую к оптимальной. Однако приведенный метод не доведен до конкретной завершённой формы.

Решение задач по определению структуры и периодичности технических и предупредительных ремонтных обслуживаний, методом замены узлов и элементов, принципиально не отличаются между собой.

Сущность экономико-вероятностного метода определения периодичностей принудительных ремонтных обслуживаний, предложенного Е.С. Кузнецовым [59], состоит в том, что математическая модель удельных затрат строится с учетом соотношения удельных стоимостей выполнения принудительного и текущего ремонтных обслуживаний.

Для поиска оптимальной периодичности принудительного ремонтного обслуживания, им предложена следующая математическая зависимость [58]:

$$l_p \cdot \varphi(l_p) - q + \frac{\varphi(l_p)}{p} \cdot \int_{l_{\min}}^{l_p} l \cdot \varphi(l) dl = \frac{d}{c-d}, \text{ км} \quad (1.8)$$

где  $l_p$  – искомая периодичность принудительного ремонтного обслуживания, км;  $d$  – затраты на одно ремонтное обслуживание при организации принудительного ремонтного обслуживания с периодичностью  $l_p$ , руб.;  $c$  – затраты, связанные с ремонтным обслуживанием по потребности, руб.

Схема определения периодичности ремонтных обслуживаний экономико-вероятностным методом приведена на рисунке 1.2.

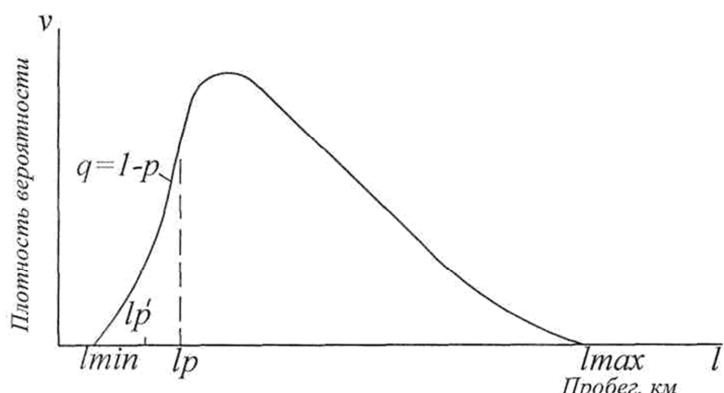


Рисунок 1.2 - Определение периодичности экономико-вероятностным методом

В развитие и совершенствование методов оптимизации режимов технического и ремонтного обслуживания автомобилей, этот подход внес значительный вклад. Его недостатком является ограниченность области применения. Если расшифровать затраты  $d$ , то можно увидеть, что они зависят от периодичности  $l_p$ , т.е.  $d = f(l_{cp})$ .

Однако необходимо отметить, что решение данного уравнения затруднительно, поскольку по предложенному методу отыскивается периодичность  $l_p$ , в предположении, что  $d$  известно. На самом деле, затраты  $d$  не могут быть известны, поскольку они зависят от  $(l_{cp})$ .

Методика, предложенная Шейниным А.М., Индиктом Е.А. и Панкратовым Н. [40, 78, 116], заслуживает должного внимания. Её сущность заключается в учёте расхода запасных частей до постановки автомобиля на капитальное ремонтное обслуживание и вплоть до его списания.

В основу оптимизации, ими было положено определение минимума удельных затрат на приобретение запасных частей и определение минимума переменных расходов по поддержанию автомобиля в работоспособном состоянии [78, 118].

Стоимость запасных частей и затраты на их приобретение, определяются по формуле [41]:

$$C_{зч} = \frac{C_a}{n(A+B+C+1)}, \quad (1.9)$$

где  $C_{зч}$  – затраты на приобретение запасных частей, руб.;  $C_a$  - стоимость изготовления автомобиля без учета остаточной стоимости при списании, руб.;  $A$ ,  $B$ ,  $C$  – отношение соответственно между: трудовыми затратами и затратами на запасные части; затратами на материалы и запасные части; потерями от простоев и затратами на запасные части;  $n$  – показатель степени пробега  $L$  в уравнении удельных затрат (см. уравнение 1.10). Для новых моделей автомобилей ЗИЛ и ГАЗ  $n = 1,5$ .

По формуле 1.10. определяется удельный расход запасных частей по интервалам пробега:

$$C_{уд}^{зч} = \frac{\omega}{1+A+B+C} L^n, \quad (1.10)$$

где  $C_{уд}^{зч}$  - удельный расход запасных частей по интервалам пробега, руб/км;  $\omega$  - угловой коэффициент уравнения удельных затрат, руб./км;  $L^n$  – пробег автомобиля за интервал, км.

Данная методика предусматривает только расходы запасных частей на проведение ремонтных обслуживаний. Что же касается затрат, идущих на диагностирование автомобиля, транспортно-заготовительные расходы, потери от дополнительных разборок-сборок и, наконец изменение стоимости автомобиля от пробега – все это в предлагаемой методике не находит отражения.

Фундаментальные исследования, по проблеме ремонтного обслуживания объектов производства достаточно подробно освещены в трудах: д.т.н. А.П. Владициевского [15, 16] - для металлорежущих станков; проф. И.А. Луйка [62, 63] и д.т.н. А.П. Крившина [58] - для дорожных и строительных машин; проф. В.И. Казарцева [43], проф. А.И. Селиванова [90], к.т.н. Ю.Н. Артемьева [5] – для тракторов и сельскохозяйственных машин; д.т.н. Ф.Н. Авдоныкина [2, 3], д.т.н. А.Р. Асояна [6], д.т.н. Ю.Н. Баранова, д.т.н. А.П. Болдина [10], д.т.н. П.Н. Волкова [17], д.т.н. Б.Г. Гасанова [20], д.т.н. А.С. Денисова [33], д.т.н. И.Е. Дюмина [35, 36, 37], д.т.н. В.И. Карагодина [45], д.т.н. В.А. Корчагина [54], д.т.н. Е.С. Кузнецова [59], д.т.н. А.Н. Новикова [70, 71], д.т.н. Ю.В. Родионова [88], проф. А.М. Шейнина [115, 116, 117], проф. С.В. Шумик [119] – для автомобилей. В этих трудах указывается на целесообразность совершенствования организации технического и ремонтного обслуживания объектов производства, методом замены изношенных элементов.

Значительное внимание вопросам оптимизации систем ремонтного обслуживания объектов производства, в настоящее время уделяется и зарубежом [120, 121, 122].

Система ремонтного обслуживания, предложенная в [121], представляет собой произвольное количество равных по стоимости плановых ремонтных обслуживаний через равные промежутки времени. Недостатки такой системы ремонтного обслуживания нам уже известны.

Применение методов классического анализа, вследствие их ограниченности, побудило многих исследователей применять новейшие методы анализа, к которым относится и метод динамического программирования.

Р. Беллман и С. Дрейфус [7], рассматривая эксплуатацию машины в течение некоторого промежутка времени  $\tau$ , ищут последовательность сроков её замены или продажи с тем, чтобы значительно увеличить её доход. При этом предусматривается проведение ремонтных обслуживаний. Причём, по данной версии предусматривается, что планово-предупредительные ремонтные обслуживания будут проводиться неоднократно в течение всего срока службы машины, через равные промежутки времени.

По данной методике, изношенные элементы заменяются в моменты  $\tau = \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ . Нахождение оптимального процесса для объектов производства методами классического анализа, обеспечивается за счёт применения  $n$  частных производных от  $f(\tau, t)$ , с последующим решением системы из  $n$  уравнений. В целях упрощения решения поставленной задачи, применяется метод динамического программирования, позволяющий заменить эту процедуру, решением одномерных задач.

Модель, предложенная Р. Беллманом, носит чисто теоретический характер и мало согласуется с практикой. В данной модели, действительно предусматриваются ремонтные обслуживания машин, которые могут неоднократно осуществляться через равные промежутки времени в течение заданного срока службы. Вид ремонтного обслуживания и его стоимость не оговорены, а постоянство периодичности и стоимости ремонтного обслуживания во времени невозможно.

Модель, предложенная Дж. Хедли [102], несколько конкретизирована. Она предусматривает, что машине в процессе эксплуатации проводится не просто ремонтное обслуживание вообще, а именно капитальное ремонтное обслуживание. На практике, система ремонтного обслуживания с проведением через равные промежутки времени только одних капитальных ремонтных обслуживаний, неприемлема.

Р. Ховард в работе [103], усложняет математический аппарат решения поставленной задачи. Он разработал дополнительные приближённые модели, основанные на сведениях из теории марковских процессов. Это позволило значительно упростить количественное решение задачи. Однако, дополнительно вводимые ремонтные обслуживания машин, как управляющие воздействия, составляют всего лишь условную систему ремонтного обслуживания. Поэтому произвольный выбор количества плановых ремонтных обслуживаний делают такую систему не-применимой на практике.

Рассмотренные выше модели предусматривают некоторое количество плановых ремонтных обслуживаний через равные промежутки времени, и не подвергают сомнению, что межремонтные периоды должны быть обязательно равновеликими. Авторы делают основной упор на формальный аспект задачи, а не на экономический. В работах зарубежных авторов, постановка задачи сводится в основном к определению наивыгоднейшего момента продажи объекта производства, что не всегда согласуется с этической стороной дела.

Организационные формы ремонтного обслуживания подвижного состава автомобильного транспорта в странах Западной Европы весьма разнообразны и имеют много особенностей применительно к своим странам, регионам и т.д. Несмотря на такое разнообразие, ремонтные предприятия образуют довольно гибкую ремонтную сеть с развитой специализацией и широким использованием самых современных, прогрессивных и эффективных принципов ремонтного обслуживания [123].

В этой связи, весьма важным обстоятельством является стремление создания таких конструкций машин, применять такие технологические процессы при изготовлении и осуществлять такие организационно-технические мероприятия в эксплуатации, при которых затраты и время пребывания машины в техническом и ремонтном обслуживании, были бы рациональными или не превышали приемлемых значений.

Известно, что усложнение конструкций современных машин приводит к дополнительным затратам на поддержание их надёжности на определенном уровне.

При принятии должных мер по снижению затрат на техническое и ремонтное обслуживание, можно в определенной степени уменьшить разрыв затрат, идущих на производство машин и затрат на их поддержание в работоспособном состоянии. К числу таких мер следует отнести:

- создание конструкций машин лучше приспособленных к проведению технического и ремонтного обслуживания и требующих минимум затрат при их эксплуатации;
- совершенствование системы технического и ремонтного обслуживания с целью наилучшего использования достигнутого уровня ремонтопригодности машин.

Особенности конструкции двигателя карьерного транспорта, специфика его условий эксплуатации, а также значительная стоимость отдельных деталей и узлов, требует дополнительного исследования вопросов дальнейшего совершенствования организации их ремонтного обслуживания.

### **1.3. Основные направления совершенствования организации ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта**

Технико-экономический анализ основных направлений развития ремонтного обслуживания подвижного состава автомобильного транспорта, и его агрегатов, как показали проведенные исследования, на данном этапе научно-технического развития, одним из наиболее перспективных направлений, является проведение ремонтных обслуживаний методом замены изношенных элементов с организацией централизованного их восстановления индустриальными методами. Такой подход не противоречит и не препятствует развитию других прогрессивных методов, а именно, совершенствованию организации и технологии капитального ремонтного обслуживания автомобилей и их агрегатов. Это в большей степени ка-

сается подвижного состава автомобильного транспорта горнодобывающей промышленности.

Проведенный анализ организации ремонтного обслуживания автомобильной техники позволяет сделать следующие выводы, касающиеся двигателей карьерного транспорта.

1. Существующая, в настоящее время, практика проведения ремонтного обслуживания двигателей карьерных автомобилей по мере отказа их конструктивных элементов приводит к частым постановкам на ремонтное обслуживание. Причём, каждое ремонтное обслуживание сопровождается простоями и убытками, которое несёт ЦТТ ГОКа при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании. Снижение продолжительности простоев и потерь требует поиска резервов, в основе которой лежит совершенствование организации ремонтного обслуживания. Оптимальная организационная структура и периодичность проведения ремонтного обслуживания будет способствовать не только изменению показателей ремонтопригодности, но и повышению эффективности ремонтного обслуживания двигателей карьерных автомобилей. В ходе проведенного анализа были установлены закономерности, подтверждающие высокую эффективность ремонтного обслуживания двигателей методом замены изношенных или поврежденных деталей и узлов.

2. Проблемой совершенствования ремонтного обслуживания автомобильной техники занимались как отечественные, так и зарубежные исследователи. Получена ценная информация, которая нашла практическое применение в отраслях экономики страны. Тем не менее, вопросы, связанные с выбором оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания применительно к двигателям карьерного транспорта, работающего в специфических условиях, до настоящего времени не нашли своего решения. Однако, формы организации ремонтного обслуживания, которые весьма хорошо зарекомендовали себя для агрегатов автомобилей массового производства, для двигателей карьерного транспорта требуют дополнительных исследований.

3. Несмотря на высокую эффективность ремонтного обслуживания двигателей методом замены изношенных элементов, широкого внедрения в Российской Фе-

дерации он пока не получил. В настоящее время, главное место на ведомственном транспорте занимает не предупредительное, а капитальное ремонтное обслуживание, что в конечном счёте ведёт к увеличению затрат на ремонтное обслуживание.

На основании вышеизложенного, можно сформулировать следующую цель исследований, а именно, повысить эффективность ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта за счёт совершенствования структуры ремонтного цикла.

Исходя из поставленной цели и на основании анализа состояния исследуемого вопроса, можно сформулировать следующие задачи предстоящих исследований:

- разработать математическую модель оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта;
- установить закономерность изменения эксплуатационных затрат в зависимости от пробега;
- разработать алгоритм для выбора оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта;
- исследовать дефекты, износы и показатели ремонтопригодности двигателей карьерного транспорта;
- установить оптимальную структуру ремонтных обслуживаний за амортизационный срок службы двигателей карьерного транспорта;
- определить экономическую эффективность от внедрения оптимальной структуры ремонтных обслуживаний двигателей на предприятиях горнорудной промышленности.

Путем анализа составляющих целевой функции, на основании которого устанавливается необходимый их перечень, можно решить первую задачу.

Вторая задача решается путем изучения характера изменения составляющих целевой функции, входящих в состав эксплуатационных затрат.

После рассмотрения первых двух задач, можно приступить к решению третьей задачи. Разработку алгоритма выбора оптимальной структуры ремонтного об-

служивания двигателей карьерного транспорта необходимо вести только с позиции сравнения рассматриваемых вариантов.

Решение четвертой задачи можно решить путем анализа дефектов и износов основных деталей двигателей и показателей ремонтопригодности по каждому рассматриваемому варианту.

Путем установления номенклатуры деталей, лимитирующих ресурс двигателей, периодичности их замен и применения экономико-математического моделирования, можно решить пятую задачу.

Только после проведения экспериментальных исследований и сопоставления всех затрат и потерь существующей и предлагаемой организации ремонтного обслуживания двигателей за их амортизационный срок службы, можно решить шестую задачу.

## **Выводы по главе**

1. Совершенствование эффективности ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта требует изучения не только условий их эксплуатации, но и знать характеристику действующих методов организации технического и ремонтного обслуживания на предприятиях автомобильного транспорта, в том числе и в горнодобывающей промышленности.

2. Проведенный анализ работ по вопросу совершенствованию организации ремонтного обслуживания автомобильной техники позволяет найти по каждой стратегии положительные и отрицательные стороны, и на основании полученной информации предложить их доработку.

3. На основании полученной информации необходимо предложить оптимальную стратегию ремонтного обслуживания и указать основные направления её совершенствования для двигателей карьерного автомобильного транспорта.

## Глава 2

### **Основы формирования и выбора оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей карьерных автомобилей**

Восстановление работоспособности двигателей карьерного транспорта путем замены изношенных элементов является в настоящее время одним из наиболее перспективных методов. Для эффективного применения этого метода, необходимы разработки научно-методических и организационно-технических вопросов с учетом особенностей их конструкций и условий эксплуатации.

Поэтому, из всего многообразия вопросов организации ремонтного обслуживания необходимо определить оптимальную структуру и периодичность замен изношенных элементов. А это уже очень сложный научно-технический и технико-экономический процесс решения поставленной задачи.

Особенностью технико-экономических задач, к которым относится и задача построения оптимальной структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта, является поиск оптимального решения.

Замену изношенных элементов двигателя, с точки зрения организации выполнения ремонтного обслуживания, можно проводить как по мере отказа каждого отдельного элемента, так и путем одновременной замены определенных групп элементов.

Как показывает практика [50, 117], замена отдельных элементов двигателя по их отказу, экономически не оправдана, поскольку это приводит к частым разборкам, длительным простоям в ремонтном обслуживании, и, как следствие, к росту потерь и затрат на их проведение.

При одновременной замене определенных групп элементов двигателя, до капитального ремонтного обслуживания, возникает следующая ситуация. С одной стороны – уменьшается трудоёмкость и продолжительность ремонтного обслуживания, а также снижаются потери, связанные с приработкой элементов двигателя.

С другой стороны, одновременная замена групп элементов различной долговечности способствует появлению потерь, связанных с недоиспользованием ресурса преждевременно заменяемых элементов. Оптимальной будет считаться такая система, при которой обеспечивается минимум затрат и потерь на одновременную замену групп элементов двигателя.

При определении оптимального варианта восстановления работоспособности двигателя необходимо синтезировать информацию о значении функций затрат и дохода, а также информацию о ресурсе его элементов.

Рассмотренные методы оптимизации, как отмечено в главе I, имеют ряд существенных недостатков. Поэтому их использование, применительно к двигателям карьерного транспорта, требует дополнительных исследований. В настоящей работе необходимо сделать обоснование применения такого метода оптимизации, при котором бы в равной степени использовался формальный и эвристический подходы к решению поставленной проблемы и был доступным для практического построения оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта с учетом конструктивных особенностей и специфики их условий эксплуатации.

## **2.1. Математическая постановка задачи формирования оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов объектов производства**

Выбор оптимальной структуры и периодичности ремонтных воздействий по восстановлению работоспособности объектов производства, и их внедрение в практику, представляют собой не только сложную научно-техническую проблему, но и не менее сложную технико-экономическую задачу. Решение поставленных проблем и задач должно проводиться с учетом экономических затрат и заключаться в определении функции многих взаимосвязанных переменных, изменяю-

шихся во времени. Решить эту задачу, на должном научном уровне, позволит применение экономико-математического моделирования и современной вычислительной техники [8, 9, 22].

Особенностью решения технико-экономических задач надёжности, к которым относится и задача построения оптимальной системы ремонтных обслуживаний двигателей, является их экстремальный характер. Для каждого рассматриваемого случая, это позволит, в некотором смысле, найти оптимальное, или близкое к нему решение. Поскольку мы имеем дело с распределением ограниченных ресурсов [15], для этих целей, во всех рассмотренных случаях можно использовать математические методы нахождения оптимальных решений [14, 52].

Рассмотрим постановку задачи формирования оптимальных замен изношенных элементов объектов производства, которые сводится к построению математической модели исследуемой проблемы, т.е. необходимо выделить наиболее значимые факторы, и установить закономерности которым они подчиняются.

Замена элементов, которые при износе (отказе) могут выполняться без разборки машины, как правило, осуществляется по мере выхода их из строя при выполнении технических и текущих ремонтных обслуживаний [87]. У автомобильных двигателей, к ним следует отнести: свечи зажигания, приводные ремни водяного насоса, вентилятора, генератора, разовые топливные фильтры и др. Такие замены, в данной работе не рассматриваются, поскольку их отказы по своей природе, случайны и замена проводится в случайные моменты времени.

Замена элементов, согласно [117], связанная с разборкой двигателя, по мере их отказа экономически нецелесообразна. Как правило, это ведёт к частым разборкам двигателя, длительным простоям, и в этой связи, к росту потерь и затрат связанных с ремонтными обслуживаниями. Вместо потребных по отказам замен, предполагается ввести ряд регламентированных, в основе которых лежит совмещение замен нескольких, наименее долговечных по ресурсу элементов.

Внедрение регламентированных замен, с одной стороны уменьшит время на замену элементов, поскольку замена будет осуществляться группой элементов или сборочными единицами. При этом можно снизить потери на приработку эле-

ментов, так как будет исключена необходимость в приработке по мере замены каждого элемента в отдельности после отработки им его ресурса. С другой стороны, одновременная замена нескольких элементов различной долговечности приведёт к появлению потерь от недоиспользования ресурсов элементов, которые являются следствием недоиспользования потребительской стоимости элементов. А это, в свою очередь, приведёт к недополучению дохода приносимого машиной.

Являясь диалектическим, данное противоречие может служить основой для создания оптимальной системы замен изношенных элементов.

Полученная информация, позволит сделать определённые выводы о том, что оптимальная система замен будет получена из условия достижения минимума затрат на замену элементов, на приработку и потерю вследствие простоев и недоиспользования ресурсов заменяемых элементов.

К затратам на восстановление работоспособности двигателей карьерного транспорта следует отнести: постоянные затраты (затраты на амортизацию и эксплуатацию зданий и сооружений) и переменные (затраты, связанные с проведением ремонтных обслуживаний). В виду незначительного изменения капитальных затрат ремонтной базы, на которой предполагается осуществлять восстановление двигателя, затраты на амортизацию и эксплуатацию зданий и сооружений в целевой функции рассматриваться не будут.

Математическое описание экстремальных задач, согласно [8, 102], предусматривает построение такой целевой функции переменных, у которой числовая характеристика большему (или меньшему) значению, соответствует лучшим результатам с точки зрения принимаемого решения.

Целевая функция, определения оптимальной системы замен изношенных элементов объекта производства, с учетом всех замен ( $N$ ) до капитального ремонтного обслуживания, может быть представлена в следующем виде:

$$S_N = f(d_{l_i}, Z_{l_i}, g_{l_i}, G_{l_i}), \text{ руб.} \quad (2.1)$$

где  $S_N$  – суммарные затраты целевой функции, руб.;  $d_{l_i}, g_{l_i}, G_{l_i}$  - потери, соответственно, от простоев, недоиспользования ресурса, дополнительных разборок-

сборок и приработка при одновременной замене групп элементов, руб.;  $Z_{l_i}$  – затраты на оплату труда ремонтных рабочих при замене изношенных элементов, руб.;  $l_i$  – пробег, на котором проводится одновременная замена элементов, тыс. км;  $i$  - количество одновременно заменяемых элементов, шт.

Система замен изношенных элементов будет оптимальной при достижении следующего условия:

$$\begin{aligned} S_N^* &= \min S_N \\ u_i \in u \\ x_j \in x, \quad N > 0 \end{aligned} \tag{2.2}$$

где  $S_N^*$  - суммарные затраты целевой функции, при рассматриваемой стратегии замен элементов, руб.;  $x_j$  – значение ресурса  $j$ -го элемента, км;  $u_j$  – значение ресурса  $j$ -го элемента при групповой замене, км.

Характер изменения составляющих, входящих в целевую функцию оптимизации ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта, приведен ниже.

1. Потери прибыли от простоев двигателя, при нахождении его в ремонтном обслуживании, определяются по формуле [36]:

$$d = a_1 T_p, \tag{2.3}$$

где  $a_1$  – прибыль, приносимая автомобилем в единицу времени, руб./ч;  $T_p$  – продолжительность простоев двигателя в ремонтном обслуживании, с учетом времени доставки к месту проведения ремонтного обслуживания, ч.

2. Потери от недоиспользования ресурса преждевременно заменяемых элементов двигателя, определяются по формуле[36]:

$$g = \sum_{i=1}^N [\sum_{j=1}^{n_i-1} C_j \frac{X_j - U_i}{X_j} + \xi] \sum_{j=1}^{n_i-1} C_j (X_j - U_i)], \tag{2.4}$$

где  $C_j$  – первоначальная стоимость  $j$ -го элемента, руб.;  $X_j$  – нормативный ресурс  $j$ -го элемента, км;  $U_i$  - ресурс  $i$ -й группы элементов до замены, км;  $\xi$  – коэффициент, учитывающий потери дохода от недоиспользования ресурса преждевременно заменяемых элементов;  $n$  – количество преждевременно заменяемых элементов  $j$ -й группы;  $N$  – количество групп одновременных замен.

3. Потери дохода, от проведения дополнительного количества разборок-сборок и приработок для группы одновременно заменяемых элементов, определяются по формуле [36]:

$$G = \frac{0,2 D}{C} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{n_j} \max C_j, \quad (2.5)$$

где  $C$  – стоимость двигателя, руб.;  $D$  – доход предприятия, приносимый автомобилем, руб.

Для определения оптимального варианта восстановления работоспособности двигателя, рассмотрим влияние эксплуатационных факторов на характер изменения показателей ремонтопригодности и определим пути их улучшения.

## **2.2. Характер изменения составляющих, входящих в целевую функцию оптимизации ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта**

В зависимости от результатов группирования элементов, для одновременной их замены, будут изменяться следующие составляющие целевой функции:

- потери вследствие простоя в ремонтном обслуживании;
- затраты на замену изношенных элементов объекта производства;
- потери вследствие недоиспользования ресурса элементов;
- потери вследствие дополнительного количества разборок-сборок и приработки.

С целью определения  $S^*$  в явном виде, рассмотрим в отдельности каждую составляющую целевой функции, для чего проанализируем экономические факторы (переменные), входящие в целевую функцию  $S_N$ .

## 2.2.1. Характер изменения удельных потерь дохода при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании

Следует отметить, что простой двигателя, при нахождении его в ремонтном обслуживании, рассматривается как время, необходимое для замены изношенных элементов. В течение этого времени автомобиль не участвует в производственном процессе и предприятие несёт потери дохода.

Величина потерь, согласно [51], связанная с простоями, должна суммироваться к расходам.

При определении потерь от простоев, в основе методики [57] лежит сопоставление как баланса доходов и затрат при работе автомобиля, так и при его простое.

Автомобиль, находящийся в любом видеостояния, дохода не приносит, зато имеют место некоторые затраты, к которым следует отнести накладные расходы, плату за основные фонды, амортизационные отчисления на полное восстановление и зарплату водителя, которая начисляется в зависимости от характера выполненной им работы.

Баланс затрат автомобиля, с учетом указанных выше дополнений, при нахождении его простое, примет следующий вид:

$$\mathcal{B} = D - (z_h + z_a'' + z_o + z_{3p}^{\text{пр}}), \text{ руб.} \quad (2.6)$$

где  $\mathcal{B}$  - баланс затрат автомобиля, при его нахождении в простое, руб.;  $D = 0$  – доход во времястояния автомобиля, руб.;  $z_h$  - накладные расходы, руб.;  $z_a''$  - амортизационные отчисления на полное восстановление, руб.;  $z_o$  - плата за основные фонды, руб.;  $z_{3p}^{\text{пр}}$  – зарплата водителя при простое автомобиля, которая начисляется в зависимости от длительностистояния и степени привлечения водителя к работе (работа на другом автомобиле, привлечение к ремонтным обслуживаниям или вообще не привлекается к работе).

Только при работе автомобиля, когда появляются неисправности и износ, имеют место затраты на техническое и ремонтное обслуживание. Эти затраты при

простое, приняты равными нулю, так как элементы автомобиля не изнашиваются, а старение в расчет не принимается.

Таким образом, величину потерь от простоев получают путем вычитания из баланса доходов и затрат при работе автомобиля, аналогичный баланс, при его простое, по формуле:

$$d = D - z_t - z_c - z_{ш} - z_{то} - z_a' - S_{зп}^{пп} + S_{зп}^{пп}, \text{ руб.} \quad (2.7)$$

где  $d$  – величина потерь автомобиля при простое, руб.;  $z_t$  - затраты на топливо, руб.;  $z_c$  - затраты на смазочный материал, руб.;  $z_{ш}$  - затраты на шины, руб.;  $z_{то}$  - затраты на ТО и внеплановый ремонт, руб.;  $z_a'$  - амортизационные отчисления на капитальный ремонт, руб.;  $S_{зп}$  – заработка плата водителя, руб.

По отчетным данным ЦТТ ГОКов, могут быть определены все составляющие (2.7).

Потери отостоя автомобилей, при различных вариантах замен изношенных элементов (по признаку их группирования), будут равны:

- при раздельной условной замене группы  $l_i$  элементов:

$$d_{l_i} = a_1 \cdot \sum_{j=1}^{l_i} \tau_j \text{ руб.}; \quad (2.8)$$

где  $d_{l_i}$  - потери отостоя автомобиля при раздельной замене группы  $l_i$  элементов, руб.;  $a_1$  – величина потерь прибыли в единицу времени, руб./ч.

- при возможном совмещении отдельных групп элементов для одновременной их замены:

$$d_N'' = a_1 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j, \text{ руб.} \quad (2.9)$$

где  $d_N''$  - потери отостоя автомобиля при совмещении групп элементов для одновременной их замены, руб.;  $\prod$  – произведение величин.

Следует отметить, что удельная величина времени, необходимого для замены одного элемента, с увеличением количества одновременно заменяемых элементов, уменьшается, то и потери отстоя в ремонтном обслуживании также уменьшаются. Характер изменения потерь отстоя автомобиля в ремонтном обслуживании, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов, показан на рисунке 2.1.

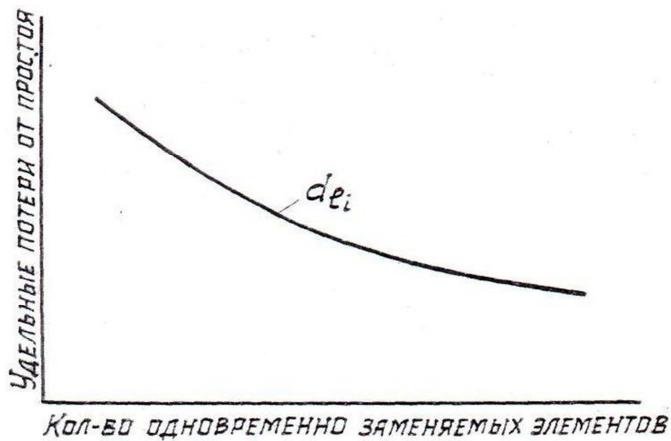


Рисунок 2.1 - Характер изменения удельных потерь от простоя, связанного с заменой, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов

Разность затрат при раздельной замене отдельных элементов по их ресурсу, и при одновременной замене групп элементов, является информацией для оценки целесообразности группирования элементов объекта производства, для одновременной их замены.

Разность в потерях, при раздельной замене групп элементов (узлов), определяется следующим выражением:

$$\Delta d_N = dN - d'_N = a_1 \cdot (\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \tau_j - \sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j), \text{ руб.} \quad (2.10)$$

где  $\Delta d_N$  - разность потерь дохода, при раздельной замене групп элементов, руб.;  $dN$  - потери дохода от простоев при раздельной замене групп элементов, руб.;  $d'_N$  - потери дохода от простоев при совмещении замены отдельных групп элементов, руб.

Эта разность, при возможном совмещении замены отдельных групп элементов, составит:

$$\Delta d'_N = dN - d''N = a_1 \cdot (\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \tau_j - \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j), \text{ руб.} \quad (2.11)$$

Экономическая эффективность восстановления работоспособности двигателя, методом замены изношенных элементов, будет тем выше, чем будет больше разность в потерях на раздельную замену элементов и одновременную замену групп элементов.

## **2.2.2. Характер изменения удельных затрат на замену изношенных элементов при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании**

Процедура замены изношенных узлов и элементов двигателей связана с необходимостью планирования затрат на оплату труда ремонтных рабочих. Величина этих затрат определяется действующей тарифной ставкой с начислениями, исходя из повременно-премиальной системы оплаты труда.

Обозначив через « $a_2$ » тарифную ставку рабочего, с учетом разряда работ и начислений, а трудоемкость замен через « $t$ », можно определить затраты на заработную плату рабочих, занятых техническим и ремонтным обслуживанием двигателей.

При различных вариантах замен изношенных элементов, значение этих затрат, составят:

- при раздельной замене элементов условной группы:

$$Z_{l_i} = a_2 \cdot \sum_{j=1}^{l_i} t_j , \text{ руб.}; \quad (2.12)$$

где  $Z_{l_i}$  – заработка рабочих при раздельной замене элементов, руб.;  $a_2$  - тарифная ставка рабочего-ремонтника, с учетом разряда работ и начислений, руб./ч.

- при возможном совмещении отдельных групп элементов для одновременной их замены:

$$\bar{Z}_N = a_2 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j , \text{ руб.}; \quad (2.13)$$

где  $\bar{Z}_N$  – заработка рабочих при совмещении замен отдельных групп элементов, руб.

Эффективность ремонтного обслуживания при котором осуществляется замена групп элементов, а не каждого элемента в отдельности по мере его отказа, покажет разность в затратах на раздельную замену элементов и при одновременной замене групп. Экономическая эффективность восстановления работоспособности

двигателя методом замены изношенных элементов, будет тем выше, чем будет больше эта разность.

Разность в заработной плате рабочих-ремонтников, при раздельной замене групп элементов, составит:

$$\Delta Z_N = Z_N - Z'_N = a_2 \cdot (\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} t_j - \sum_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j), \text{ руб.} \quad (2.14)$$

где  $\Delta Z_N$  - разность в заработной плате рабочих-ремонтников, при раздельной замене групп элементов, руб.;  $Z_N$  - заработка плата рабочих-ремонтников при раздельной замене групп элементов, руб.;  $d'_N$  - заработка плата рабочих-ремонтников при совмещении замен отдельных групп элементов, руб.

При возможном совмещении отдельных групп элементов, разность в заработной плате рабочих-ремонтников, составит:

$$\Delta Z'_N = Z_N - Z''_N = a_2 \cdot (\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} t_j - \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j), \text{ руб.} \quad (2.15)$$

Характер изменения удельных затрат на замену, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов, показан на рисунке 2.2.

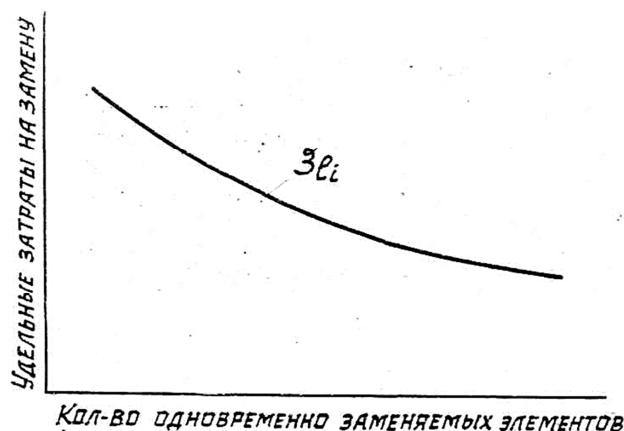


Рисунок 2.2 - Характер изменения удельных затрат на замену, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов

### **2.2.3. Характер изменения потерь вследствие недоиспользования ресурса элементов двигателя при его нахождении в ремонтном обслуживании**

Основным недостатком принудительных замен элементов двигателя является неполное использование их ресурса. Поэтому, для оценки возможности и целесообразности применения той или иной системы ремонтного обслуживания, необходимо определить ожидаемую потерю. В данной работе используется стратегия замен элементов двигателя заключающаяся в том, что назначенная группа элементов  $l_i$ , заменяется принудительно при полной реализации ресурса одного из элементов группы. Достоинство данной стратегии ремонтных обслуживаний, по сравнению со стратегией замены элементов по назначенному ресурсу, независимо от их состояния, или состояния двигателя, заключается в следующем.

Для стратегии замен по назначенному ресурсу, недоиспользуется ресурс  $l_i$  элементов заменяемых одновременно, а для указанной выше стратегии, недоиспользуются  $l_{i-1}$  элементов. Это обусловлено тем, что один элемент, из группы одновременной замены, заменяется при полной реализации своего ресурса.

Недоиспользование ресурса каждого элемента двигателя определится следующим образом:

$$\Delta x = x_j - U_i; \quad j = \overline{1, l_i}; \quad x_j > U_i \quad (2.16)$$

где  $\Delta x$ —недоиспользование ресурса отдельного элемента, км;  $x_j$ —ресурс  $j$ -го элемента, км ( $j = \overline{1, l_i}$ );  $U_i$ —ресурс  $i$ -го элемента, имеющего минимальный ресурс, км.

Недоиспользование ресурса всех элементов двигателя, заменяемых одновременно, определится:

$$\Delta x_{l_i} = \sum_{j=1}^{l_i} (x_j - U_i), \quad \text{км.} \quad (2.17)$$

где  $\Delta x_{l_i}$ —недоиспользование ресурса всех элементов двигателя, км.

Теперь, необходимо установить величину недоиспользования ресурса элементов двигателя в стоимостном выражении, и воспользуемся следующими рассуждениями.

Мы знаем, что каждый элемент имеет потребительскую стоимость. Эксплуатация элемента двигателя в процессе производства предусматривает полный его износ. Происходит полный перенос стоимости элемента на стоимость вновь создаваемого продукта. В ЦТТ ГОКа стоимость созданного продукта в единицу времени оценивается через величину дохода или прибыли данного предприятия, отнесенной к объекту производства, а затем к его элементу, через его стоимость.

Следовательно, недоиспользование ресурса элемента двигателя в потерях отразится следующим образом: через потерю стоимости элемента и через потерю дохода, приносимого объектом производства и отнесенного к стоимости элемента.

Потеря стоимости элемента, при недоиспользовании ресурса, вычисляется следующим образом.

При  $N$  заменах до капитального ремонтного обслуживания, потери стоимости элементов, составят:

$$g_1^N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right)^{k_1}, \text{ руб.} \quad (2.18)$$

где  $g_1^N$  - потери стоимости элементов при  $N$  заменах, руб.;  $c_j$  - стоимость  $j$ -го элемента, руб.;  $\frac{x_j - U_i}{x_j}$  доля недоиспользованного ресурса  $j$ -го элемента;  $k_1$  – коэффициент, указывающий на нелинейный характер зависимости (определяется опытным путем).

Поскольку в практике определение коэффициента  $k_1$  чрезвычайно затруднительно, в большинстве случаев его принимают равным единице. Поэтому, полученные зависимости потерь, стоимости элементов с недоиспользованным ресурсом, аппроксимируются линейными функциями [68].

Теперь, надо определить величину потерь дохода от недоиспользования ресурса элементов двигателя.

Произведение доли дохода приходящегося на стоимость элемента, как части двигателя и её величины недоиспользованного ресурса, характеризует величину потери дохода от недоиспользования ресурса элементов.

Общая величина потерь дохода, при  $N$  заменах до капитального ремонтного обслуживания, составит:

$$g_2^N = \frac{D}{L \cdot C} \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i) = \xi \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i), \text{ руб.} \quad (2.19)$$

где  $g_2^N$  - общая величина потерь дохода при  $N$  заменах до капитального ремонто-го обслуживания, руб.;  $L$ -величина пробега двигателя до ремонтного обслуживания, км;  $C$  – стоимость двигателя, руб.;  $\xi$  – коэффициент аппроксимирования линейной функцией.

Общая величина потерь, вследствие недоиспользования ресурса деталей двигателя, для  $g_1^N$  и  $g_2^N$ , определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} g^N &= g_1^N + g_2^N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right) + \xi \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i) = \\ &= \sum_{i=1}^N \left[ \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot \left( \frac{x_j - U_i}{x_j} \right) + \xi \cdot \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i) \right], \text{ руб.} \end{aligned} \quad (2.20)$$

где  $g^N$  - общая величина потерь, вследствие недоиспользования ресурса, руб.

Анализ полученного аналитического выражения для определения экономических потерь, вследствие недоиспользования ресурса при восстановлении работоспособности двигателя путем замены изношенных элементов показывает, что они растут с увеличением количества одновременно заменяемых элементов, как это показано на рисунке 2.3.

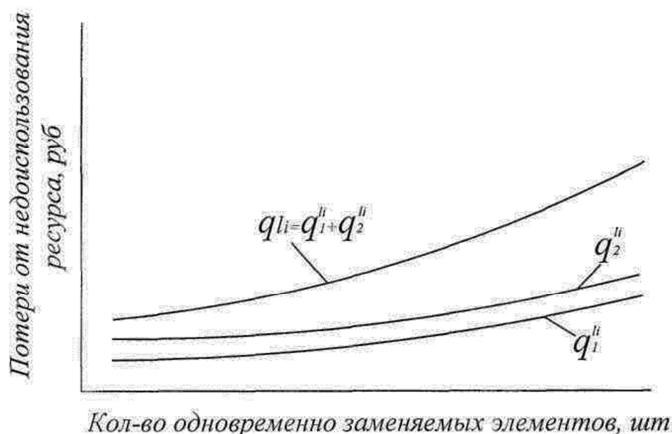


Рисунок 2.3 - Характер изменения потерь от недоиспользования ресурса, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов

## 2.2.4. Характер изменения потерь вследствие дополнительного количества разборок-сборок и приработка при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании

Известно, что в зависимости от стратегии замен изношенных элементов, будет изменяться общее количество разборок-сборок двигателя до капитального ремонтного обслуживания. Стало быть будут изменяться и затраты на выполнение этих работ. Вот с чем связано рассмотрение этого вопроса.

Наибольшее количество разборок-сборок для замены изношенных элементов будет при стратегии замен по отказу каждого элемента. Однако, по мере увеличения числа одновременно заменяемых элементов, число разборок-сборок будет уменьшаться, что непременно приведет к сокращению расходов на ремонтное обслуживание двигателя.

Практика показывает, что каждой разборке-сборке сопутствует последующая приработка рабочих поверхностей сопряжений элементов. Такая ситуация отрицательно оказывается на сроке службы элементов и двигателе в целом.

Для определения эффективности одновременной замены групп элементов необходимо оценить потери в стоимостном выражении от проведения дополнительного количества разборок-сборок и последующих приработок, которые приводят к снижению ресурса, и как следствие, к уменьшению дохода при эксплуатации двигателя.

За срок службы до капитального ремонтного обслуживания двигателя потеря дохода, с учётом линейности, составит:

$$G_N = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} 0,2 \cdot D \cdot \max_{l_i} \frac{C_j}{C} = \frac{0,2 \cdot D}{C} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \max_{l_i} C_j, \text{ руб.} \quad (2.21)$$

где  $G_N$  - потеря дохода за срок службы двигателя до капитального ремонтного обслуживания, руб.

При раздельной замене элементов величина потерь, вследствие приработки, определится по формуле:

$$G'_N = \frac{0,2 \cdot D}{C} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} C_j, \text{ руб.} \quad (2.22)$$

где  $G'_N$  - величина потерь, вследствие приработки при раздельной замене элементов, руб.

Приращение потерь на дополнительные разборки-сборки и приработку при раздельной замене элементов, по сравнению с одновременной заменой групп элементов, составит:

$$\Delta G_N = G'_N - G_N = \frac{0,2 \cdot D}{C} [\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} C_j - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} \max_{l_i} C_j], \text{ руб.} \quad (2.23)$$

где  $\Delta G_N$  - приращение потерь на дополнительные разборки-сборки и приработку при раздельной замене элементов, по сравнению с одновременной заменой групп элементов, руб.

Разность потерь между раздельной и одновременной групповой замены элементов, показывает экономичность групповых замен.

На рисунке 2.4 показан характер изменения удельных потерь, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов.

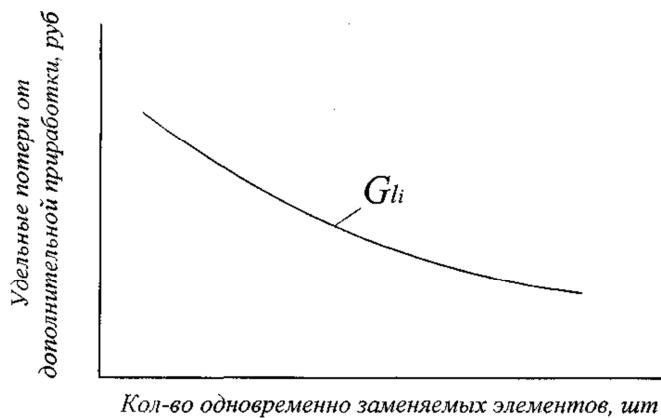


Рисунок 2.4 - Характер изменения удельных затрат от дополнительного числа разборок-сборок и приработка, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов

Значение целевой функции (2.2), с учетом полученных зависимостей, выразится следующим образом:

$$\begin{aligned}
 S^* = & a_1 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} \tau_j + a_2 \cdot \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^{l_i} t_j + [\sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (\frac{x_j - U_i}{x_j}) + \xi \cdot \sum_{j=1}^{l_i} c_j \cdot (x_j - U_i)] \\
 & + \frac{0,2 \cdot D}{C} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{l_i} (\max_{l_i} C_j) \rightarrow \min S, \text{ руб.}
 \end{aligned}$$

$U_i \in U$   
 $X_j \in x$   
 $N > 0$

(2.24)

где  $\xi = \frac{D}{L - C}$  - коэффициент аппроксимирования линейной функцией.

Теперь, сделаем анализ поведения составляющих целевой функции, в зависимости от плотности одновременных замен (количества одновременно заменяемых элементов).

Мы видим, что уменьшение общего количества ремонтных обслуживаний тесно связано с изменением (увеличением) количества одновременно заменяемых элементов. А это, естественно, приведет к уменьшению затрат на оплату труда рабочим-ремонтникам ( $Z_N$ ), сокращению времени простоев в ремонтном обслуживании ( $\tau_N$ ), уменьшению количества разборок-сборок, снижению затрат на разборочно-сборочные работы и потерю на приработку ( $G_N$ ). Тем не менее, при восстановлении работоспособности двигателей методом одновременной замены групп элементов с различной долговечностью, у части элементов будет иметь место недоиспользование ресурса и связанные с этим потери  $g_N$ , что приведёт к увеличению расходов на запасные части.

Ситуация, при которой одни затраты уменьшаются, а другие растут, являясь при этом функцией одного и того же фактора, способствует нахождению решения, минимизирующее общие затраты. На рисунке 2.5 показана графическая интерпритация данного решения. Кроме того, данная ситуация позволяет построить алгоритм оптимизации целевой функции.

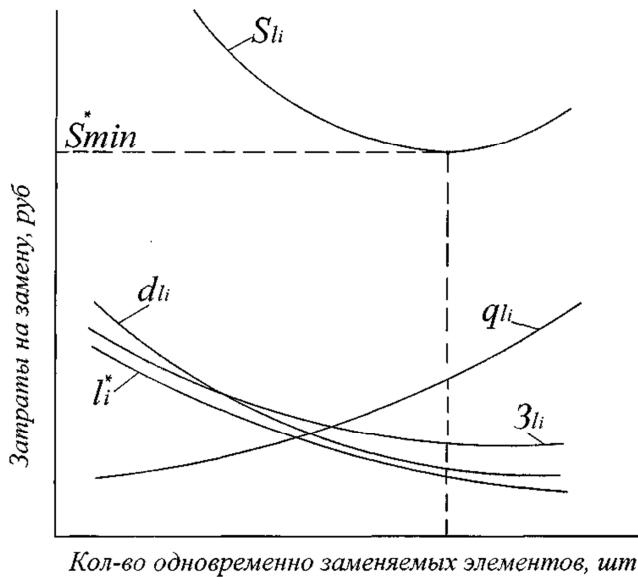


Рис. 2.5 - Характер изменения затрат на замену, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов

### 2.3. Разработка алгоритма, оптимизации целевой функции, выбора стратегии ремонтных обслуживаний двигателя

При разработке алгоритма оптимизации стратегии ремонтного обслуживания двигателей, в основу положена идея алгоритма «киевский веник», которая заключается в формулировке правил последовательного сужения множества конкурентно-способных вариантов [68]. Многошаговый процесс этого алгоритма позволяет на каждом шаге «отметать» некоторое множество вариантов  $\Omega_j$ , о котором в процессе работы алгоритма, становится известным, что оно не содержит оптимального варианта.

По сравнению с алгоритмом, как «киевский веник», такие универсальные методы как метод полного перебора, динамического программирования, случайного поиска и др., являются менее рациональными. В основу разработанного алгоритма выбора оптимальной стратегии ремонтных обслуживаний двигателей, в настоящей работе был применён этот метод.

Теперь необходимо сформулировать задачу выбора оптимальной стратегии ремонтных обслуживаний двигателей, как задачу оптимального управления.

Предположим, что  $P(U_i, \Delta) \in P$  есть вектор фазовых координат. Под этим подразумевается работоспособность, надёжность и т.п. двигателей при заданной наработке (пробеге) и после проведения соответствующего ремонтного обслуживания из множества  $\Delta.r(\Delta, U_i) \in R$ . Это будет вектор управления, который заключается в выборе соответствующего типа ремонтной базы.

В процесс управления введём некоторые начальные и конечные условия:

$$\begin{aligned} P^0(U_i, \Delta) &\in E_0 \\ (2.25) \end{aligned}$$

$$P^T(U_i, \Delta) \in E_T$$

Состояние двигателя в начальный и конечный период его эксплуатации, при проведении ремонтных обслуживаний в различных ремонтных базах, характеризуется заданными ограничениями (2.25).

Получение оптимальной стратегии будет достигнуто при минимизации следующей величины:

$$S^* = S[P(U_i, \Delta), r(U_i, \Delta)] \rightarrow \min, \text{ руб.} \quad (2.26)$$

Проработаем алгоритм оптимизации целевой функции (2.24), при ограничениях (2.25), по отдельным шагам.

Для наглядности, представим алгоритм в виде схемы, приведенный на рис. 2.6. На оси  $\Omega$  откладываются величины ресурсов узлов  $U_i$ , на оси ординат  $\Delta k$  – величины затрат на ремонтное обслуживание, соответствующие различным типам ремонтных баз. Расстояние между точками, в плоскостях секущую ось абсцисс, соответствует значениям общих затрат.

Выполняются шаги под номером  $i$  по оси  $\Omega$  и определяется тип ремонтной базы  $k$ , которому соответствует минимум затрат.

Шаг первый. Отыскивается база, обеспечивающая минимальные затраты на замену первого узла с ресурсом  $U_i$  (см. рисунок 2.6). Определяется величина затрат на замену узла  $U_i$  по всем возможным базам, т.е. вычисляются значения

$Q_1^1, Q_2^1, \dots, Q_i^1, \dots, Q_{k-1}^1, Q_k^1$ . По значениям этих затрат, устанавливается база, обеспечивающая минимум затрат -  $\min_{\Delta k} Q_k^1$ .

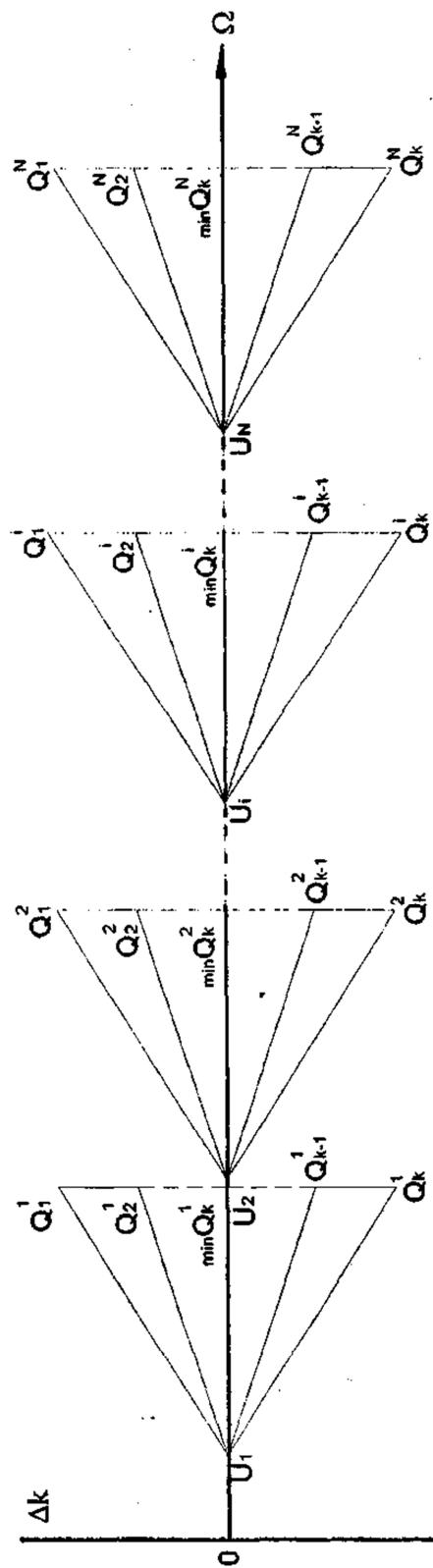


Рисунок 2.6. Схема алгоритма с усечением рассматриваемых вариантов после одной итерации

На оси  $\Delta k$ , точка соответствующая  $\min_{\Delta k} Q_k^1$ , является искомой и принимается в расчет, для определения оптимальной стратегии замен изношенных элементов. Все другие варианты отсеиваются. Это обусловлено тем, что функция (2.24) выпукла и поэтому допускается усечение всех вариантов, не относящихся к оптимальной траектории [65].

Шаг второй. Определяются затраты по всем базам для замены второго узла с ресурсом  $U_2$ , т.е. рассчитываются значения  $Q_1^2, Q_2^2, \dots, Q_i^2, \dots, Q_{k-1}^2, Q_k^2$ . Существованием второй оптимальной точки на оси  $\Delta k$ , является следующее условие:

$$Q_k^{*2,1} = \min_{\Delta k} [\min_{\Delta k} (Q_k^1 + Q_k^2)], \text{ руб.} \quad (2.27)$$

где  $Q_k^{*2,1}$  – величина затрат на замену узлов, руб.

Введём расстояние между секущими ось  $\Omega$ , плоскостями  $\Delta k$ . Если имеется ломаная, не содержащая  $\min_{\Delta k} Q_k^1, \min_{\Delta k} Q_k^2, \dots, \min_{\Delta k} Q_k^i, \dots, \min_{\Delta k} Q_{k-1}^{N-1}, \min_{\Delta k} Q_k^N$ , то она не может претендовать на то, чтобы считаться решением задачи. Поскольку ломаные образуют множество  $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_i, \dots, \omega_N$ , которые отбрасываются на каждом шаге, происходит сужение конкурентно-способных вариантов.

В соответствии с рекуррентным выражением, получим:

$$Q_{ik} = \min_{\Delta k} [\min_{\Delta k} (Q_k^i + Q_k^{i+1})], \text{ руб.} \quad (2.28),$$

В результате чего происходит «отметание» не конкурентно способных вариантов на каждом шаге. Перемещение по оси  $\Omega$  продолжается до выполнения условия  $i = N, k = K$ . Полученная оптимальная траектория обладает таким свойством, при котором любой её отрезок снова является оптимальной траекторией.

Поскольку здесь значительное количество вариантов не анализируется, данный алгоритм является предпочтительным. С другой стороны, рациональность варианта может привести к увеличению вероятности пропуска оптимального варианта.

В расчетах целесообразно использовать алгоритм, при котором «отметание» вариантов происходит не на каждом шаге по  $U_i$ , а через несколько шагов (см. рисунок 2.7). Тогда минимум величины затрат определится в соответствии с выражением:

$$\min_{\varphi} \{Q_1^i, Q_2^i, \dots, Q_k^i, \dots, Q_K^2\}, \text{ руб.} \quad (2.29)$$

где  $\varphi$  - количество итераций, после которых происходит усечение.

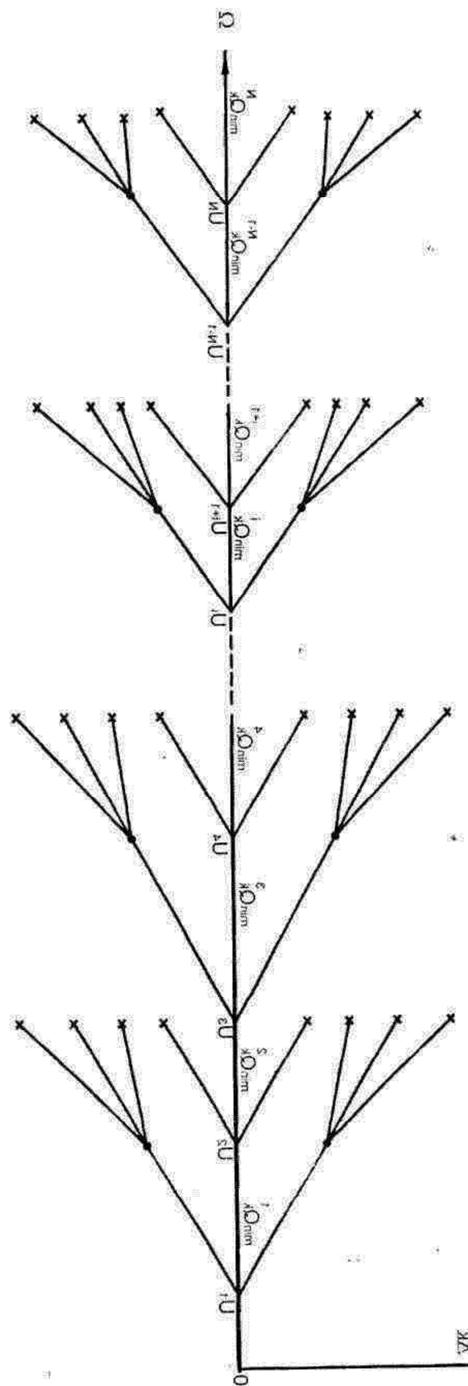


Рисунок 2.7. Схема алгоритма с усечением рассматриваемых вариантов после двух итераций

Затем анализируются другие варианты, которым соответствует минимум затрат. Усечение этих вариантов происходит после нескольких итераций, число которых устанавливается заранее. В общем виде рекуррентное соотношение, по ко-

торому осуществляется расчет оптимальной стратегии ремонтного обслуживания, примет следующий вид:

$$Q_{NK}^* = \min_k \sum_{i=1}^N (S_{ik} + Q_k^{i-1}), \text{ руб.} \quad (2.30)$$

где  $Q_{NK}^*$  – затраты оптимальной стратегии ремонтного обслуживания, руб.;  $Q_k^{i-1} = S_{i-1,k} + Q_k^{i-2}$ .

В дальнейшем в настоящей работе, приведенные метод и алгоритм, будут использованы для выбора и обоснования оптимальной стратегии восстановления работоспособности автомобильного двигателя ЯМЗ-240Н, после определения необходимых характеристик (затраты, долговечность узлов и др.).

## **2.4. Формирования и выбор оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей**

### **2.4.1. Математическое описание изменения эксплуатационных затрат по рассматриваемым вариантам структуры ремонтного обслуживания двигателей**

Известно, что изменения стоимости двигателя и эксплуатационных затрат до и после проведения ремонтного обслуживания в зависимости от пробега, носят нелинейный характер. Эти зависимости можно описать уравнениями регрессии вида[118]:

$$Y = A_0x^0 + A_1x^1 + A_2x^2 + \dots + A_nx^n + \dots, \quad (2.31)$$

где  $Y$  – значение функции;  $A$  – коэффициенты регрессии;  $x$  – значение аргумента.

Функция, представленная в виде суммы сходящегося степенного ряда, позволяет найти её значения с любой степенью точности. Для её решения, формулу 2.31 надо представить в виде системы линейных алгебраических уравнений.

Методы решения систем линейных алгебраических уравнений, используемых на практике, условно можно разделить на две группы:

- точные методы;
- методы последовательных приближений.

Наибольший интерес при решении технических задач представляют точные методы. Эти методы характеризуются тем, что с их помощью возможно, проделав конечное число операций, получить точные значения неизвестных коэффициентов. При этом предполагается, что коэффициенты в правой части системы точны, а все вычисления проводятся без округлений. Чаще всего вычисления проводятся в два этапа. На первом этапе система преобразуется в более простой вид, а на втором – решают упрощенную систему и получают значения неизвестных коэффициентов [9,100].

Простейшим из точных методов является метод исключений. Преобразовывая уравнения системы, добиваются того, что во всех уравнениях, кроме одного, будет исключаться одно из неизвестных. Затем исключается второе неизвестное, третье и т.д. В результате получается система, решение которой не представляет особого труда. К этому методу следует отнести: схему Гаусса с выбором главного элемента; компактную схему Гаусса; схему Жордано с обратным ходом, схему Жордано без обратного хода и др.

В настоящей работе, для определения коэффициентов регрессии применена схема Жордано без обратного хода. Преимущество этой схемы состоит в том, что при её применении не требуется обратный ход при определении неизвестных коэффициентов. Во всём остальном, принципиальных отличий нахождения коэффициентов, при решении систем линейных алгебраических уравнений, по сравнению с другими выше упомянутыми схемами, нет.

Коэффициенты регрессии определены по специально разработанной программе «Ремонт» [84,85, 86] Белгородским областным управлением статистики.

Подставляя найденные значения коэффициентов в уравнение 2.31, можно определить остаточную стоимость и эксплуатационные затраты при любом пробеге агрегата.

Блок-схема алгоритма и последовательность шагов для определения неизвестных коэффициентов уравнения 2.31, по методу Жордано без обратного хода, представлена в приложении 1.

Обработка данных по определению коэффициентов уравнений, описывающих изменение затрат в зависимости от пробега с применением схемы Жордано без обратного хода, на примере двигателя ЯМЗ-240Н, выполнена на ЭВМ.

#### **2.4.2. Выбор вариантов и показателей ремонтопригодности**

На предприятиях горнодобывающей промышленности применяется значительное количество вариантов организации ремонтного обслуживания двигателей, отличающихся друг от друга структурой и периодичностью ремонтных обслуживаний. Надо отметить, что структура каждого варианта характеризуется количеством ремонтных обслуживаний, их содержанием и затратами на их проведение. Для двигателей карьерного транспорта чаще всего применяют следующие варианты ремонтного обслуживания:

- восстановление работоспособности только выполнением капитальных ремонтных обслуживаний (КР – КР - ...);
- восстановление работоспособности путем чередования предупредительного (ПР1) и капитального (КР) ремонтных обслуживаний (ПР1 – КР – ПР1 – КР - ...);
- восстановление работоспособности путем выполнения последовательно двух предупредительных (ПР1 и ПР2) и капитального (КР) ремонтных обслуживаний (ПР1 – ПР2 – КР – ПР1 – ПР2 – КР - ...).

При выборе оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей, необходимо определить показатели ремонтопригодности ( $L_{\text{аг}}^{\text{сп}}$ ,  $C_{\Sigma}$ ,  $C_{\text{уд}}$ ) по каждому из рассматриваемых вариантов и сравнить их между собой. Методика определения численных значений приведена в ГОСТ 13377-75 [24].

Средний ресурс двигателя определяется по формуле:

$$L_{ar}^{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (l_0 + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{1+3} l_{ij}), \quad (2.32)$$

где  $L_{ar}^{cp}$  - средний ресурс двигателя до списания, км;  $n$  – количество подконтрольных двигателей, шт.;  $l_0$  – ресурс нового двигателя до его постановки на первое ремонтное обслуживание, км;  $i$  – количество ремонтных циклов ( $i = 1, 2, 3, \dots, N$ );  $l_{ij}$  – межремонтный ресурс двигателя, км;  $j$  – количество проводимых ремонтных обслуживаний за цикл. Для варианта КР – КР - ...,  $j = 1$ ; для варианта ПР1 – КР - ...,  $j = 2$ ; для варианта ПР1 – ПР2 – КР - ...,  $j = 3$ .

Средние суммарные затраты, учитывающие стоимость двигателя и расходы на поддержание его в работоспособном состоянии, можно определить по формуле:

$$C_{\Sigma} = \frac{1}{n} \sum_i^n (C_0^{\min} + \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^{1+3} C_{ij}^{\min}), \quad (2.33)$$

где  $C_{\Sigma}$  - средние суммарные затраты стоимости двигателя и расходов на поддержание его в работоспособном состоянии, руб.;  $C_0^{\min}$  – величина минимальных суммарных затрат на поддержание двигателя в работоспособном состоянии к моменту проведения первого ремонтного обслуживания, руб.;  $C_{ij}^{\min}$  - величина минимальных суммарных затрат на поддержание двигателя в работоспособном состоянии после проведения  $j$ -го ремонтного обслуживания, руб.

Удельные затраты на 1 км пробега двигателя определяются по формуле:

$$C_{уд} = \frac{C_0^{\min} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{1+3} C_{ij}^{\min}}{l_0 + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{1+3} l_{ij}}, \quad (2.34)$$

Для определения средних суммарных затрат по поддержанию двигателя в работоспособном состоянии, напрашивается вывод о необходимости располагать исходными данными по изменению стоимости двигателя и эксплуатационных затрат в процессе его эксплуатации.

### 2.4.3. Обоснование ограничений при выборе оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей

При выборе оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей следует руководствоваться необходимым и достаточным критериями. Необходимый и достаточный критерии это своего рода ограничения, которые характеризуют работоспособность двигателя в определенные периоды его эксплуатации. К таким ограничениям следует отнести минимально допустимый пробег  $L_{min}$  и предельно допустимые удельные затраты на 1000 км пробега  $C_{pb}^{уд}$  в после ремонтный период.

Ограничения, необходимые для определения оптимальности принимаемого решения, имеют следующий вид:

$$L_{mp} \geq L_{min}, \quad (2.35)$$

$$C_{pb}^{уд} = \min \frac{Q_i}{L_{mp}} 1000, \quad (2.36)$$

где  $L_{mp}$  – межремонтный пробег двигателя после проведения ремонтного обслуживания, км;  $L_{min}$  – минимально допустимый пробег двигателя после проведения ремонтного обслуживания (ПР или КР), км;  $C_{pb}^{уд}$  - фактические удельные затраты на 1000 км пробега после проведения ремонтного обслуживания (ПР или КР), руб./1000 км;  $Q_i$  – затраты на техническое и текущие ремонтные обслуживания двигателя после проведения  $i$ -го ремонтного обслуживания (ПР или КР), руб.

Согласно 2.35, одним из ограничений является минимально допустимый пробег  $L_{min}$  после проведения ремонтного обслуживания. Введение этого ограничения необходимо для определения пробега, при котором дальнейшая эксплуатация двигателя экономически нецелесообразна. Величина минимально допустимого пробега устанавливается из расчета 90% вероятности того, что ресурс всех подконтрольных двигателей попадёт в заданный интервал.

Вторым ограничением (2.36), при определении оптимальности принимаемого решения, является минимум удельных затрат на 1000 км пробега. Введение этого

ограничения позволит окончательно выбрать тот вид ремонтного обслуживания, у которого затраты на 1000 км пробега были бы наименьшими. Величина минимально допустимых значений удельных затрат на 1000 км пробега определяется опытным путем, но только применительно к тому варианту поддержания и восстановления работоспособности двигателя, который применяется в данной отрасли народного хозяйства.

#### **2.4.4. Разработка блок-схемы алгоритма выбора оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателя**

Для решения задачи по выбору оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний, разработан алгоритм, блок-схема которого приведена на рисунке 2.8. В основу алгоритма положен принцип сравнения рассматриваемых вариантов. При решении поставленной задачи вводятся исходные данные начальных функций предполагаемых ремонтных обслуживаний и определяются минимальные суммарные затраты на техническое и ремонтное обслуживание двигателя  $C_{\Sigma_{pb}}$ . По данным  $C_{\Sigma_{pb}}$  находится величина пробега  $L_{ipb}$ , на котором должен выполняться тот или иной вид ремонтного обслуживания, и удельные затраты на 1000 км пробега -  $C_{ipb}^{уд}$ .

Величина затрат на 1000 км пробега после проведения ремонтного обслуживания определяется по формуле:

$$C_{ipb}^{уд} = \frac{C_{\Sigma_{pb}}}{L_{in} - L_{(i-1)n}}, \text{ руб./1000 км} \quad (2.37)$$

где  $C_{ipb}^{уд}$  – удельные затраты на ремонтное обслуживание двигателя после проведения очередного ремонтного обслуживания, руб./1000 км;  $C_{\Sigma_{pb}}$  - суммарные минимальные затраты на техническое и ремонтное обслуживание после проведения последнего ремонтного обслуживания, руб.;  $L_{ipb}$  – пробег двигателя после

проведения очередного ремонтного обслуживания, км;  $L_{(i-1)n}$  – пробег двигателя до проведения очередного ремонтного обслуживания, км.

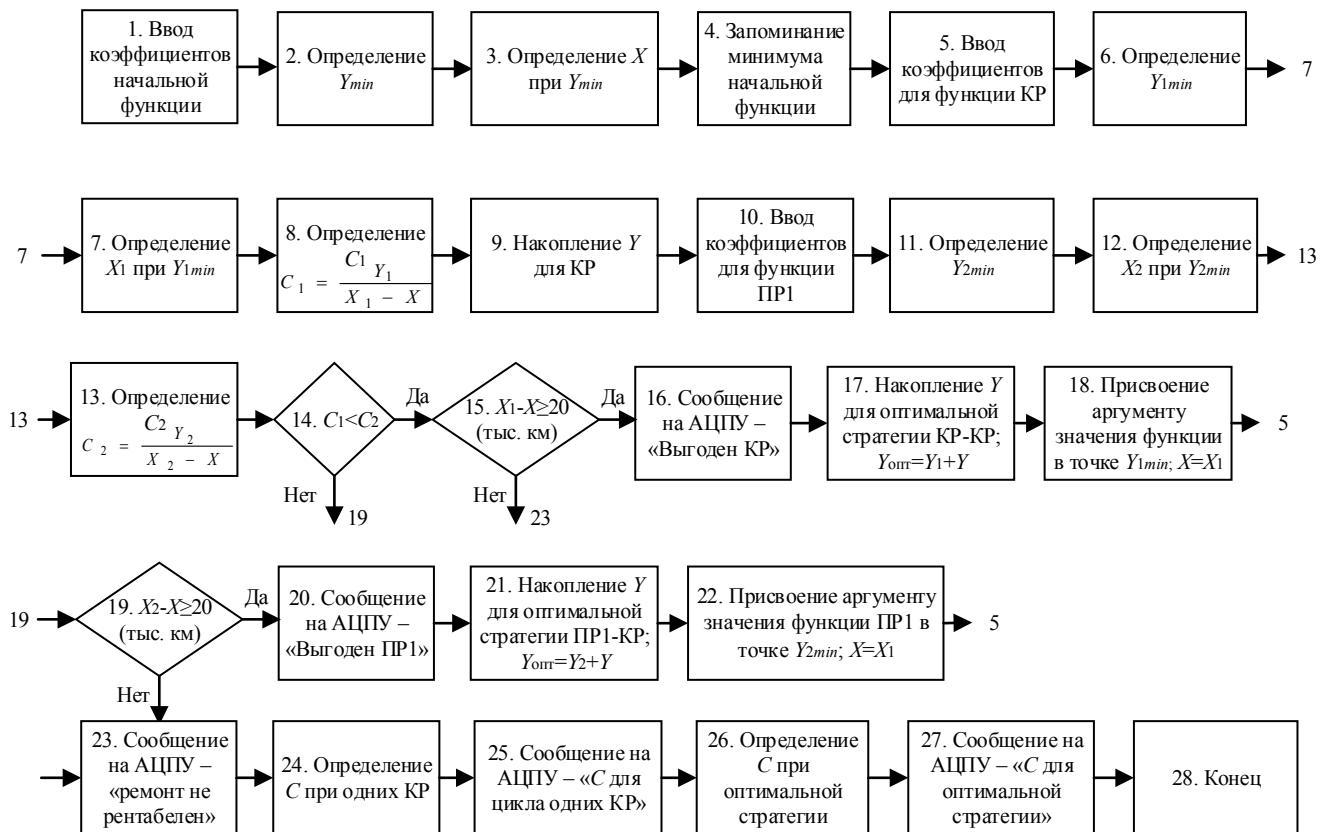


Рисунок 2.8 - Блок-схема алгоритма выбора оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н:

$Y_{min}$  - минимальные значения затрат на поддержание двигателя в работоспособном состоянии до проведения ремонта;  $Y_{1min}, Y_{2min}$  - то же, после проведения, соответственно, КР и ПР1;  $Y_{opt} = Y_1 + Y$  - суммарные значения затрат на поддержание двигателя в работоспособном состоянии при  $C_1 < C_2$ ;  $Y_{opt} = Y_2 + Y$  - то же, при  $C_2 < C_1$  и  $X_2 - X_1 \geq 20$ тыс. км для оптимальной стратегии ПР1 - КР;  $X, X_1, X_2$ -значение ресурса двигателя при известной величине, соответственно,  $Y_{min}, Y_{1min}, Y_{2min}$ ;  $C_1, C_2$  - удельные затраты при проведении соответственно КР и ПР1

Необходимым условием выбора оптимального ремонтного обслуживания служит ограничение 2.35. Даже если по всем ремонтным обслуживаниям выполняется условие  $L_{mp} \geq L_{min}$ , оптимальность принимаемого решения проверяется по условию 2.36, согласно которому затраты на 1000 км пробега должны быть наименьшими.

Если межремонтный пробег после очередного ремонтного обслуживания будет меньше минимально допустимого ( $L_{mp} < L_{min}$ ), то выполнение ремонтного обслуживания (ПР или КР) нецелесообразно и двигатель подлежит списанию

Зная суммарные значения  $C_{\Sigma_{\text{рв}}}$  и  $L_{\text{рв}}$  для каждого рассматриваемого варианта, определяем значение  $C_{\text{рв}}^{\text{уд}}$ . Оптимальным вариантом структуры ремонтного обслуживания двигателя будет считаться тот, у которого затраты на 1000 км пробега, в период до капитального ремонтного обслуживания, будут наименьшими (при условии, что  $L_{\text{mp}} \geq L_{\text{min}}$ ).

Выбор оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателя, в соответствии с приведенной блок-схемой алгоритма (см. рисунок 2.8), определяется в последовательности, приведенной в приложении 2.

Обработка данных, для определения оптимальной структуры ремонтных обслуживаний, на примере двигателя ЯМЗ-240Н, выполнена с применением ЭВМ.

Для выбора оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта с применением разработанного алгоритма, необходимо располагать исходными данными показателей ремонтопригодности по рассматриваемым вариантам.

## Выводы по главе

Для формирования и выбора оптимальной структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей необходимо:

1. Разработать целевую функцию формирования оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателя.
2. Изучить характер изменения составляющих, входящих в целевую функцию оптимизации ремонтного обслуживания двигателей, а именно, удельных потерь дохода, удельных затрат на замену изношенных элементов, изменения потерь вследствие недоиспользования ресурса элементов и изменения потерь вследствие дополнительного количества разборок-сборок и приработки при нахождении двигателя в ремонтном обслуживании.

3. Разработать блок-схему и алгоритм оптимизации целевой функции, выбора стратегии ремонтных обслуживаний двигателя.
4. Математически описать изменения эксплуатационных затрат по рассматриваемым вариантам.
5. Обосновать необходимые ограничения и показатели ремонтопригодности для рассматриваемых вариантов и определить оптимальную структуру и периодичность замен изношенных элементов двигателей.

## Глава 3

### Экспериментальные исследования дефектов, износов и показателей ремонтопригодности двигателей карьерного транспорта

Подтверждение теоретических положений по восстановлению работоспособности двигателей, методом замены изношенных элементов, требует проведения экспериментальных исследований.

Различают следующие методы экспериментальных исследований: лабораторные, дорожные, полигонные и эксплуатационные [31]. Не вдаваясь в детальный анализ существующих методов исследований отметим, что только эксплуатационные испытания, несмотря на их длительность, дают достаточно полную и надёжную информацию о качестве и свойствах исследуемых двигателей.

Целью эксплуатационных испытаний является накопление данных об отказах и неисправностях, затратах и потерях, изменениях показателей ремонтопригодности и другой информации за весь период наблюдений за подконтрольной партией двигателей.

Взаимосвязь износа деталей и ухудшение эксплуатационных показателей двигателей, а также производительности транспортного средства и себестоимости единицы транспортной работы позволяет обосновать и установить время постановки двигателя на целесообразный вид ремонтного обслуживания [67, 106]. Исследовав причины и характер появления дефектов, можно решать вопросы повышения ресурса двигателей карьерного транспорта и улучшения показателей ремонтопригодности, в том числе и результаты бестормозной обкатки двигателей [109, 110].

Показатель долговечности, как один из основных свойств конструкции, является наиболее достоверным критерием оценки совершенства конструкции двигателя, качества его изготовления и ремонтного обслуживания. Ресурс двигателя лимитируется в основном износом и степенью искажения геометрической формы деталей. В целях совершенствования ремонтного обслуживания, весьма важным

является изучение дефектов и износов основных деталей двигателя при поступлении их в первое капитальное ремонтное обслуживание.

Виды, периодичность и содержание ремонтных обслуживаний оказывают существенное влияние на показатели ремонтопригодности и эффективность ремонтного обслуживания. Их изучение позволит оценить предлагаемые решения по совершенствованию ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта.

При проведении экспериментальных исследований, к подконтрольным двигателям необходимо предъявить следующие требования.

Двигатели должны быть установлены только на автомобили, работающие в карьерах ГОКов и рудоуправлений (РУ) на вывозке руды или вскрышного грунта. Все подконтрольные двигатели должны быть новыми – не подвергавшиеся ранее ремонтным обслуживаниям, а техническое и ремонтное обслуживание во время их эксплуатации, должно проводиться строго в соответствии с требованиями заводских инструкций [32, 93] и Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта [81, 82].

В качестве объектов исследований были выбраны двигатели автомобилей БелАЗ, работающих в карьерах и перевозящих только руду. Загрузка автомобилей соответствовала нормам, предусмотренными инструкциями завода-изготовителя. Пробег с грузом составлял 50% от общего пробега.

Эксплуатация подконтрольных двигателей проводилась в три смены, что позволило ускорить получение результатов эксперимента.

Для проведения исследований были сформулированы основные требования к получаемой информации, методике её сбора и методу обработки информации. При этом были использованы действующие рекомендации [27, 28, 72].

### **3.1. Методика экспериментальных исследований дефектов и износов двигателей карьерного транспорта**

Цель экспериментального исследования сводится к получению необходимой статистической информации, а также её обработки для определения ресурса двигателей и их основных деталей. Особое внимание необходимо уделить изучению величины, характера и причин износа основных деталей, выявлению конструктивных недостатков двигателей, сбору и накоплению материалов, необходимых для определения трудовых и финансовых затрат на выполнение ремонтных обслуживаний и других характеристик разработанных экономико-математической моделью системы ремонтного обслуживания двигателей.

К основным этапам статистического исследования следует отнести:

- выявление и формулировка основных требований к статистической информации и методике её сбора;
- выбор методики обработки статистической информации;
- анализ полученных результатов.

#### **3.1.1. Требования к информации и методике её сбора**

Подконтрольная эксплуатация двигателей в ЦТТ ГОКов является основным источником получения статистической информации об отказах и неисправностях, затратах и потерях, связанных как с использованием самих двигателей, так и их элементов.

Для получения данных, необходимых для построения оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателя, статистическая информация должна быть достоверной, непрерывной, достаточно полной и однородной в соответствии с требованиями ГОСТ 17526-72 [29].

Подконтрольные двигатели наблюдались с момента их поступления в ЦТТ ГОКа.

Для обеспечения достоверности, полноты и непрерывности статистической информации, сбор информации был организован таким образом, что на протяжении всего срока проведения эксперимента фиксировалось появление каждой неисправности, пробег и трудоёмкость затраченная на устранение этой неисправности.

Возможные неточности при учете отказов устраивались сверкой с первичными документами (путевыми листами и нарядами на техническое и ремонтное обслуживание). При заполнении карточек учета учитывались замечания водителей и ремонтно-обслуживающего персонала.

Поскольку условия эксплуатации всех подконтрольных двигателей в карьерах ГОКов и РУ практически одинаковы, можно считать, что поступающая информация была однородной. Характеристика условий эксплуатации подконтрольных двигателей приведена в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Характеристика условий эксплуатации подконтрольных агрегатов

Признаки	Характеристика признака
Тип автомобиля	Автосамосвал БелАЗ-7548, БелАЗ-7555
Климатические условия	Центральные районы РФ
Дорожные условия	Щебенчатое покрытие (3-я категория условий эксплуатации)
Род перевозимого груза	Руда, вскрышной грунт
Нагрузка	Среднесуточный пробег – 155 км; коэффициент использования пробега – 0,5
Уровень технической оснащенности и организация технического и ремонтного обслуживания	Средние (характерные для предприятий горнодобывающей промышленности)
Периодичность ТО	ТО-1 – 1300 км; ТО-2 – 6500 км

Экспериментальные данные об отказах и дефектах деталей двигателей, работающих в сравнительно одинаковых условиях, обработаны методами математической статистики. Для определения качественных и количественных характеристик исследуемых параметров установлен объём выборки. Поскольку в основе статистического эксперимента лежит выборочный метод, то объём выборки должен быть достаточным по объему, т.е. репрезентативным. Это позволит наилучшим образом отразить характер и свойства всей совокупности и обеспечить равную возможность попадания в данный объём выборки всех исследуемых объектов. Репрезентативность выборки была обеспечена минимально допустимым объёмом, т.е. тем количеством, которое необходимо для наблюдения и статистической обработки.

Основные положения по определению количества объектов наблюдений проводимых в ЦТТ ГОКов изложены в отраслевом стандарте ОСТ 37.001.043-72 [73]. В нём приведены таблицы и нонограммы для определения количества объектов наблюдений в зависимости от закона распределения исследуемого параметра, величины допустимой относительной ошибки  $\varepsilon_x$  и доверительной вероятности  $\rho_x$ . Однако при исследовании показателей надёжности часто бывает неизвестно, какому закону подчиняется параметр, поэтому выбор количества объектов наблюдений оказывается затруднительным. Тогда количество объектов наблюдений определяется по формуле:

$$n_{ar} = \frac{\lg(1-\rho_x)}{\lg(1-\varepsilon_x)}, \quad (3.1)$$

где  $n_{ar}$  - количество объектов наблюдений, шт.;  $\varepsilon_x$  - значение величины допустимой относительной ошибки,  $\varepsilon_x = 0,05 \div 0,25$ ;  $\rho_x$  - значение показателя доверительной вероятности,  $\rho_x = 0,80 \div 0,95$ .

При  $\rho_x = 0,9$  и  $\varepsilon_x = 0,1$ , объём подконтрольной выборки составил 22 двигателя. Для обеспечения гарантии представительства выборки, количество объектов наблюдений по каждому варианту наблюдений, принято равным по 25 двигателей. Исследования были проведены в ЦТТ Лебединского и Стойленского ГОКов Министерства металлургии РФ.

Работа подконтрольных двигателей была под наблюдением технической службы ЦТТ ГОКов. Все восстановительные работы согласовывались с заинтересованными сторонами. Замена отказавших деталей проводилась только при их поломке или отказе, нарушающем нормальную работу двигателя. Попутная замена деталей не допускалась. Дефектные детали измерялись, а результаты заносились в специальные микрометражные карты (карты дефектации см. приложение 3), разработанные в отделе главного конструктора (ОГК) ЗАО «Гормаш» г. Белгорода в соответствии с существующими требованиями [29].

Основанием постановки двигателя на капитальное ремонтное обслуживание была принята утрата работоспособности базовой детали (блок цилиндров). После проведения ремонтного обслуживания (КР, ПР и т.д.), сбор информации осуществлялся в том же порядке как и до ремонтного обслуживания.

Дефекты и износы деталей двигателей, поступивших в первое капитальное ремонтное обслуживание, анализировались по результатам полученной информации. Сведения о состоянии деталей вносились в микрометражные карты. Микрометрирование деталей выполнено в соответствии с требованиями ГОСТ 14846-69 [25] специальными и универсальными мерительными инструментами.

### **3.1.2. Методика обработки экспериментальных данных отказов основных деталей двигателей**

Обработка экспериментальных данных об отказах основана на использовании основных задач математической статистики: оценке значений неизвестных параметров распределений и проверке статистических гипотез о законе распределения [89, 118].

Количественно, показатели надёжности зависят от следующих факторов: природно-климатических условий, мастерства водителя, качества запасных частей и т.д. От этих факторов зависит характер распределения отказов двигателя. Теоре-

тический закон распределения выражает не только общий характер изменения показателей надёжности, но и исключает частные отклонения, обусловленные недостатками первичной информации. Для построения же теоретического закона распределения отказов, необходимо располагать данными экспериментальных исследований. На их основе выполняется соответствующая статистическая обработка и определяется теоретический закон распределения отказов. Процесс замены опытных закономерностей теоретическими, в теории вероятностей называется процессом выравнивания статистической информации.

В теории надёжности для выравнивания опытной информации используется большое количество различных законов распределения. Наиболее часто применяется нормальный (Гаусса), экспоненциальный и Вейбулла-Гнеденко.

Нормальному закону распределения подчиняется такая случайная величина, как момент возникновения некоторых видов отказов в технических устройствах, в частности, отказов вследствие износа, когда на исправность сопряжения влияет множество, в равной степени важных факторов (режим работы, качество смазки, качество технического обслуживания и т.д.).

Экспоненциальный закон хорошо описывает внезапные отказы, которые возникают не как следствие постепенного изменения внутреннего состояния элементов системы, а лишь как следствие внешнего случайного воздействия, имеющего величину больше допустимого.

Распределение Вейбулла-Гнеденко, широко используется при изучении параметров надёжности автомобилей и их агрегатов [42, 64].

Оценка неизвестных параметров распределений проводится различными методами. Наиболее широкое применение получили следующие методы: метод моментов, метод максимального правдоподобия и метод вероятностной бумаги.

Метод вероятностной бумаги основан на том, что на вероятностной бумаге кумулятивное распределение предполагаемого закона представляется прямой линией. Получение прямой линии обеспечивается введением нелинейного масштаба по оси ординат, по которой откладывается кумулятивное распределение [89].

Этот метод прост, не требует значительных расчетов и поэтому все чаще находит применение в инженерной практике [21, 46, 72].

Метод максимального правдоподобия даёт эффективные оценки для всех без исключений распределений, однако при его использовании приходится решать систему уравнений порядка, соответствующего количеству неизвестных параметров. Решение такой системы вручную, сложно и трудоемко.

Сущность этого метода заключается в том, что на вероятностной бумаге кумулятивное распределение предполагаемого закона представляется прямой линией. Прямая линия получается введением нелинейного масштаба по оси ординат (по которой откладывается кумулятивное распределение), реже по оси абсцисс (откладывая характеристику [101]).

Ниже, приведены основные положения методики оценки параметров, с помощью вероятностной бумаги, для различных законов распределения.

**Экспоненциальное распределение.** Кривые 1 и 2, изображенные на рисунке 3.1, отвечают плотностям распределения:

- кривая 1:

$$a(l) = \lambda \cdot e^{-\lambda l}; \quad (3.2)$$

- кривая 2:

$$a(l) = \begin{cases} \lambda \cdot e^{-\lambda(l-l_0)}, & l \geq l_0 \\ 0, & l < l_0 \end{cases} \quad (3.3)$$

где  $\lambda$  – некоторый параметр распределения (интенсивность отказов);  $l$  – наработка (пробег), ч (км).

Известно, что отказы двигателей при их эксплуатации появляются не сразу, после начала его работы, а позже, по истечении некоторого времени, соответствующего пробегу  $l_0$ , называемым «порогом чувствительности». Он то и является одним из неизвестных параметров.

Следовательно, для отказов двух параметрического и экспоненциального распределения, необходимо оценить параметры  $\lambda$  и  $l_0$ .

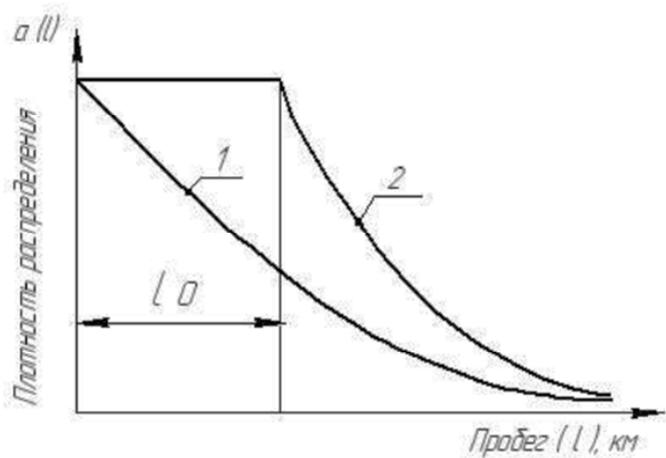


Рисунок 3.1 - Кривая распределения отказов для одного (1) и двух (2) параметрического экспоненциального закона

Для определения  $\lambda$  и  $l_0$ , на вероятностную бумагу экспоненциального распределения (см. рисунок 3.2) по оси ординат, по интервалам пробега, наносятся значения накопленных частот.

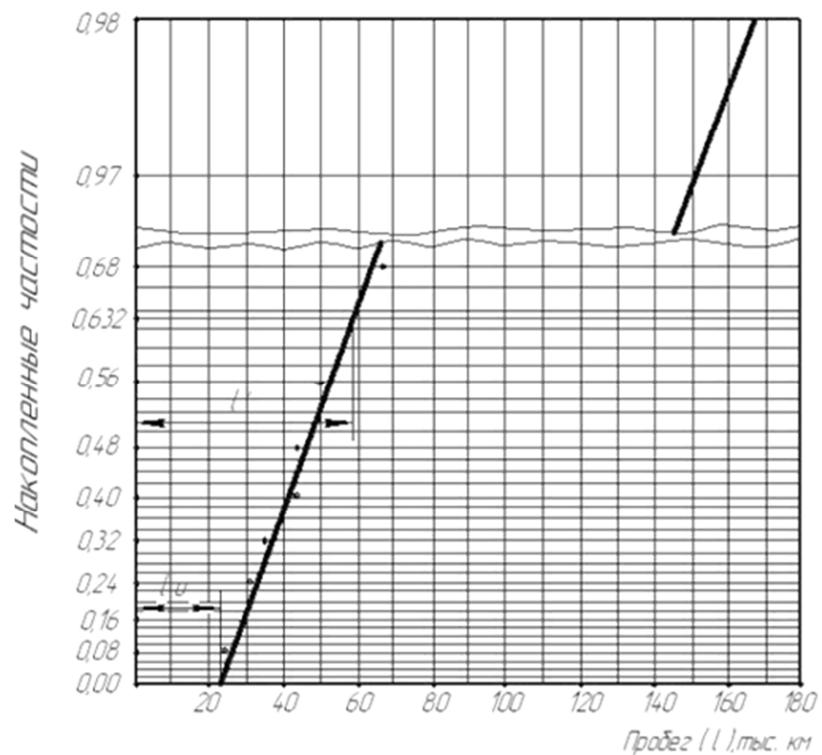


Рисунок 3.2 - Оценка параметров  $l_0$  и  $l$  с помощью вероятностной бумаги экспоненциального распределения

Затем, по найденным точкам, проводится прямая линия. При её построении, необходимо, чтобы под ней и над ней находилось равное количество точек. И чем

плотнее ложатся точки на прямую, тем выше степень согласования опытных данных с гипотезой экспоненциального распределения.

Из графика (см. рисунок 3.2), значения параметров  $l_0$  и  $\lambda$  определяются следующим образом. Точка пересечения прямой с осью абсцисс принимают за величину  $l_0$ , а затем находят значение пробега  $l'$ , соответствующего ординате 0,632.

По полученным значениям  $l_0$  и  $l'$ , вычисляют параметр  $\lambda$ :

$$\lambda = \frac{1}{l' - l_0}. \quad (3.4)$$

**Нормальное распределение.** Математическое ожидание ( $l_{cp}$ ) и среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ) являются параметрами нормального распределения.

Оценка параметров  $l_{cp}$  и  $\sigma$ , на вероятностной бумаге нормального распределения, проводится следующим образом. Как и для экспоненциального распределения, на вероятностную бумагу нормального распределения (см. рисунок 3.3), наносят значения накопленных частот по интервалам пробега. По точкам проводится прямая линия. Если точки ложатся вблизи прямой линии, это подчеркивает то, что опытные данные хорошо согласуются с нормальным распределением.

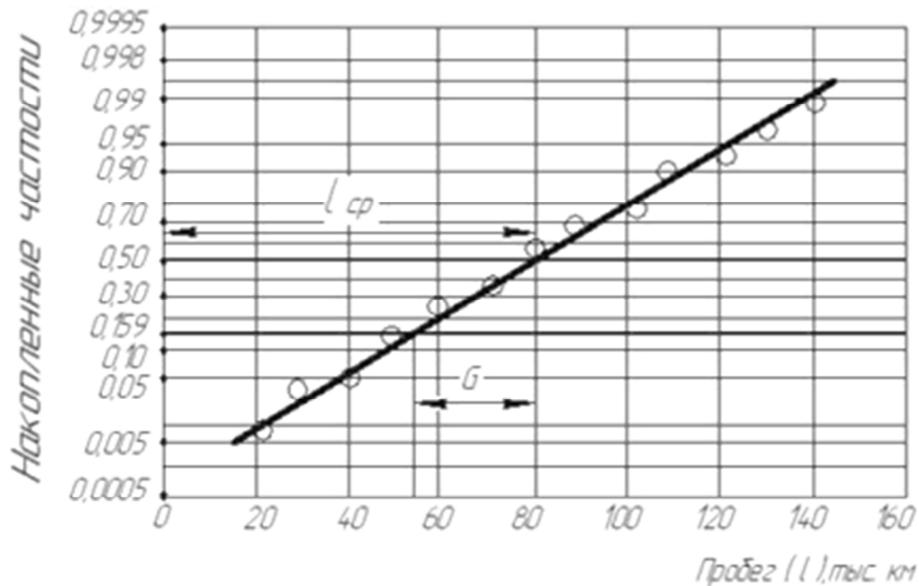


Рисунок 3.3 - Оценка параметров  $l_{cp}$  и  $\sigma$  с помощью вероятностной бумаги нормального распределения

Параметр  $l_{cp}$  равен абсциссе, соответствующей накопленной частоте 0,50; параметр  $\sigma$ , равен разности абсцисс точек с накопленными частотами 0,50 и 0,159.

**Распределение Вейбулла-Гнеденко.** Во многих случаях, как отмечалось выше, для механических систем и их элементов, распределение отказов хорошо согласуется с теоретическим распределением Вейбулла-Гнеденко.

Чтобы оценить параметры этого распределения отказов, с применением вероятностной бумаги, воспользуемся некоторыми преобразованиями [64].

Пусть параметр  $l_0$ , связан с параметрами распределения Вейбулла-Гнеденко  $\alpha$  и  $\beta$ , следующим образом:

$$\beta = l_0^\alpha , \quad (3.5)$$

где  $\alpha$  и  $\beta$  – параметры распределения Вейбулла-Гнеденко.

В этом случае, функция распределения отказов (3.6), вероятность безотказной работы (3.7) и плотность распределения (3.8), как первая производная от функции распределения отказов, будет иметь следующий вид:

$$F(l) = 1 - e^{-(\frac{l}{l_0})^\alpha}; \quad (3.6)$$

$$P(l) = 1 - F(l) = e^{-(\frac{l}{l_0})^\alpha}; \quad (3.7)$$

$$a(l) = \left(\frac{\alpha}{l_0}\right) \cdot \left(\frac{l}{l_0}\right)^{\alpha-1} \cdot e^{-(\frac{l}{l_0})^\alpha}; \quad (3.8)$$

Из выражения (3.8) при  $\alpha = 1 = 1$ , математическое ожидание ( $l_{cp}$ ), определяется как первый момент функции  $a(l) = e^{-l}$ :

$$l_{cp} = l_0 \Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right), \text{ км} \quad (3.9)$$

где  $\Gamma(x)$  – гамма функции.

В этом случае, среднее квадратическое отклонение, будет равно:

$$\sigma = l_0 \cdot \sqrt{\Gamma\left(\frac{2}{\alpha} + 1\right) - [\Gamma\left(\frac{1}{\alpha} + 1\right)]^2}, \quad (3.10)$$

$\Gamma(x)$ , в формулах (3.9) и (3.10), находятся по таблице [118].

Чтобы кумулятивное распределение получилось в виде прямой линии, вводится нелинейный масштаб по осям.

Тогда, из функции распределения отказов (3.6), будем иметь:

$$1 - F(l) = e^{-(\frac{l}{l_0})^\alpha}. \quad (3.11)$$

Прологарифмируем это выражение дважды, получим:

$$\ln \ln \frac{1}{1-F(l)} = \alpha \cdot \ln l - \alpha \cdot \ln l_0, \quad (3.12)$$

Введем следующие обозначения:

$$y = \ln \ln \frac{1}{1-F(l)}; \quad a = \alpha$$

$$x = \ln l; \quad b = -\alpha \cdot \ln l_0.$$

После соответствующего преобразования уравнение (3.12) примет следующий вид:

$$y = a \cdot x + b, \quad (3.13)$$

Уравнение (3.13) представляет собой уравнение прямой, с тангенсом угла наклона  $a = \alpha$ .

Для получения прямой линии, представляющей собой кумулятивное распределение Вейбулла-Гнеденко, в качестве масштаба по оси абсцисс принимают  $\ln l$ , оси ординат -  $\ln \ln \frac{1}{1-F(l)}$ .

На оси абсцисс, на вероятностной бумаге (см. рисунок 3.4), отложены значения  $l$ , по оси ординат – значения накопленной частоты отказов, а по специальной шкале  $y$  – значения  $\ln \ln \frac{1}{1-F(l)}$ .

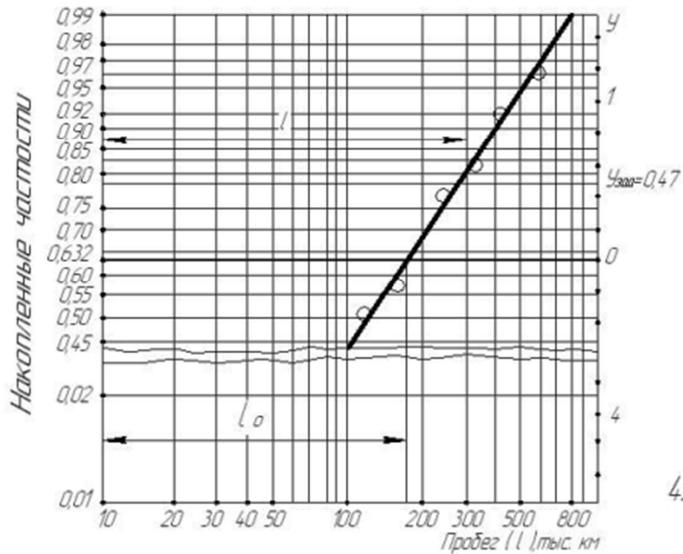


Рисунок 3.4 - Оценка параметров распределения с помощью вероятностной бумаги Вейбулла-Гнеденко

Технология определения параметров распределения по вероятностной бумаге Вейбулла-Гнеденко, заключается в следующем.

Сначала наносят на бумагу значения накопленных частостей по интервалам пробега, а затем, по полученным точкам, проводят прямую линию.

На вероятностной бумаге, параметр  $l_0$  определяется на пересечении полученной прямой с линией, соединяющей точки: 0,632 оси ординат и 0 шкалы «у».

Параметр  $\alpha$  определяется путем преобразования формулы (3.12) в следующий вид:

$$y = \alpha \cdot \ln l - \alpha \cdot \ln l_0;$$

откуда:

$$\alpha = \frac{y}{\ln l - \ln l_0}. \quad (3.14)$$

Задаваясь произвольным значением  $l$ , отличным от  $l_0$ , находим значение  $y$ , соответствующее пересечению прямой с абсциссой заданного значения  $l$ . Потом, подставляя значения  $y$ ,  $\ln l$  и  $\ln l_0$  в формулу (3.14), вычисляем величину  $\alpha$ .

По полученным параметрам распределения  $l_0$  и  $\alpha$ , вычисляем теоретическое значение по интервалам пробега функции распределения отказов  $F(l)$  по формуле (3.6), вероятность безотказной работы  $P(l)$  по формуле (3.7), плотность распределения отказов  $a(l)$  по формуле (3.8), среднее значение пробега  $l_{cp}$  по формуле (3.9) и среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  по формуле (3.10).

Оценка близости опытного распределения отказов, по отношению к теоретическому, чаще всего определяется по критерию согласия Пирсона  $\chi^2$  или критерию А.Н. Колмогорова  $\lambda_0$ .

В случаях, когда теоретическое значение параметров функции распределения неизвестны, применяется критерий согласия Пирсона  $\chi^2$ .

Рациональное применение критерия А.Н. Колмогорова  $\lambda_0$  наблюдается в тех случаях, когда объемы выборки незначительные, а теоретические значения функции распределения, известны.

В специальной литературе [46, 69] описана методика проверки статистических гипотез о законе распределения случайных величин, с применением критерия согласия Пирсона  $\chi^2$  и критерия А.Н. Колмогорова  $\lambda_0$ .

Наилучшим образом характеризующее степень изменчивости признака, среднее квадратичное отклонение является исходной величиной для определения некоторых других статистических показателей. Коэффициент вариации является одним из таких показателей, который служит характеристикой относительной степени варьирования.

При проведении исследования, очень часто появляется необходимость сопоставить меру варьирования одного и того же признака в разных выборках или разных признаков, у представителей одной выборки.

Об относительной величине варьирования можно судить непосредственно по среднеквадратичной величине только в тех случаях, когда средние арифметические значения обоих рядов, равны. При неодинаковых значениях средневзвешенной величины, средние степени изменчивости вызывают затруднения. Однако, они в значительной мере отпадают, если для характеристики варьирования воспользоваться не абсолютным, а относительным значением среднего квадратичного отклонения. Отношение среднего квадратичного отклонения  $\sigma$  к среднеарифметической величине  $l_{cp}$ , называется коэффициентом вариации:

$$v = \frac{\sigma}{l_{cp}} . \quad (3.15)$$

где  $v$  - коэффициент вариации;  $\sigma$  - среднее квадратичное отклонение, км.

### **3.2. Результаты исследования дефектов и износов основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н**

**Блок цилиндров** (деталь 240-1002010-Б).

Техническое состояние блоков цилиндров оценивалось по износам основных сопрягаемых поверхностей, а также по наиболее характерным поломкам и повреждениям. Микрометрирование проводилось по следующим поверхностям основных сопряжений: верхние и нижние пояса под гильзы цилиндров, глубина

проточек под буртик гильзы, посадочные места под наружную обойму коренных подшипников коленчатого вала, внутренние поверхности втулок под оси толкательей, внутренние поверхности втулок под распределительный вал, коробление привалочных поверхностей.

По результатам исследований [107, 108] основных поверхностей блоков цилиндрораспределительного механизма двигателей ЯМЗ-240Н, было установлено следующее.

Диаметры 67% верхних и 62% нижних посадочных поясов под гильзы цилиндров находятся в пределах допусков предусмотренных чертежами завода-изготовителя – для нижних -  $\varnothing 151^{+0,04}$  мм и для верхних -  $\varnothing 153^{+0,04}$  мм. Овальность 90% нижних и 94% верхних посадочных поясов не превышает величины 0,01 мм. Кривые распределения износов верхнего и нижнего посадочных поясов двигателей, поступивших в первое капитальное ремонтное обслуживание, показаны на рисунке 3.5.

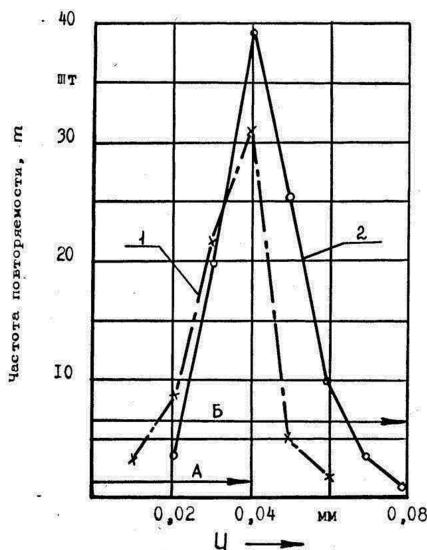


Рисунок 3.5 - Частота распределения износов посадочных поясов под гильзы цилиндров двигателей ЯМЗ-240Н:

1 – верхний посадочный пояс; 2 – нижний посадочный пояс;  
А – поле допуска по рабочему чертежу; Б – износ допустимый без ремонта

Абсолютное большинство канавок (66%) под буртик гильзы указанных двигателей находится в пределах размеров, предусмотренных чертежами -  $12 \pm 0,035$  мм. Среднее значение глубины проточки составило – 12,02 мм.

Диаметр внутренних поверхностей отверстий под ось толкателей у абсолютно-го большинства двигателей не превышает размеров допускаемых без ремонта – 22,06 мм и только 13% отверстий превысили указанный размер. Среднее значение износа указанных отверстий составило 0,06 мм.

Диаметр отверстий во втулках под опорные шейки распределительного вала у 63% двигателей соответствует значениям размера по чертежу -  $\varnothing 54^{+0,03}$  мм, а 25% отверстий не превысили размера допускаемого без ремонта -  $\varnothing 54,04$  мм. Лишь у 12% двигателей диаметр отверстий был больше 54,04 мм.

Поверхности отверстий под наружную обойму подшипников коленчатого вала в основном находятся в пределах размеров на изготовление –  $\varnothing 260^{-0,053}_{-0,080}$  мм, и только 3% блоков цилиндров по данному параметру нуждаются в восстановлении, так как их значения превысили норматив, допускаемый без ремонта -  $\varnothing 259,955$  мм.

Коробление привалочных поверхностей под головку цилиндров у 66% блоков находятся в пределах допуска на изготовление – 0,02 мм, а у 34% - не превышает норматив допустимый без ремонта – 0,05 мм.

Наружным осмотром у блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-240Н были обнаружены такие дефекты как кавитационный износ нижнего посадочного пояса – 3% и трещины проходящие через ребро жесткости – 2%.

Исследования дефектов и износов блоков цилиндров позволяют сделать вывод о том, что при поступлении двигателей в первое капитальное ремонтное обслуживание, износы и коробление основных сопрягаемых поверхностей, весьма незначительны, поэтому абсолютное их большинство пригодно к дальнейшей эксплуатации и практически не нуждаются в ремонтном обслуживании.

Графическая характеристика распределения отказов блоков цилиндров двигателей ЯМЗ-240Н, приведена на рисунке 3.6. Основные параметры этого распределения, полученные в результате статистической обработки, согласуются с законом нормального распределения и составили –  $I_{cp} = 82,5$  тыс. км,  $\sigma = 13,3$  тыс. км,  $v = 0,161$ .

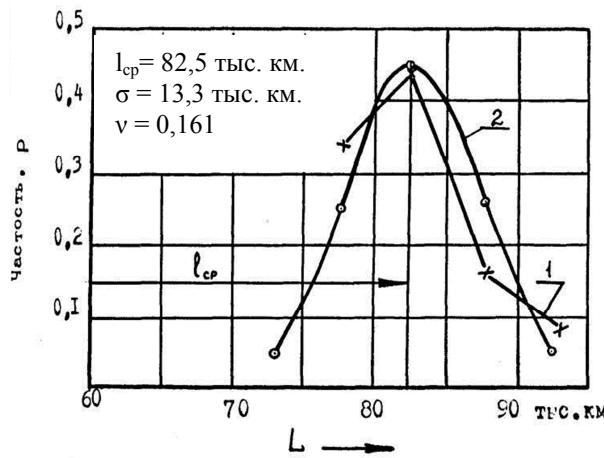


Рисунок 3.6 - Характеристика распределения отказов блока цилиндров двигателя ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Гильза цилиндров (деталь 238-1002021-А).

У гильз цилиндров микрометражу подвергались: внутренняя рабочая поверхность, верхний и нижний пояса и высота бурта [107].

Измерение диаметра гильз цилиндров по внутренней поверхности проводилось в соответствии с ГОСТ 14846-69 [25]. Наибольший износ наблюдается в зоне верхнего компрессионного кольца при положении поршня в верхней мертвей точке в плоскости, перпендикулярной оси коленчатого вала. Внутренний диаметр всех исследуемых гильз превышал размер допустимый без ремонта -  $\varnothing 130,18$  мм, а овальность у 72% гильз цилиндров превысила величину, допустимую без ремонта – 0,035 мм. Средний износ гильз цилиндров двигателей, поступающих в первое капитальное ремонтное обслуживание, составил 0,3 мм (см. рисунок 3.7.).

Диаметры верхнего и нижнего поясков гильзы у их абсолютного большинства находятся в пределах размеров, предусмотренных рабочим чертежом, соответственно, -  $\varnothing 153^{-0,05}_{-0,09}$  мм и  $\varnothing 151^{-0,05}_{-0,09}$  мм.

Высота опорного бурта гильз цилиндров двигателей также находилась в пределах размера, предусмотренных чертежом завода-изготовителя –  $12,1^{+0,03}$  мм. Только у 7% гильз цилиндров она была меньше 12,1 мм.

При наружном осмотре на зеркале всех гильз цилиндров были обнаружены риски и микротрешины.

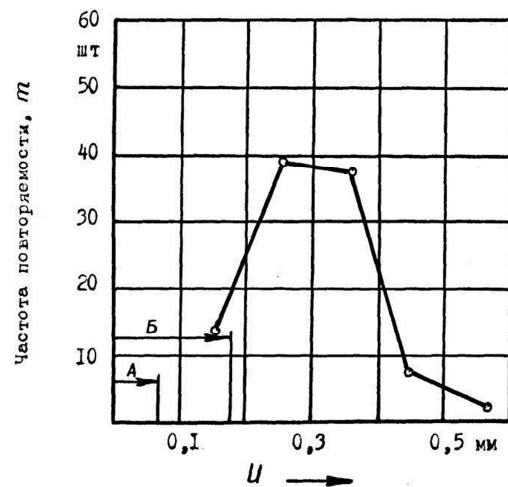


Рисунок 3.7 - Частота распределения износов гильз цилиндров двигателей ЯМЗ-240Н:

А – поле допуска по рабочему чертежу; Б – износ допустимый без ремонта

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, что все 100% гильз цилиндров подлежат восстановлению под ремонтный размер [107].

Определение теоретического закона распределения отказов и его параметров проведено путем нанесения накопленных частостей на вероятностную бумагу. Нанесение на вероятностную бумагу накопленных частостей отказов гильз цилиндров, полученных экспериментально, показало наилучшее расположение точек на бумаге нормального распределения (см. рисунок 3.8, прямая 1).

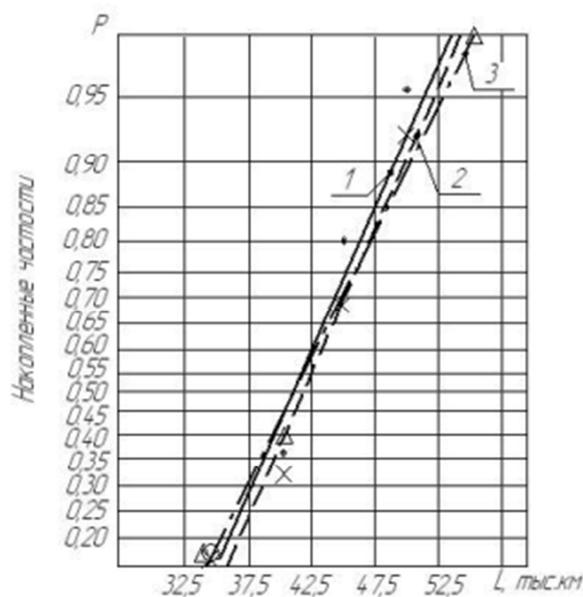


Рисунок 3.8 - Характеристика распределения отказов на вероятностной бумаге нормального закона:

1 – гильзы цилиндров; 2 – поршень; 3. кольца поршневые;

Графическая характеристика распределения отказов гильз цилиндров двигателей ЯМЗ-240Н приведена на рисунке 3.9. Основные параметры распределения, полученные в результате статистической обработки методом моментов, согласуется с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 45$  тыс. км,  $\sigma = 6,6$  тыс. км,  $v = 0,136$ .

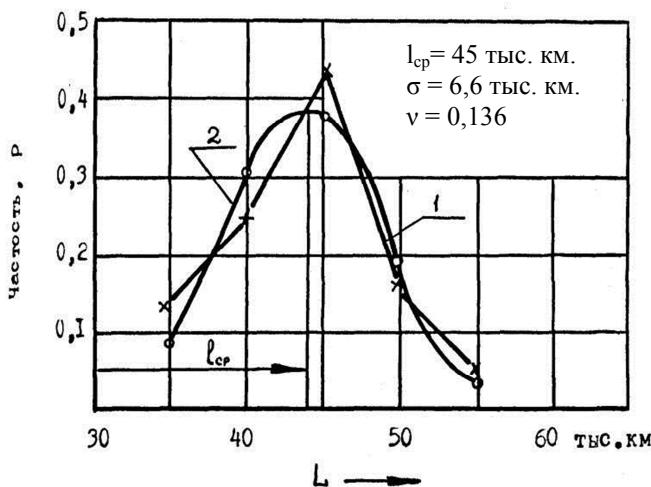


Рисунок 3.9 - Характеристика распределения отказов гильз цилиндров двигателей ЯМЗ-240 в зависимости от пробега:  
1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Головка цилиндров (деталь 240-1003014).

При исследовании головок цилиндров определялось состояние отверстий в направляющих втулках клапанов, состояние фасок седел клапанов и коробление плоскости, соприкасающейся с блоком цилиндров [107].

В результате замеров установлено, что 29% внутренних поверхностей направляющих втулок клапанов имеют размер в соответствии с рабочим чертежом -  $\varnothing 12^{+0,019}$  мм и только 20% втулок имели значения, превышающие допустимые без ремонта нормативы -  $\varnothing 12,03$  мм.

Наружным осмотром установлено, что у 75% седел клапанов ширина рабочих фасок находится в пределах  $2,0 \div 2,5$  мм для впускных и  $1,5 \div 2,3$  мм для выпускных клапанов, что соответствует показателям допустимым без ремонта. Следует отметить, что на всех поверхностях фасок были обнаружены риски и микротрещины.

Коробление плоскости головок цилиндров, соприкасающейся с блоком, не превышает допустимого значения – 0,05 мм. Среднее значение коробления составило 0,03 мм.

При исследовании отмечались редкие случаи образования трещин в выхлопном канале головок цилиндров.

Установлено, что 25% головок цилиндров выработали свой ресурс и нуждаются в восстановлении. Остальные головки пригодны для дальнейшей эксплуатации без восстановления.

Закон распределения отказов головки цилиндров и её параметров был определен путем нанесения накопленных частостей, на вероятностную бумагу. Наилучшее расположение точек, полученных экспериментально, показало на вероятностной бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.10, прямая 1), что и свидетельствует о близости опытных данных нормальному закону.

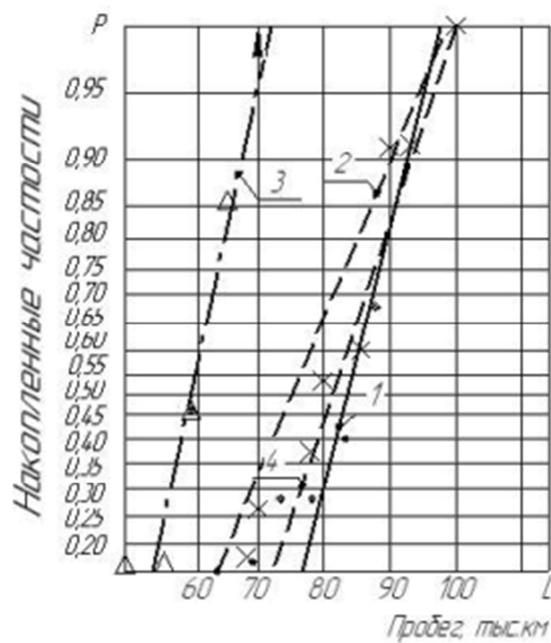


Рисунок 3.10 - Характеристика распределения отказов на вероятностной бумаге нормального закона:

1 – головка цилиндров; 2 – шатун; 3 – вал распределительный; 4 - клапана

В заключении можно сделать вывод, что ресурс головок цилиндров несколько меньше ресурса базовой детали. Для повышения её ресурса необходимо повысить износостойкость направляющих втулок клапанов, седел клапанов, а также их

стойкость к короблению. Этого можно достичь путем применения материалов с более высокими показателями износостойкости и термостойкости.

Графическая характеристика распределения отказов головок цилиндров двигателей ЯМЗ-240Н приведена на рисунке 3.11. Основные параметры распределения, полученные в результате статистической обработки методом моментов, согласуются с законом нормального распределения и составили -  $I_{cp} = 82,0$  тыс. км,  $\sigma = 11,1$  тыс. км,  $v = 0,135$ .

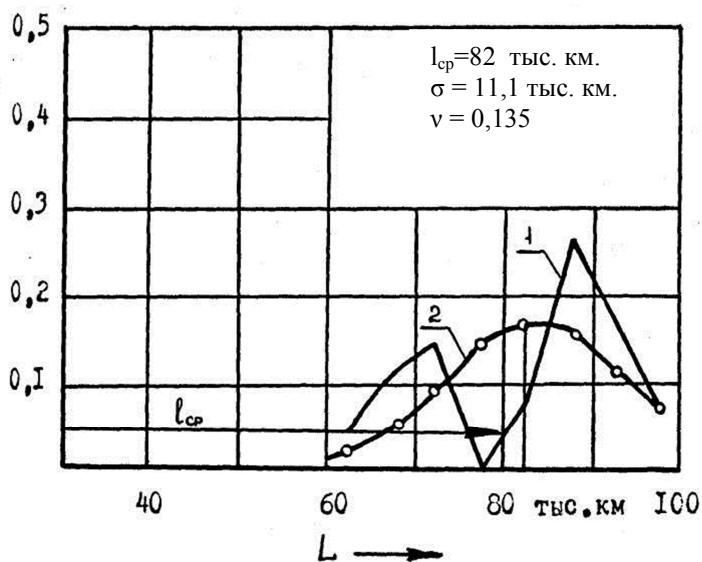


Рисунок 3.11 - Характеристика распределения головок цилиндров двигателя ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $I_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Поршень (деталь 238Н-1004015-Б2).

Контроль поршней проводился по наружной поверхности юбки, внутренней поверхности отверстий под поршневой палец и высоте поршневых канавок под компрессионные и маслосъемные кольца. Результаты исследований показали следующее [107].

Износ юбки поршня измерялся на расстоянии 153 мм от днища, так как в этом месте наблюдается максимальный износ. Средний износ юбки поршней составил 0,14 мм.

На техническое состояние двигателя (дымление, угар масла, падение мощности и т.д.), значительное влияние оказывает износ поршневых канавок. Канавки под поршневые кольца изнашиваются неравномерно по окружности, поэтому замер

их проводился в 4-х точках, а за величину износа принималось среднее значение. Как видно из рисунка 3.12, у двигателей, поступивших в первое капитальное ремонтное обслуживание, износ канавок под компрессионные кольца колеблется от 0,15 мм до 0,70 мм, а под маслосъемные кольца, от 0,10 мм до 0,45 мм. Средние износы канавок под компрессионные кольца составили 0,39 мм, 0,32 мм, 0,29 мм, под маслосъемные кольца – 0,24 мм и 0,21 мм. Наибольшему износу подвергается канавка под верхнее компрессионное кольцо. Соотношение износов канавок под компрессионные кольца можно принять равным: 1,0 : 0,826 : 0,688; под маслосъемные кольца – 1,0 : 0,88.

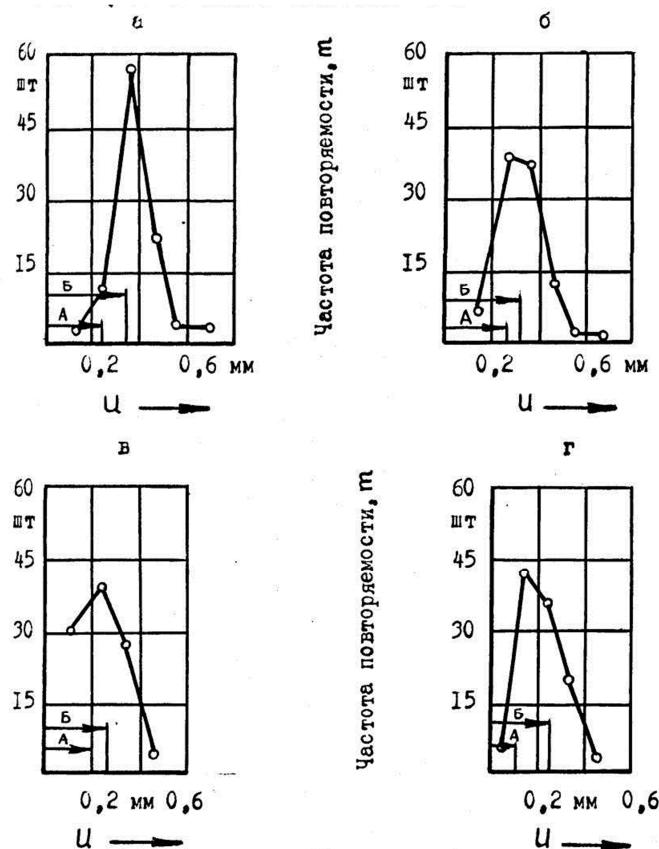


Рисунок 3.12 - Частота распределения износов канавок поршней под поршневые кольца двигателей ЯМЗ-240Н:

а – под верхнее компрессионное кольцо; б – под второе компрессионное кольцо; в – под третье компрессионное кольцо; г – под маслосъемное кольцо; А – поле допуска по рабочему чертежу; Б – износ допустимый без ремонта

Диаметр внутренней поверхности отверстий под поршневой палец у 43% поршней превысили значения допустимые без ремонта -  $\varnothing 50,01$  мм и подлежат замене.

Наружным осмотром на юбках поршней обнаружены риски и надиры.

Нанесение накопленной частоты отказов поршней на вероятностную бумагу, наилучшее расположение точек показало на бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.8, прямая 2).

Исследования показали, что 100% поршней по своему техническому состоянию не пригодны к дальнейшей эксплуатации и подлежат замене.

Графическая характеристика распределения отказов поршней двигателей ЯМЗ-240Н, приведена на рисунке 3.13. Основные параметры распределения, полученные в результате статистической обработки методом моментов, согласуется с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 45,5$  тыс. км,  $\sigma = 7,5$  тыс. км,  $v = 0,164$ .

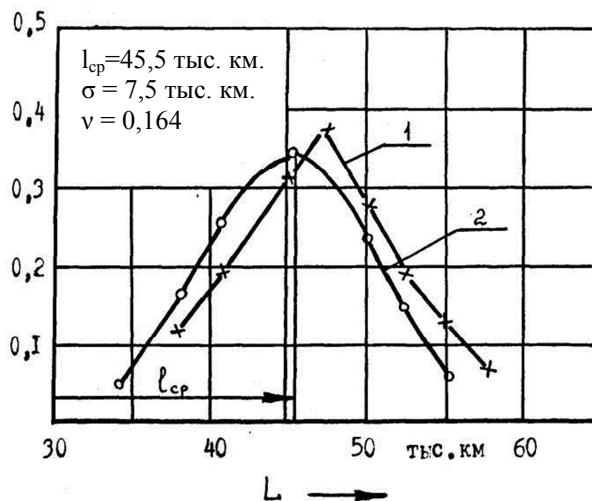


Рисунок 3.13 - Характеристика распределения отказов поршней двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Пальцы поршневые (деталь 236-1004020).

Данные микрометрирования показали, что 90% пальцев по наружному диаметру находятся в пределах допуска на изготовление –  $\varnothing 50_{-0,008}$  мм и только 10% имели износ в пределах  $0,009 \div 0,01$  мм, что соответствует нормативам допустимым без ремонта. Средний износ пальцев по наружному диаметру составил 0,006 мм.

Микрометраж поршневых пальцев показал, что их износы при пробеге 80,0 – 90,0 тыс. км незначительны (0,005–0,007 мм), и они не лимитируют ресурс двигателя до капитального ремонтного обслуживания [107].

На рисунке 3.14 показана характеристика распределения отказов поршневых пальцев двигателей ЯМЗ-240Н. Основные параметры распределения, полученные в результате статистической обработки методом моментов, согласуются с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 88,5$  тыс. км,  $\sigma = 13,3$  тыс. км,  $v = 0,153$ .

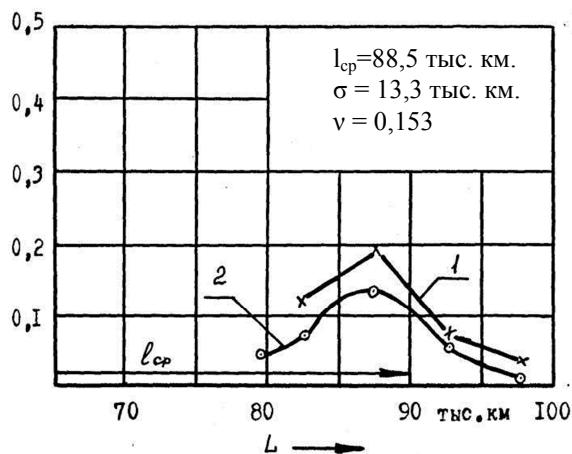


Рисунок 3.14 - Характеристика распределения отказов поршневых пальцев двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Кольца поршневые (деталь 236-1004030).

Техническое состояние поршневых колец обычно оценивается по их радиальному износу и износу по высоте.

Как показывает практика [79, 96], радиальный износ поршневых колец не оказывает существенного влияния на техническое состояние двигателя, поэтому в данной работе исследовались лишь износы поршневых колец по высоте.

Установлено, что износ поршневых колец не одинаков. Наибольший износ имеет верхнее компрессионное кольцо, за ним следует второе и далее третье, а минимальный износ был установлен у нижнего маслосъемного кольца. На рисунке 3.15 показано распределение износов компрессионных колец. Средний износ компрессионных колец равен, соответственно, 0,33 мм, 0,26 мм, 0,19 мм, маслосъемных – 0,13 мм и 0,12 мм. Соотношение износов первого, второго и третьего компрессионных колец составил – 1,0 : 0,803 : 0,594[103].

Зазор в стыке для компрессионных колец в среднем составил 3,8 мм, для маслосъемных – 3,2 мм.

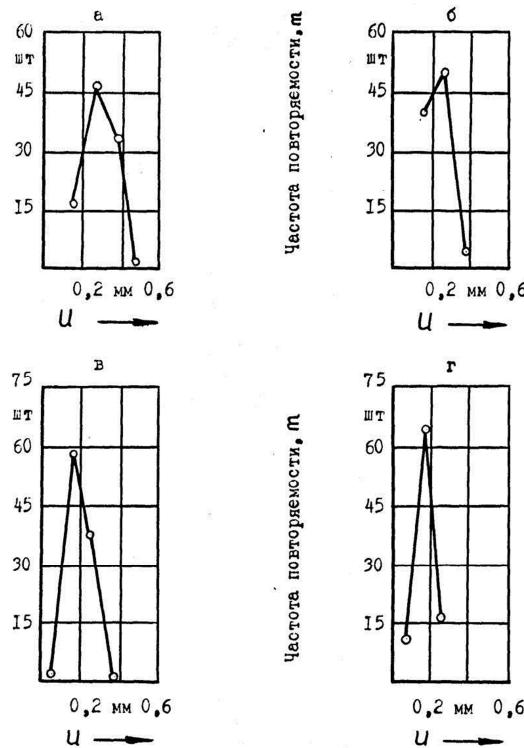


Рисунок 3.15 - Частота распределения износов поршневых колец двигателей ЯМЗ-240Н:  
а – верхнее компрессионное кольцо; б - второе компрессионное кольцо;

в – третье компрессионное кольцо; г – маслосъемное кольцо

Выполненные исследования позволяют сделать вывод, что все поршневые кольца при поступлении двигателя в первое капитальное ремонтное обслуживание подлежат замене.

Как и у поршней, лучшее расположение точек накопленных частостей отказов поршневых колец, оказалось на вероятностной бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.8, кривая 3).

Графическая характеристика распределения отказов верхних компрессионных колец двигателей ЯМЗ-240Н, показана на рисунке 3.16. Основные параметры распределения, полученные в результате статистической обработки методом моментов, согласуются с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 45,0$  тыс. км,  $\sigma = 7,5$  тыс. км,  $v = 0,166$ .

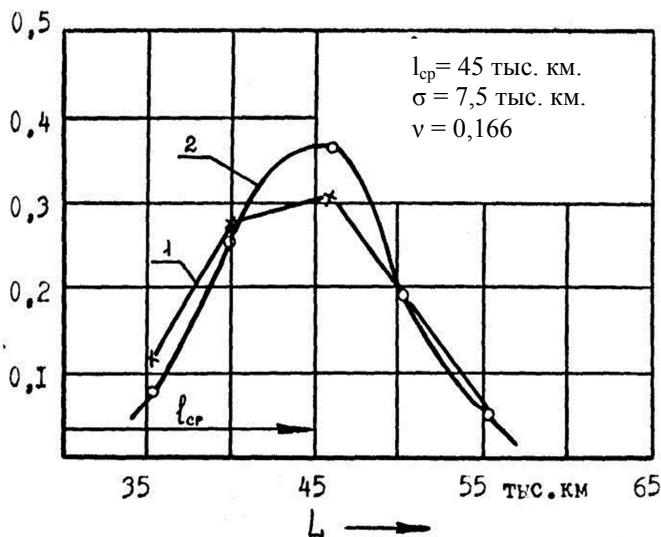


Рисунок 3.16 - Характеристика распределения отказов поршневых колец двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Шатун (деталь 240-1004045).

Распределение износов втулок верхних головок шатунов по внутренней поверхности показано на рисунке 3.17. 79% втулок имеет износ  $0,01 \div 0,03$  мм, что не превышает допустимых значений без ремонта, а их овальность у 50% двигателей равна  $0,03 \div 0,04$  мм. Средний износ втулки составил 0,025 мм [107].

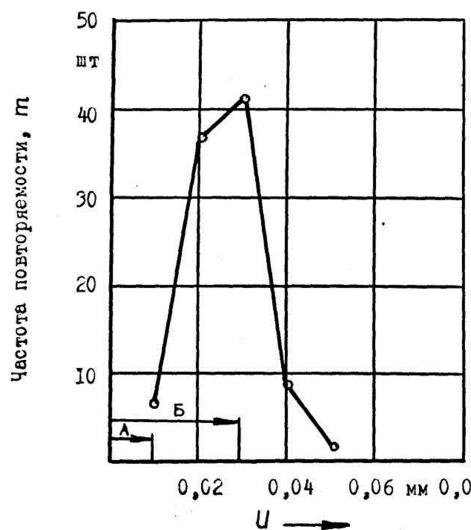


Рисунок 3.17 - Частота распределения износов втулки верхней головки шатуна двигателей ЯМЗ-240Н:

А – поле допуска по рабочему чертежу; Б – износ допустимый без ремонта

Увеличение диаметра отверстий нижней головки шатуна больше допустимого, наблюдается у 28% двигателей.

Расстояние между осями отверстий верхней и нижней головок у всех шатунов не превышает значений допустимых без ремонта – 297,87 мм.

Результаты исследований показывают, что 50% шатунов имеют овальность отверстия втулки верхней головки шатуна 0,03 мм и более и поэтому подлежат восстановлению.

Как и у поршневых кольцах, лучшее расположение точек накопленных частот отказов шатунов, оказалось на вероятностной бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.11 кривая 2).

Для повышения надежности и долговечности шатунов следует повысить износостойкость втулки верхней головки шатуна и жесткость нижней головки.

Характеристика распределения отказов шатунов двигателей ЯМЗ-240Н показана на рисунке 3.18. Параметры распределения отказов, полученные в результате статистической обработки методом моментов, согласуются с законом нормального распределения и составили –  $I_{cp} = 84,5$  тыс. км,  $\sigma = 11,73$  тыс. км,  $v = 0,138$ .

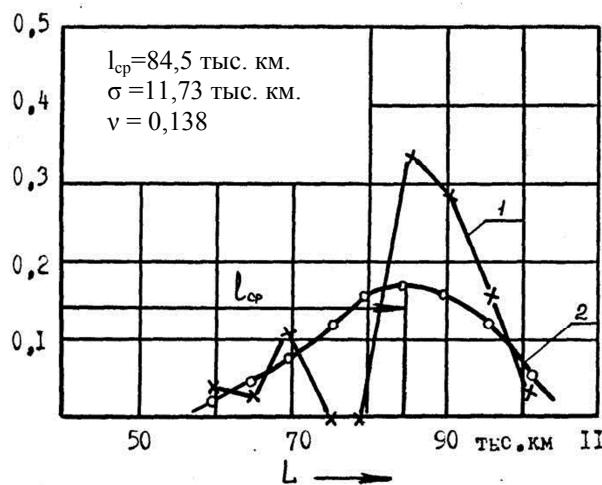


Рисунок 3.18 - Характеристика распределения отказов шатунов двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:  
1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $I_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Вал коленчатый (деталь 240-1005020-Г).

Распределение износов шатунных шеек коленчатого вала, двигателей поступающих в первое капитальное ремонтное обслуживание, приведено на рисунке 3.19. Анализ полученных результатов показал [107], что 19% коленчатых валов имеют

диаметр шатунных шеек в пределах размеров допустимых без ремонта независимо от ремонтного размера, а у 70% коленчатых валов их износ не превышает 0,07 мм. Диаметр коренных опор коленчатого вала при этом находится в пределах размеров заданных чертежом завода-изготовителя –  $\varnothing 191,92_{-0,02}$  мм. Среднее значение износа шатунных шеек составляет 0,05 мм, коренных – 0,01 мм. У незначительной части шатунных шеек наблюдаются микротрешины, а у 28% двигателей имели место задиры, являющиеся следствием проворота вкладышей.

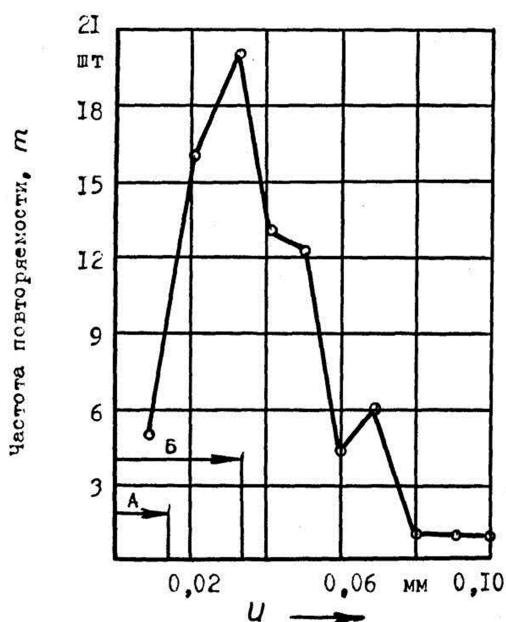


Рисунок 3.19 - Частота распределения износов шатунных шеек коленчатого вала двигателей ЯМЗ-240Н:  
А – поле допуска по рабочему чертежу; Б – износ допустимый без ремонта

Биение по средней коренной опоре у 2% коленчатых валов находится в пределах допуска на изготовление – 0,04 мм. У 66% двигателей биение коленчатых валов по средней опоре было в пределах  $0,05 \div 0,09$  мм, что соответствует биению допустимому без ремонта и только 28% коленчатых валов имели биение, которое превышало допустимое без ремонта – 0,09 мм.

Овальность шатунных шеек в пределах допуска на изготовление (0,01 мм) наблюдалось у 83% коленчатых валов, у 10% - овальность была в пределах  $0,011 \div 0,015$  мм, что соответствует значениям допустимым без ремонта. У 7% коленчатых валов овальность превысила 0,015 мм. Овальность же коренных опор коленчатых валов практически равна нулю.

Наружным осмотром у двигателей ЯМЗ-240Н установлены следующие дефекты: излом вала – 3%, выкрашивание беговой дорожки коренных опор (питтинг) – 5%, цвета побежалости – 2%.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы: 28% коленчатых валов требуют правки и восстановления шатунных шеек под ремонтные размеры, 4% коленчатых валов подлежат замене (ввиду их излома).

Опытное распределение отказов, наиболее близко согласуется с законом нормального распределения (см. рисунок 3.20, прямая1).

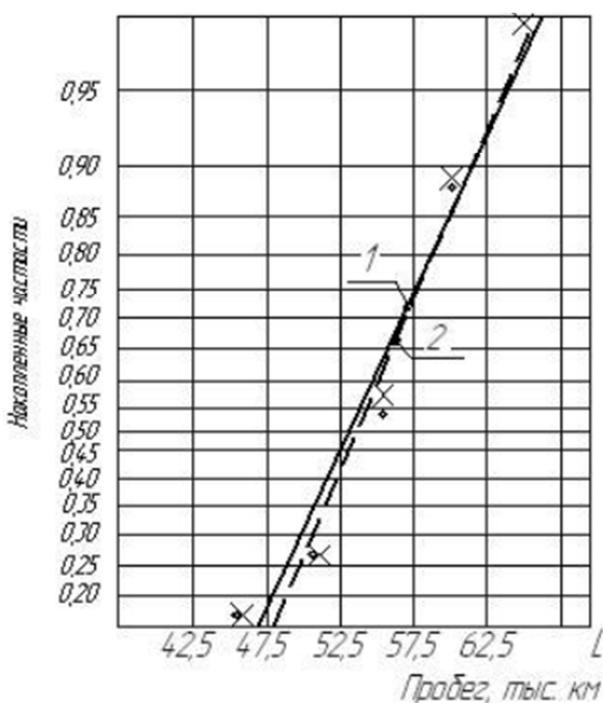


Рисунок 3.20 - Характеристика распределения отказов на вероятностной бумаге нормального закона:

1 – вал коленчатый; 2 – вкладыши шатунные

Характеристика распределения отказов коленчатого вала двигателей ЯМЗ-240Н показана на рисунке 3.21. Параметры распределения отказов, полученные по результатам статистической обработки методом моментов, согласуются с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 61,5$  тыс. км,  $\sigma = 6,87$  тыс. км,  $v = 0,111$ .

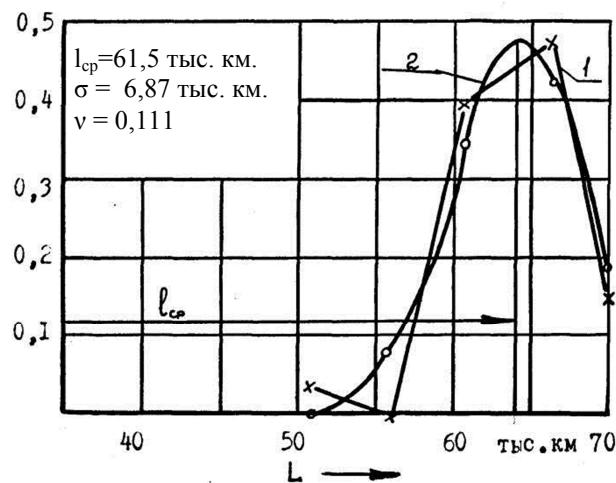


Рисунок 3.21 - Характеристика распределения отказов коленчатого вала двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Вкладыши шатунных подшипников (деталь 236-1000104).

Состояние шатунных вкладышей определялось по износу антифрикционного слоя в их средней части, так как края вкладышей изнашиваются незначительно.

Необходимо отметить, что верхние вкладыши изнашиваются больше чем нижние. Исследованиями установлено, что у 27% вкладышей износ не превышает 0,11 мм, что допустимо при эксплуатации, у 73% вкладышей износ превысил 0,11 мм. Из рисунка 3.22 видно, что среднее значение износа вкладышей двигателей ЯМЗ-240Н составляет 0,1 мм.

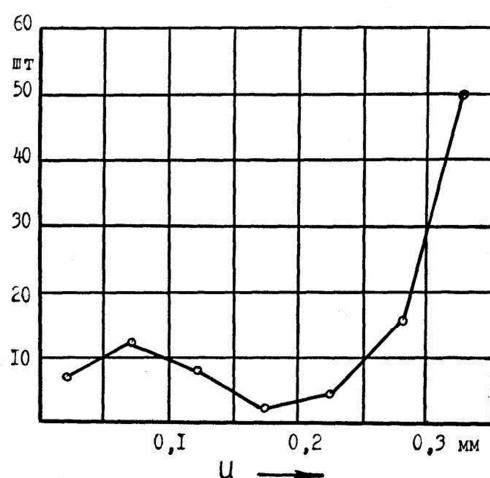


Рисунок 3.22 - Частота распределения износов шатунных вкладышей двигателей ЯМЗ-240Н

28% двигателей ЯМЗ-240Н поступили в ремонт с проворотом вкладышей [107].

Соотношение износов верхних и нижних вкладышей составляет 1,8 : 1,0.

Наружным осмотром на поверхностях определенной части вкладышей обнаружены риски и следы подплавления.

Нанесение накопленной частоты отказов шатунных вкладышей на вероятностную бумагу, наилучшее расположение точек показало на бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.20, прямая 2).

Результаты исследований показывают, что около 80% двигателей поступающих в первое капитальное ремонтное обслуживание, требуют замены вкладышей.

На рисунке 3.23 показаны характеристики распределения отказов шатунных вкладышей двигателей ЯМЗ-240Н. Параметры распределения отказов, полученные по результатам статистической обработки методом моментов, согласуются с законом нормального распределения и составили –  $I_{cp} = 57,0$  тыс. км,  $\sigma = 7,0$  тыс. км,  $v = 0,122$ .

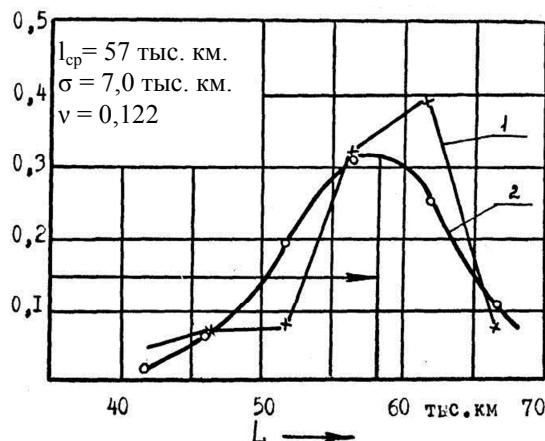


Рисунок 3.23 - Характеристика распределения отказов шатунных вкладышей двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $I_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Вал распределительный (деталь 240-1006015).

Техническое состояние распределительного вала определялось по степени износа опорных шеек и кулачков, а также биение вала по средней опорной шейке.

Замеры показали [107], что износ опорных шеек распределительных валов колеблется от 0,01 мм до 0,06 мм, причем, у 93% опорных шеек размер соответствует

ствует допустимому без ремонта -  $\varnothing 53,885$  мм. При этом среднее значение износа опорных шеек равно 0,024 мм. Распределение износов опорных шеек приведено на рисунке 3.24.

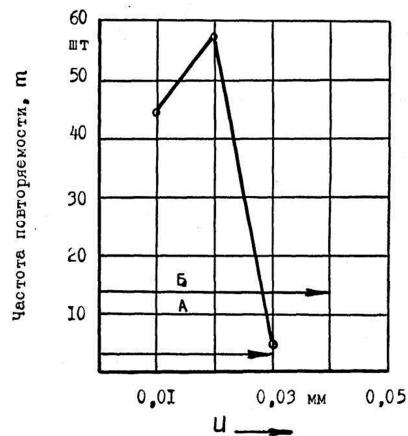


Рисунок 3.24 - Частота распределения износов опорных шеек распределительного вала двигателей ЯМЗ-240Н:  
А – поле допуска по рабочему чертежу; Б – износ допустимый без ремонта

Высота кулачков распределительных валов не превышает допустимые значения без ремонта – 42,1 мм. Среднее значение износа впускных и выпускных кулачков распределительных валов составило, соответственно, 0,05 мм и 0,06 мм, что значительно меньше величины допустимого износа, равного 0,1 мм.

Биение распределительных валов по средней опорной шейке у 49% двигателей находилось в пределах допуска на изготовление – 0,035 мм, 26% имели изгиб  $0,035 \div 0,045$  мм, что не превышает биение допустимое без ремонта. Только у 25% распределительных валов изгиб превысил значение 0,045 мм.

Нанесение накопленной частоты отказов распределительных валов на вероятностную бумагу, наилучшее расположение точек показало на бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.11, прямая 3).

Результаты исследований позволяют сделать вывод, что 75% распределительных валов не требуют восстановления и пригодны к дальнейшей эксплуатации.

На рисунке 3.25 показана характеристика распределения износов распределительных валов двигателей ЯМЗ-240Н. Параметры распределения отказов, полученные по результатам статистической обработки методом моментов, согласуют-

ся с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 86,5$  тыс. км,  $\sigma = 13,84$  тыс. км,  $v = 0,16$ .

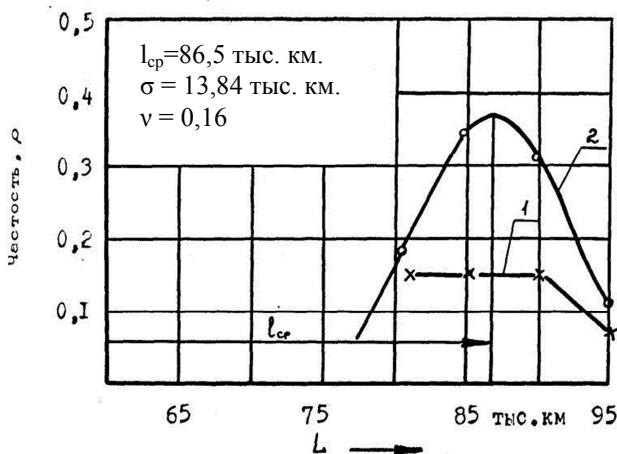


Рисунок 3.25 - Характеристика распределения отказов распределительного вала двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### Клапаны впускные и выпускные (детали 236-1007010 и 236-1007015).

Износ стержней впускных и выпускных клапанов по диаметру у 35% двигателей не выходит за пределы размера на изготовление –  $\varnothing 12^{+0,070}_{-0,095}$  мм. А у 60% клапанов диаметры стержней не превышают значений допустимых без ремонта –  $\varnothing 11,88$  мм. Среднее значение износа клапанов составило 0,03 мм.

Установлено [107], что 90% клапанов имеют ширину рабочих фасок в пределах  $0,76 \div 1,6$  мм для впускных и  $1,0 \div 1,68$  мм для выпускных клапанов, что соответствует нормативам допустимым без ремонта. У остальных (10%) клапанов, обнаружен большой износ фасок, риски и другие дефекты.

Длина стержней клапанов у 72% двигателей – в пределах размера на изготовление (впускных –  $156 \pm 0,3$  мм, выпускных –  $155^{+0,25}_{-0,30}$  мм). 28% клапанов не превышают нормативных значений допустимых без ремонта (впускных – 155,6 мм, выпускных – 155,2 мм). Среднее значение износа клапанов составило 0,33 мм.

Нанесение накопленной частоты отказов впускных и выпускных клапанов на вероятностную бумагу, наилучшее расположение точек показало на бумаге нормального закона распределения (см. рисунок 3.11, прямая 4).

Характеристика распределения отказов клапанов двигателей ЯМЗ-240Н показана на рисунке 3.26. Параметры распределения отказов, полученные по результатам статистической обработки методом моментов, согласуется с законом нормального распределения и составили –  $l_{cp} = 83,5$  тыс. км,  $\sigma = 10,0$  тыс. км,  $v = 0,12$ .

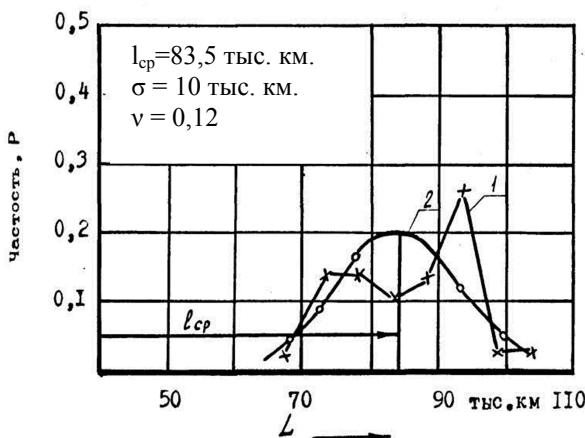


Рисунок 3.26 - Характеристика распределения отказов клапанов двигателей ЯМЗ-240Н в зависимости от пробега:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс детали до отказа

### 3.3. Методика определения показателей ремонтопригодности двигателей карьерного транспорта

В горнорудной промышленности, как ранее отмечалось, реально применяются следующие варианты восстановления работоспособности двигателей карьерного транспорта:

- 1-й вариант – восстановление работоспособности только путем выполнения капитальных ремонтных обслуживаний (КР – КР - ...);
- 2-й вариант – восстановление работоспособности путем чередования предупредительного и капитального ремонтного обслуживаний (ПР1 – КР - ...);
- 3-й вариант – восстановление работоспособности путем чередования двух предупредительных и капитального ремонтного обслуживаний (ПР1 – ПР2 – КР ...).

Надо отметить, что каждый из приведенных вариантов, характеризуется следующими показателями ремонтопригодности: периодичностью ремонтных обслуживаний  $L_{\text{пр}}$ , продолжительностью простоев двигателей в ремонтном обслуживании  $T_{\text{пр}}$ , ресурсом двигателя до списания  $L_{\text{дв}}^{\text{сп}}$ , суммарными затратами на ремонтное обслуживание двигателя до списания  $C_{\Sigma}$  и удельными затратами  $C^{\text{уд}}$ .

Порядок сбора и обработки данных, для определения численных значений показателей ремонтопригодности, изложены в [24, 26].

Настоящая методика предусматривает решение следующих задач:

- получение необходимой информации для определения общих затрат и ресурса двигателя до списания по каждому рассматриваемому варианту;
- определение экономически целесообразного ресурса двигателя до его списания.

Графическое изображение результатов исследований, по сравнению с табличной формой, даёт наиболее наглядное представление о результатах экспериментов. Позволяет лучше понять физическую сущность исследуемого процесса, выявить общий характер функциональной зависимости изучаемых переменных величин и установить наличие максимума или минимума функции.

Как правило, для графического изображения результатов исследований, применяют систему прямоугольных координат [91]. В нашем случае (см. рисунок 3.27) графическим методом изображены функции  $C = f(L)$  - изменение эксплуатационных затрат от пробега и  $C_{\text{дв}} = f(L)$  – изменение стоимости двигателя от пробега. По вертикальной оси – затраты в руб., по горизонтальной оси – пробег в км.

Особенностью построения графика  $C_{\text{дв}} = f(L)$  является то, что в нём имеется одна неопределенность, т.е. величина пробега двигателя, на котором остаточная стоимость равна нулю. Завод-изготовитель на этот счет не даёт никакой информации.

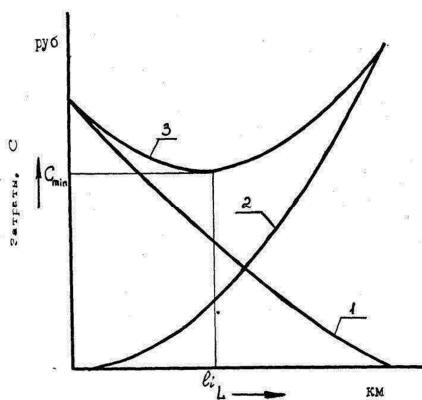


Рисунок 3.27 - Графическое изображение функций  $C_{ar} = f(L)$  и  $C = f(L)$ :  
 1 – график изменения функции  $C_{ar} = f(L)$ ; 2 – график изменения функции  $C = f(L)$ ;  
 3 – график изменения суммарных затрат функций  $C_{ar} = f(L)$  и  $C = f(L)$ ;  $l_i$  – пробег  
 двигателя, км;  $C_i$  – эксплуатационные затраты, руб.;  $C_{min}$  – минимальное значение  
 суммарных затрат, руб.;  $C_{\Sigma}$  – суммарные затраты, руб.

Ориентировочно, этот пробег можно определить по следующей формуле:

$$L_{сп} = L_{год} \cdot T_{сл}, \text{ км} \quad (3.16)$$

где  $L_{сп}$  – пробег двигателя до списания, км;  $L_{год}$  – среднегодовой пробег двигателя, км;  $T_{сл}$  – срок службы двигателя, лет [13].

В пределах этого пробега и надо рассматривать структуру и периодичность ремонтных обслуживаний, а также определять численные значения показателей ремонтопригодности по каждому рассматриваемому варианту. Условно можно принять, что по достижении двигателем величины  $L_{сп}$ , его стоимость будет равна нулю.

Как уже отмечалось, что одним из показателей ремонтопригодности являются общие затраты на поддержание двигателя в работоспособном состоянии. Эти затраты получают путем суммирования эксплуатационных затрат и стоимости двигателя.

Ниже, рассмотрим последовательность графического построения зависимости эксплуатационных затрат от пробега. Предположим, что на пробеге  $l_1$  произошел отказ двигателя. Затраты на его восстановление составили  $C_1$ . Затем произошел отказ на пробеге  $l_2$ , а затраты на его восстановление с начала эксплуатации –  $C_2$  и т.д. Для этого, в системе прямоугольных координат нанесём точки с координата-

ми  $I_1C_1$ ,  $I_2C_2$ , ...,  $I_nC_n$ . Соединяя их, получим графическое отображение функции  $C = f(L)$ .

Далее, суммируем значения затрат  $C_{дв} = f(L)$  и  $C = f(L)$  для пробегов  $I_1$ ,  $I_2$ , ...,  $I_n$  и получим суммарные затраты  $C_{\Sigma 1}$ ,  $C_{\Sigma 2}$  и т.д. Полученные точки наносим на график и соединяем плавной линией.

Ситуация, при которой одни затраты уменьшаются ( $C_{дв} = f(L)$ ), а другие увеличиваются ( $C = f(L)$ ), являясь при этом функцией одного и того же фактора, позволяет найти решение, минимизирующее общие затраты. На рисунке 3.27 показана графическая интерпретация данного решения. Точка минимального значения ( $C_{min}$ ) указывает на необходимость проведения ремонтного обслуживания на пробеге  $I_i$ .

Теоретически, от начала эксплуатации двигателя и до достижения им пробега  $L_{сп}$ , для каждого рассматриваемого варианта можно провести несколько ремонтных обслуживаний согласно его структуры. Однако это не указывает на то, что все ремонтные обслуживания являются экономически целесообразными. Окончательный выбор оптимальной структуры и количество целесообразных ремонтных обслуживаний, определяем по удельным затратам на 1 км пробега агрегата –  $C_{уд}$ , численные значения которых определяются по формуле 2.34.

Определение экономически целесообразного пробега двигателя до списания заключается в следующем. Строится зависимость удельных затрат от пробега (см.рисунок 3.28) и определяются минимальные значения суммарных затрат остаточной стоимости двигателя и эксплуатационных затрат, которым соответствует экономически целесообразный пробег двигателя.

По каждому рассматриваемому варианту сравниваются значения  $C_{опт}^{уд}$  и  $L_{сп}^{опт}$ , и определяется оптимальный вариант структуры ремонтных обслуживаний двигателя до списания.

При определении номенклатуры деталей одновременно заменяемых при ремонтных обслуживаниях ПР1 и ПР2, используется информация о ресурсе основных деталей агрегата, представленных на рисунке 3.29 (на примере двигателя ЯМЗ-240Н) [107, 108].

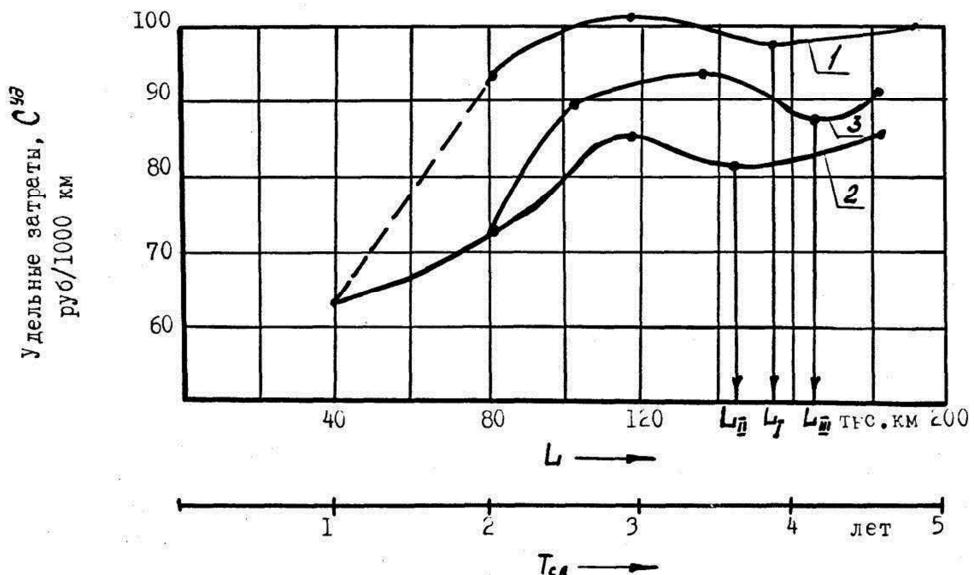


Рисунок 3.28 - Характер изменения удельных затрат на поддержание агрегата в работоспособном состоянии в зависимости от пробега (на примере двигателя ЯМЗ-240):

1 – для варианта КР – КР ; 2 – для варианта ПР1 – КР; 3 – для варианта ПР1 – ПР2 – КР ;  
 $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  – оптимальный пробег двигателя до списания, соответственно для  
вариантов I, II и III

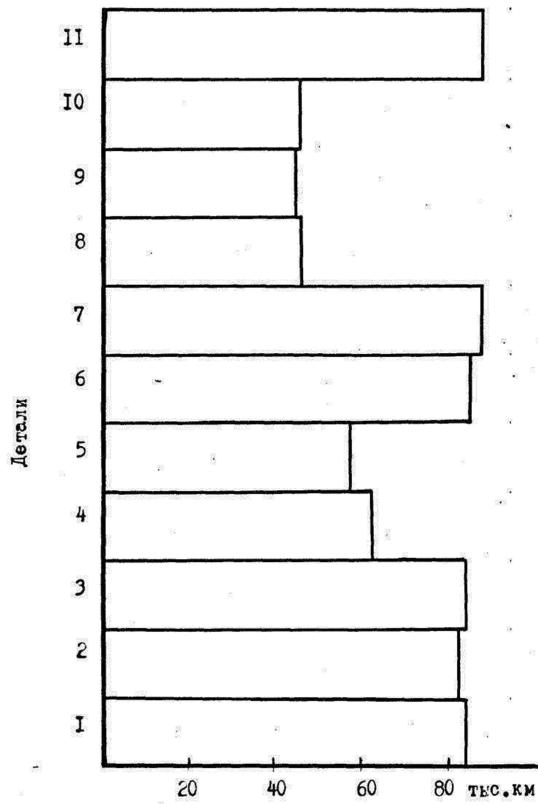


Рисунок 3.29 - Ресурс основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н:

1 – блок цилиндров; 2 – головка цилиндров; 3 – клапана; 4 – вал коленчатый; 5 - вкладыши шатунные; 6 – шатун; 7 – вал распределительный; 8 – поршень; 9 – гильза цилиндров;  
10 – кольца поршневые; 11 – палец поршневой

### **3.4. Результаты экспериментальных исследований показателей ремонтопригодности двигателей при различных вариантах структуры ремонтного обслуживания**

В горнорудной промышленности, ремонтные обслуживания ПР1, ПР2 и КР являются основными видами ремонтных обслуживаний двигателей карьерного транспорта. Рассмотрим результаты экспериментальных исследований показателей ремонтопригодности двигателей по этим вариантам на примере двигателя ЯМЗ-240Н.

Назначение и объём работ, проводимых при ремонтных обслуживаниях КР, приведены в специальной литературе [94, 95].

При выполнении ремонтного обслуживания ПР1, как правило, проводится замена гильз цилиндров, поршней, поршневых колец, шатунных вкладышей и коленчатого вала. Стоимость такого ремонта, по опыту ремонтных мастерских ГОКов, составляет 90,0 тыс. руб.

При выполнении ремонтного обслуживания ПР2 кроме замены деталей, входящих в ремонтное обслуживание ПР1, заменяются еще и головки цилиндров, шатуны, клапана и другие детали двигателя. Стоимость такого ремонта не превышает 160,0 тыс. руб.

В таблице 3.2 приведены данные затрат по результатам экспериментальных исследований, для ремонтных обслуживаний ПР1 и ПР2 по каждой составляющей, входящей в целевую функцию 2.1.

Рассмотрим порядок построения графиков изменения затрат в зависимости от пробега на примере двигателя ЯМЗ-240Н. Для этого воспользуемся результатами экспериментальных исследований работоспособности подконтрольных двигателей.

В системе прямоугольных координат строятся три варианта структуры ремонтных обслуживаний, а именно:

- I-й – вариант КР – КР (см. рис.3.30);

- II-й – вариант ПР1 – КР (см. рис.3.31);
- III-й – вариант ПР1 – ПР2 – КР (см. рис.3.32).

Таблица 3.2 - Данные фактических затрат при проведении ремонтных обслуживаний ПР1 и ПР2

Наименование составляющей	Обозначение составляющей	Поэлементная замена деталей, руб.	Ремонт ПР1, руб.	Ремонт ПР2, руб.
1	2	3	4	5
Основная заработка плата	$C_{зп}^{осн}$	11320	2330	3550
Дополнительная заработка плата	$C_{зп}^{доп}$	1700	350	530
Отчисления на социальные нужды	$C_{зп}^{соц}$	1130	230	360
Суммарная заработка плата	3	14150	2910	4440
Затраты на запасные части	$C_{зп}$	103580	39660	76380
Затраты на материалы	$C_m$	8220	3490	3610
Затраты на транспортно-заготовительные работы	$C_{тз}$	8950	3450	6320
Затраты на энергию	$C_e$	10880	2210	3630
Затраты по обслуживанию и эксплуатации оборудования	$C_{об}$	13930	2870	4370
Затраты на диагностирование	$C_d$	2500	1630	1630
Затраты на транспортировку	$C_{тр}$	500	300	300
Накладные расходы	$C_{нр}$	15510	3190	4870
Потери от простоев в ремонте	d	53900	23100	28000
Потери от недоиспользования ресурса деталей	q	0	5120	19560
Потери от дополнительных разборок-сборок двигателя	G	10640	2070	2450
Итого		256910	90000	160000

Графики 1, 2 и 3 (см. рисунки 3.30-3.32) для интервала от 0 км до 50 тыс. км построены по данным экспериментальных исследований, численные значения которых приведены в таблице 3.3.

Для графика 1 с увеличением пробега остаточная стоимость двигателя уменьшается, а для графика 2, наоборот, с увеличением пробега затраты растут. Подробное объяснение такому характеру изменения затрат в зависимости от пробега дано в разделе II.

## I. KP - KP

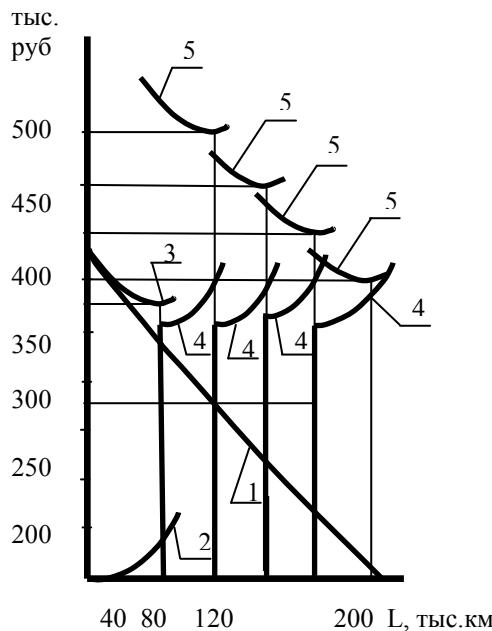


Рисунок 3.30 - Экспериментальные данные изменения затрат на поддержание двигателя ЯМЗ-240Н в работоспособном состоянии для варианта KP – KP:

1 – изменение стоимости двигателя; 2 – изменение эксплуатационных затрат на ТО и ремонт нового двигателя; 3 – изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на ТО и ремонт нового двигателя; 4 – изменение эксплуатационных затрат на ТО и ремонт капитально отремонтированного двигателя; 5 - изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на ТО и ремонт капитально отремонтированного двигателя

Что же касается графика 3, то здесь затраты сначала уменьшаются, а по достижении определенного минимального значения, начинают расти. Точка минимального значения суммарных затрат (в нашем примере она равна 284,0 тыс. руб.), указывает, что дальнейшая эксплуатация двигателя не желательна, так как это приведет к необоснованному перерасходу трудовых и финансовых затрат. На пробеге 45 тыс. км, соответствующему минимальным затратам, целесообразно выполнить ремонтное обслуживание. Для I-го варианта – должно выполняться ремонтное обслуживание KP, для II-го и III-го вариантов – ремонтное обслуживание ПР1.

## II. ПР1 - КР

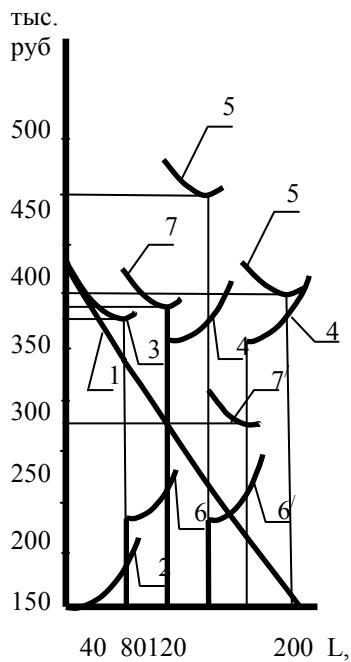


Рисунок 3.31 - Экспериментальные данные изменения затрат на поддержание двигателя ЯМЗ-240Н в работоспособном состоянии для варианта ПР1 – КР:  
 1 – 5 см. рис. 3.23; 6 – изменение эксплуатационных затрат на ТО и ремонт двигателя после проведения ремонта ПР1; 7 – изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на ТО и ремонт двигателя после проведения ремонта ПР1

## III. ПР1- ПР2 - КР

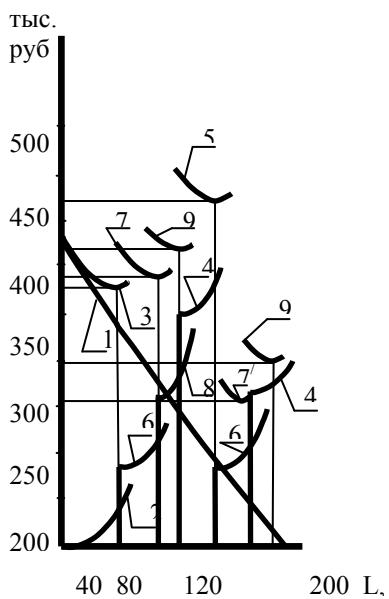


Рисунок 3.32 - Экспериментальные данные изменения затрат на поддержание двигателя ЯМЗ-240Н в работоспособном состоянии для варианта ПР1 – ПР2 - КР:  
 1 – 5 см. рис. 3.23; 7 – 7 см. рис. 3.24; 8 – изменение эксплуатационных затрат на ТО и ремонт двигателя после проведения ремонта ПР2; 9 – изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на ТО и ремонт двигателя после проведения ремонта ПР2

График 4 строится аналогично графику 2 с той лишь разницей, что смещение эксплуатационных затрат по вертикали будет больше на величину стоимости ремонтного обслуживания КР, т.е. на величину равную 260,0 тыс. руб.

Таблица 3.3 - Данные экспериментальных исследований для построения графиков 1, 2 и 3

Пробег, км (L)	0 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50
Остаточная стоимость двигателя, руб. ( $C_{\text{дв}}$ )	321000	298000	278000	257000	238000
Эксплуатационные затраты, руб. (C)	3000	8000	17000	29000	49000
Суммарные затраты, руб. ( $C_{\Sigma}$ )	324000	306000	295000	286000	287000

График 5 строится путем суммирования графиков 1 и 4. Результаты этого суммирования приведены в таблицах 3.4 – 3.6.

Таблица 3.4 - Показатели ремонтопригодности двигателя ЯМЗ-240Н для варианта КР – КР - ...

Вид ремонтного воздействия	КР	КР	КР	списание	КР
Ресурс до и после ремонтного воздействия, тыс. км	45	36	36	36	36
Общий ресурс, тыс. км	45	81	117	153	189
Затраты, руб.	284000	476000	416000	351000	312000

$$L_I^{\text{общ}} = 189,0 \text{ тыс. км}, C_I^{\text{общ}} = 1839000 \text{ руб.}, C_I^{\text{уд}} = 9730 \text{ руб./1000 км}$$

Таблица 3.5 - Показатели ремонтопригодности двигателя ЯМЗ-240Н для варианта ПР1 – КР - ...

Вид ремонтного воздействия	ПР1	КР	ПР1	списание	КР
Ресурс до и после ремонтного воздействия, тыс. км	45	36	36	29	36
Общий ресурс, тыс. км	45	81	117	146	182
Затраты, руб.	284000	299000	416000	182000	310000

$$L_{II}^{\text{общ}} = 182,0 \text{ тыс. км}, C_{II}^{\text{общ}} = 1491000 \text{ руб.}, C_{II}^{\text{уд}} = 8192 \text{ руб./1000 км}$$

Таблица 3.6 - Показатели ремонтопригодности двигателя ЯМЗ-240Н  
для варианта ПР1 – ПР2 – КР - ...

Вид ремонтного воздействия	ПР1	ПР2	КР	ПР1	списание	ПР2
Ресурс до и после ремонтного воздействия, тыс. км	45	36	19,5	36	29	15,5
Общий ресурс, тыс. км	45	81	100,5	136,5	165,5	181
Затраты, руб.	284000	299000	321000	376000	155000	196000

$$L_{III}^{общ} = 181,0 \text{ тыс. км}, C_{III}^{общ} = 1631000 \text{ руб.}, C_{III}^{уд} = 9011 \text{ руб}/1000 \text{ км.}$$

График 6 строится аналогично графику 4, но смещение эксплуатационных затрат по вертикали здесь уже равно стоимости ремонта ПР1, равной 90,0 тыс. руб.

График 7 строится путем суммирования графиков 1 и 6. Результаты суммирования приведены в таблицах 3.5 и 3.6.

График 8 строится также как и график 4, но смещение эксплуатационных затрат по вертикали равно уже стоимости ремонта ПР2, равной 160,0 тыс. руб.

График 9 строится путем суммирования графиков 1 и 8. Результаты суммирования приведены в таблице 3.6.

I-й вариант (КР – КР). В горнорудной промышленности это традиционная система проведения ремонтных обслуживаний для восстановления работоспособности двигателей. Характеристика параметров распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонта обслуживания, согласно данных экспериментальных исследований, приведены в таблице 3.7. По данным таблицы 3.7 определены математическое ожидание  $I_{cp}$ , дисперсия  $D$ , среднее квадратичное отклонение  $\sigma$  и коэффициент вариации  $v$ , численные значения которых приведены в таблице 3.8.

Экспериментальные и теоретические кривые распределения ресурса двигателей этой группы, приведены на рисунке 3.33 [113].

Таблица 3.7 - Характеристика параметров распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонтного обслуживания для варианта КР – КР

Характеристика	Обозначение	Пробег L, тыс.км					
		35 - 40	40 - 45	45 - 50	50 - 55	55 - 60	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8
Опытные частоты	$m_i^*$	3,0	10,0	9,0	2,0	1,0	25,0
Опытные частоты	$\bar{m}_i^*$	0,12	0,40	0,36	0,08	0,04	1,0
Теоретические вероятности	$p_i$	0,108	0,376	0,388	0,116	0,012	1,0
Теоретические частоты	$m_i$	2,7	9,4	9,7	2,9	0,3	25,0
Накопленная частота	$\sum m_i$	2,7	12,1	21,8	24,7	25,0	25,0
Функция распределения	$F(l)$	0,108	0,484	0,872	0,988	1,0	
Вероятность безотказной работы	$P(l)$	0,892	0,516	0,128	0,012	0	

Таблица 3.8 - Численные значения характеристик распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонтного обслуживания

Модель двигателя	Варианты структуры ремонтного цикла	Значения показателей			
		$L_{cp}$ , тыс. км	D, тыс. км	$\sigma$ , тыс. км	$v$
ЯМЗ-240Н	I-й вариант КР – КР - ...	45,0	22,24	5,5	0,122
	II-й вариант ПР1 – КР - ...	81,0	26,24	6,1	0,075
	III-й вариант ПР1 – ПР2 – КР - ...	100,5	36,0	7,0	0,07

При проведении экспериментальных исследований, капитальные ремонтные обслуживания подконтрольной группы двигателей проводились по мере ухудшения их технического состояния при средних значениях пробегов: 45,0 тыс. км, 81,0 тыс. км, 117,0 тыс. км и 153,0 тыс. км. Общий ресурс составил 189,0 тыс. км.

Величина межремонтного пробега, после проведения ремонтного обслуживания КР, составила 36,0 тыс. км.

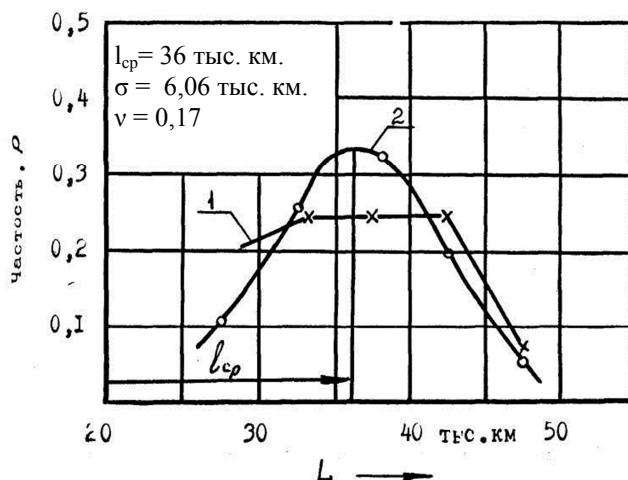


Рисунок 3.33 - Кривые распределения технического ресурса двигателей ЯМЗ-240Н для варианта КР – КР:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  $l_{cp}$  – средний ресурс двигателя до ремонта КР

Однако не все ремонтные обслуживания КР для этого варианта являются целесообразными. Используя данные графиков, изображенных на рисунке 3.27, был установлен экономически целесообразный пробег двигателя до списания, который составил 153, 0 тыс. км. При этом была получена следующая структура ремонтных обслуживаний КР – КР. Экономически целесообразная структура ремонтных обслуживаний по этому варианту выделена рамкой в таблице 3.4.

II-й вариант (ПР1 – КР). Характеризуется чередованием ремонтных обслуживаний ПР1 и КР. Характеристика распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонтного обслуживания приведена в таблице 3.9. По данным таблицы 3.9 определены  $l_{cp}$ ,  $D$ ,  $\sigma$  и  $\nu$ , численные значения которых приведены в таблице 3.8.

Таблица 3.9 - Характеристика параметров распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонта для варианта ПР1 – КР

Характеристика	Обозна- чение	Пробег $L$ , тыс.км					
		70 - 75	75 - 80	80 - 85	85 - 90	90 - 95	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8
Опытные частоты	$m_i^*$	4,0	9,0	8,0	3,0	1,0	25,0
Опытные частоты	$\bar{m}_i^*$	0,16	0,36	0,32	0,12	0,04	1,0

## Продолжение таблицы 3.9

Характеристика	Обозна- чение	Пробег $L$ , тыс.км					
		70 - 75	75 - 80	80 - 85	85 - 90	90 - 95	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8
Теоретические ве- роятности	$p_i$	0,132	0,348	0,356	0,14	0,024	1,0
Теоретические ча- стоты	$m_i$	3,3	8,7	8,9	3,5	0,6	25,0
Накопленная ча- стота	$\sum m_i$	3,3	12,0	20,9	24,4	25,0	25,0
Функция распре- деления	$F(l)$	0,132	0,48	0,836	0,976	1,0	
Вероятность без- отказной работы	$P(l)$	0,868	0,52	0,164	0,024	0	

Экспериментальные и теоретические кривые распределения ресурса двигателей этой группы после проведения ремонтного обслуживания ПР1 приведены на рисунке 3.34 [111, 113], до капитального ремонта, на рисунке 3.35.

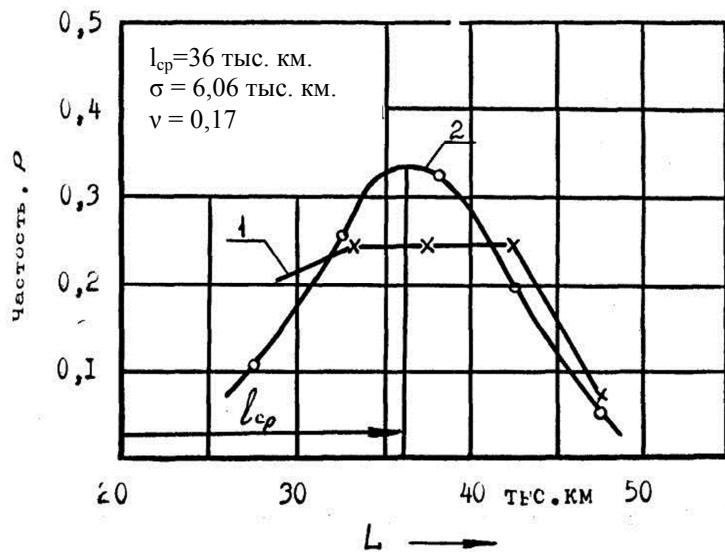


Рисунок 3.34 - Кривые распределения технического ресурса двигателей ЯМЗ-240Н после проведения ремонта ПР1:  
1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  
 $l_{cp}$  – средний ресурс двигателя после ремонта КР

По данным экспериментальных исследований, для этой группы двигателей ремонтные обслуживания проводились на следующих пробегах: ПР1 – 45,0 тыс. км, КР – 81,0 тыс. км, ПР1 – 117,0 тыс. км, КР – 146,0 тыс. км. Для этого варианта

параметры распределения ресурса двигателей до ремонтного обслуживания ПР1 соответствовали параметрам распределения ресурса двигателей до первого капитального ремонтного обслуживания I-го варианта.

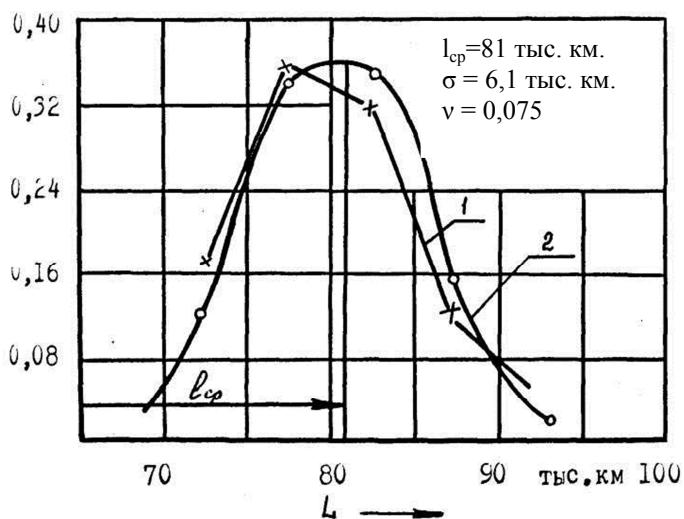


Рисунок 3.35 - Кривые распределения технического ресурса двигателей ЯМЗ-240Н для варианта ПР1 – КР:

1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  
 $l_{ср}$  – средний ресурс двигателя до ремонта КР

Основные показатели ремонтопригодности при реализации II-го варианта ремонтного обслуживания двигателей по опытным данным (см. рисунок 3.31), составили -  $L_{II}^{общ} = 182,0$  тыс. км,  $C_{II}^{общ} = 149100$  руб,  $C_{II}^{уд} = 8190$  руб/1000 км. Экономически целесообразный пробег двигателя до списания для этого варианта составил 146,0 тыс. км (см. рисунок 3.27). По этому варианту была получена следующая структура ремонтных обслуживаний (выделена рамкой в таблице 3.5).

III-й вариант (ПР1 – ПР2 – КР). Характеризуется чередованием ремонтных обслуживаний ПР1, ПР2 и КР. Характеристика распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонтного обслуживания приведена в таблице 3.10. По данным таблицы 3.10 определены  $l_{ср}$ ,  $D$ ,  $\sigma$  и  $v$ , численные значения которых приведены в таблице 3.8.

Экспериментальные и теоретические кривые распределения ресурса двигателей этой группы, приведены на рисунке 3.36.

Таблица 3.10 - Характеристика параметров распределения ресурса двигателей ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонта для варианта ПР1 – ПР2 - КР - ...

Характеристика	Обозначение	Пробег L, км						
		85-90	90-95	95-100	100-105	105-110	110-115	Всего
Опытные частоты	$m_i^*$	2,0	1,0	8,0	10,0	2,0	2,0	25,0
Опытные частоты	$\bar{m}_i^*$	0,08	0,04	0,32	0,40	0,08	0,08	1,0
Теоретические вероятности	$p_i$	0,032	0,14	0,292	0,32	0,168	0,048	1,0
Теоретические частоты	$m_i$	0,8	3,5	7,3	8,0	4,2	1,2	25,0
Накопленная частота	$\sum m_i$	0,8	4,3	11,6	19,6	23,8	25,0	25,0
Функция распределения	$F(l)$	0,032	0,172	0,464	0,784	0,952	1,0	
Вероятность безотказной работы	$P(l)$	0,968	0,828	0,536	0,216	0,048	0	

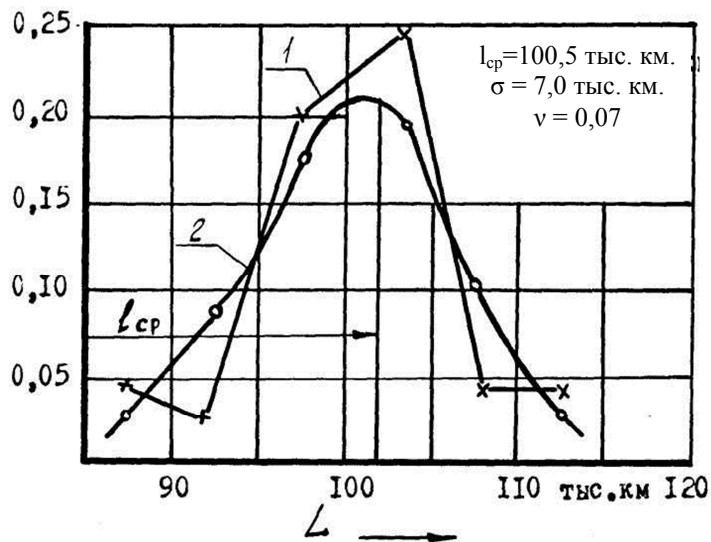


Рисунок 3.36 - Кривые распределения технического ресурса двигателей ЯМЗ-240Н для варианта ПР1 – ПР2 - КР:  
1 – опытная частота; 2 – теоретическая частота;  
 $l_{ср}$  – средний ресурс двигателя до ремонта КР

По данным экспериментальных исследований для этой группы двигателей ремонтные обслуживания проводились на следующих пробегах: ПР1 – 45,0 тыс. км,

ПР2 – 81,0 тыс. км, КР – 100,5 тыс. км, ПР1 – 136,50 тыс. км, ПР2 – 165,5 тыс. км. Параметры распределения ресурса двигателей до ремонтного обслуживания ПР2 соответствовали параметрам распределения ресурса двигателей до первого капитального ремонтного обслуживания II-го варианта.

Основные показатели ремонтопригодности при реализации III-го варианта ремонтного обслуживания двигателей (см. рисунок 3.32) составили -  $L_{II}^{общ} = 181,0$  тыс. км,  $C_{II}^{общ} = 163100$  руб,  $C_{II}^{уд} = 9010$  руб/1000 км. Экономически целесообразный пробег двигателя до списания для этого варианта составил 165,5 тыс. км. При этом была получена следующая структура ремонтных обслуживаний - ПР1 – ПР2 – КР – ПР1. Экономически целесообразная структура ремонтных обслуживаний по этому варианту выделена рамкой в таблице 3.6.

## **Выводы по главе**

1. Всесторонне и глубоко изучены дефекты, износы и отказы основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н при их поступлении в первое капитальное ремонтное обслуживание. Экспериментально получены средние значения ресурса основных деталей двигателя до отказа.

2. Экспериментальные исследования показали, что ресурс основных деталей колеблется в широких пределах и не соблюдается их кратность. Так, например, у двигателей ЯМЗ-240Н коэффициент относительной долговечности основных деталей (отношение ресурса *i*-й детали к ресурсу базовой детали) колеблется от 0,53 до 1,0 и более, что приводит к ранней постановки их на капитальное ремонтное обслуживание.

3. Установлено, что наименьшее значение удельных затрат на 1000 км пробега для двигателя ЯМЗ-240Н у варианта ПР1 – КР – ПР1. Ресурс до ремонтного обслуживания КР при этом варианте составляет 81,0 тыс. км, что значительно вы-

ше, чем для I-го варианта. Это позволяет заметно (почти в три раза) сократить общее количество капитальных ремонтных обслуживаний.

4. Детали, подлежащие восстановлению, должны подвергаться ремонтным воздействиям по соответствующим маршрутам.

## Глава 4

### Выбор оптимальной структуры ремонтных обслуживаний для двигателей ЯМЗ-240Н

#### 4.1. Уточнение состава групп деталей двигателей карьерного транспорта, для одновременной их замены

Известно, что двигатель состоит из деталей с различными значениями ресурсов, колеблющихся от  $l_1$  до  $l_m$  (см. рисунок 4.1).

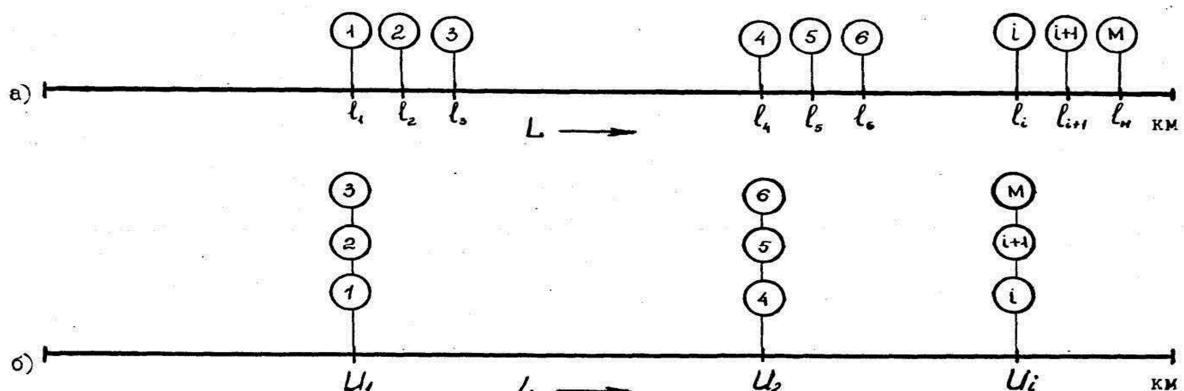


Рисунок 4.1 - Схема объединения элементов в группы для одновременной их замены при проведении ремонтных обслуживаний:

а – требуемая периодичность замен по ресурсу; б – регламентируемая периодичность замен;  
 1, 2, ..., m – детали, лимитирующие ресурс двигателя до ремонтного обслуживания;  
 $l_1, l_2, \dots, l_m$  – ресурс основных деталей двигателя;  $U_1, U_2, \dots, U_i$  – ресурс двигателя до замены i-й группы деталей

Если полностью реализовать ресурс каждой детали двигателя, то надо проводить значительное количество ремонтных обслуживаний (после пробегов  $l_1, l_2, \dots, l_m$ ) с незначительным объёмом работ каждого. После замены каждой изношенной детали в отдельности пришлось бы проводить одни и те же операции, такие как демонтаж двигателя с автомобиля, подразборка-сборка двигателя и т.д. Многократная и частая постановка двигателя в ремонтное обслуживание увеличивает не только суммарную продолжительность простоев, связанных с ремонт-

ным обслуживанием, но и увеличивает общую трудоёмкость и стоимость ремонтного обслуживания.

Рассмотрим группирование деталей двигателя для одновременной их замены. Для этого, расположим значения ресурсов деталей на координатной прямой и будем сравнивать их значения с ресурсом менее долговечной детали. Если разность ресурсов будет меньше минимально допустимого межремонтного ресурса  $L_{min}$ , то объединение целесообразно, а если разность больше  $L_{min}$ , то их одновременная замена нецелесообразна, т.е.

$$l_{i+1} - l_i \leq L_{min}, \quad (4.1)$$

объединение целесообразно, а если

$$l_{i+1} - l_i > L_{min}, \quad (4.2)$$

то одновременная замена нецелесообразна.

Пусть  $I_1$ , будет ресурс наименее долговечной детали. Сравниваем значения ресурсов детали **2** –  $I_2$  и детали **1** –  $I_1$ . Если  $I_2 - I_1 \leq L_{min}$ , то деталь **2** с ресурсом  $I_2$  заменяется с деталью **1** одновременно. Таким же образом сравниваются ресурсы деталей **3**, **4** и т.д. с ресурсом детали **1**. В конечном счёте, получаем группу деталей для одновременной замены с ресурсом  $U_1$ , как показано на рисунке 4.1б. Предположим, сравнивая ресурс детали **4** с ресурсом детали **1** получим  $I_4 - I_1 > L_{min}$ . В этом случае, одновременная замена детали **4** с деталью **1** нецелесообразна. И тогда деталь **4** будет являться наименее долговечной деталью для следующей группы одновременно заменяемых деталей, т.е. центром группирования для деталей с более высоким ресурсом по сравнению с ресурсом первой группы  $U_1$ . Затем цикл повторяется – сравниваются ресурсы деталей **5**, **6** и т.д. со значением ресурса детали **4** –  $I_4$ . В результате получаем вторую группу деталей для одновременной замены с ресурсом  $U_2$ . Такая последовательность группирования выполняется по всем основным деталям двигателя.

При группировании деталей, для одновременной их замены, были использованы экспериментальные данные полученных средних значений ресурса основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н, которые приведены на рисунке 4.2. Указанные

данные свидетельствуют, что ресурсы основных деталей колебляются в широких пределах: от 45,0 тыс. км до 88,5 тыс. км.

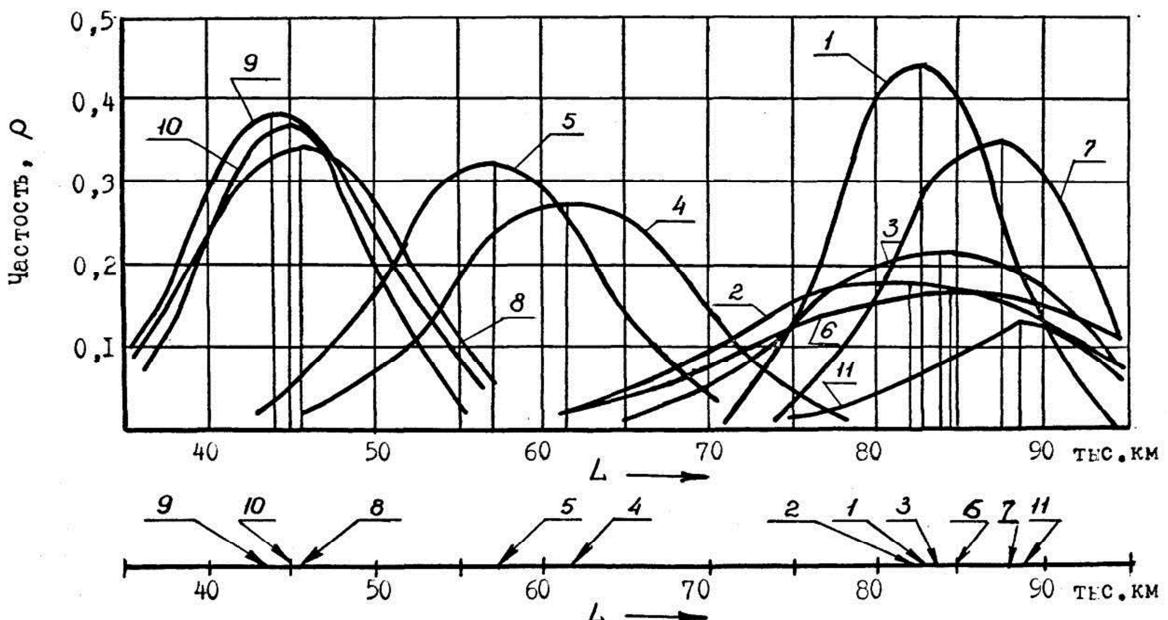


Рисунок 4.2 - Характеристика распределения отказов и средних значений ресурсов основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н:

1 – блок цилиндров; 2 – головка цилиндров; 3 – клапана; 4 – вал коленчатый; 5 – вкладыши шатунные; 6 – шатун; 7 – вал распределительный; 8 – поршень; 9 – гильза цилиндров; 10 – кольца поршневые; 11 – палец поршневой

При расчетах, величина минимально допустимого межремонтного ресурса –  $L_{min}$  определена с учетом 90% вероятности того, что ресурс всех подконтрольных двигателей попадет в определенный заданный интервал [22, 23]. По данным экспериментальных исследований установлено, что средний ресурс двигателя после капитального ремонтного обслуживания составил 36,0 тыс. км. При этих значениях среднего ресурса двигателя,  $L_{min}$  составил 20,0 тыс. км.

Рассмотрим на примере двигателя ЯМЗ-240Н целесообразность группирования деталей для их одновременной замены по отдельным этапам:

- Согласно экспериментальным данным, у гильз цилиндров средний ресурс равен 45,0 тыс. км, ресурс поршневых колец – 45,0 тыс. км, ресурс поршней 45,5 тыс. км. Поскольку ресурсы поршней и поршневых колец незначительно отличаются от ресурса гильз цилиндров, одновременная их замена на пробеге 45,0 тыс. км очевидна и целесообразна.

2. Для определения целесообразности одновременной замены основных деталей совместно с гильзой цилиндров, осуществляем проверку на выполнение условий 4.1 и 4.2. По результатам проверки установлено, что шатунные вкладыши и коленчатый вал целесообразно объединить с гильзой цилиндров для одновременной их замены, поскольку разность их ресурсов не превышает 20,0 тыс. км. Что же касается головок цилиндров и других деталей, с более значительным ресурсом, их замена одновременно с гильзой цилиндров нецелесообразна, так как разность их ресурсов превышает 20,0 тыс.км. Следовательно, на пробеге 45,0 тыс. км целесообразна одновременная замена гильз цилиндров, поршневых колец, поршней, шатунных вкладышей и коленчатого вала. Головка цилиндров, ресурс которой равен 82,0 тыс. км, будет являться базой объединения следующей группы деталей для их одновременной замены.

3. По результатам экспериментальных исследований ресурс деталей после их замены составил: для гильз цилиндров, поршневых колец, поршней – 36,0 тыс. км, шатунных вкладышей-45,6 тыс. км, коленчатого вала – 49,2 тыс. км. Повторную замену гильз цилиндров, поршневых колец и поршней планируется проводить на пробеге 81,0 тыс. км ( $45,0 + 36,0 = 81,0$  тыс. км), что незначительно отличается от ресурса головки цилиндров, равного 82,0 тыс. км. Следовательно, базой группирования следующей группы деталей принимается ресурс двигателя, равный 81,0 тыс. км.

4. Для второй группы деталей, на основании ограничения 4.1 и 4.2 установлено, что головки цилиндров, шатуны, распределительный вал, поршневые пальцы, а также повторная замена деталей гильзо-поршневой группы, шатунных вкладышей и коленчатого вала целесообразно объединить для одновременной их замены, так как разность ресурсов ( $I_{i+1} - I_i$ ) этих деталей меньше 20,0 тыс. км.

На рисунке 4.3 представлены результаты формирования групп деталей для их одновременной замены: сплошными линиями показаны целесообразные совмещения, пунктирными – нецелесообразные.

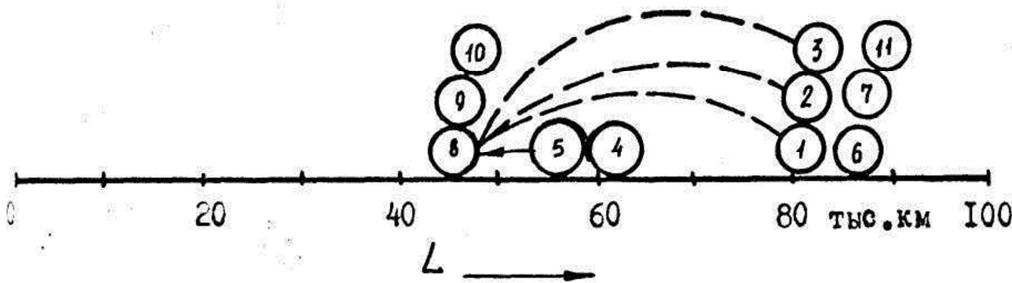


Рисунок 4.3 - Формирование в группы основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н для одновременной их замены:

1 – блок цилиндров; 2 – головка цилиндров; 3 – клапана; 4 – вал коленчатый; 5 – вкладыши шатунные; 6 – шатун; 7 – вал распределительный; 8 – поршень; 9 – гильза цилиндров; 10 – кольца поршневые; 11 – палец поршневой; → - нецелесообразное группирование; → - целесообразное группирование

В результате группирования установлено [112] две группы деталей для их одновременной замены: группа менее долговечных деталей заменяется на пробеге 45,0 тыс. км и группа более долговечных деталей заменяемых на пробеге 81,0 тыс. км. Трудоемкость работ и стоимость замены перечисленных выше деталей близки по своему содержанию к ремонтным обслуживаниям ПР1 и ПР2.

Если применить результаты группирования деталей к рассматриваемым вариантам, то получим следующее.

По первому варианту (КР – КР), для восстановления работоспособности двигателя, капитальные ремонтные обслуживания проводятся на пробегах 45,0 тыс. км, 81,0 тыс. км и 117,0 тыс. км. Экономически целесообразная структура ремонтного цикла составила – КР – КР – КР. При таком ограничении количества капитальных ремонтных обслуживаний за амортизационный срок службы двигателя, их ресурс будет составлять 80% от норматива равного 190,0 тыс. км [87].

По второму варианту (ПР1 – КР), для двигателей ЯМЗ-240Н ремонтные обслуживания должны выполняться на пробегах: ПР1 – после 45,0 тыс. км, КР – после 81,0 тыс. км, ПР1 – после 117,0 тыс. км. Структура ремонтного цикла приведена на рисунке 4.4 [111, 114], которая выглядит следующим образом : ПР1 – КР – ПР1. При этом выполняется только одно капитальное ремонтное обслуживание при общем пробеге за срок службы 146,0 тыс. км, что составляет 77% от норма-

тива. Фактически пробег двигателя до списания для предприятий горнорудной промышленности составляет в среднем 120,0 тыс. км [75, 77, 114].

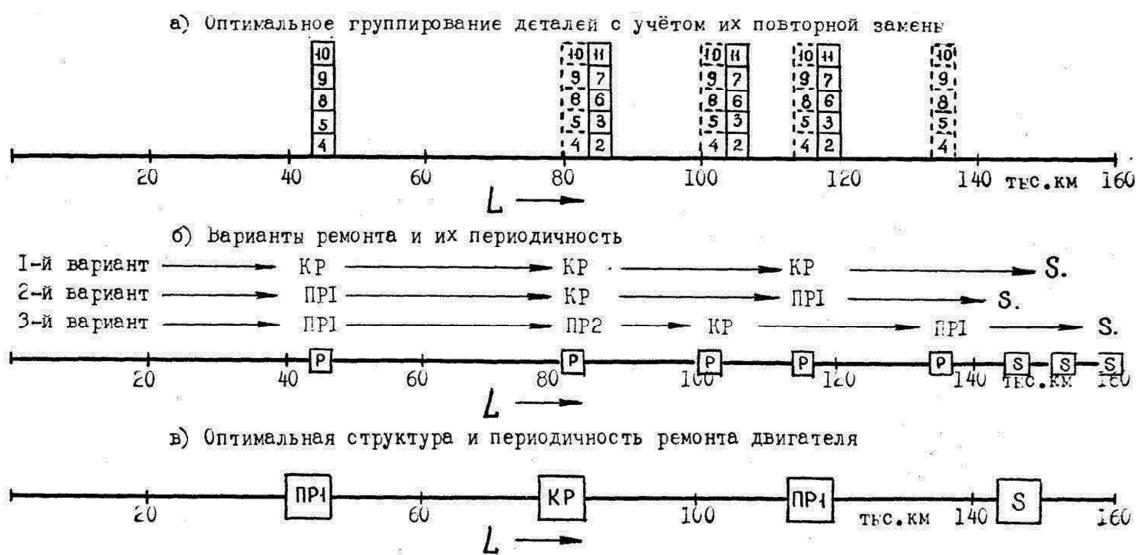


Рисунок 4.4 - Формирование структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н:

1 – блок цилиндров; 2 – головка цилиндров; 3 – клапана; 4 – вал коленчатый; 5 – вкладыши шатунные; 6 – шатун; 7 – вал распределительный; 8 – поршень; 9 – гильза цилиндров; 10 – кольца поршневые; 11 – палец поршневой; Р – ремонтное воздействие; PR1 – предупредительный ремонт № 1; PR2 - предупредительный ремонт № 2; S – списание двигателя; <sup>10</sup> - повторная замена деталей

По третьему варианту (PR1 – PR2 – KP), для двигателей ЯМЗ-240Н ремонтные обслуживания планируется выполнять на пробегах: PR1 – 45,0 тыс. км, PR2 – 81,0 тыс. км, KP – 100,5 тыс. км, PR1 – 136,5 тыс. км. Структура ремонтного цикла для этого варианта – PR1 – PR2 – KP – PR1. По этому варианту выполняется только одно капитальное ремонтное обслуживание за полный срок службы двигателя и его ресурс составляет 87% от норматива.

Для определения оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей, из числа рассматриваемых, необходимо сравнить их с основными показателями ремонтопригодности в пределах экономически целесообразного срока службы.

## 4.2. Определение оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей ЯМЗ-240Н

В разделе II рассмотрены теоретические положения по выбору оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний, а в разделе III экспериментально определены основные показатели ремонтопригодности двигателей по каждому из рассматриваемых вариантов. Определение оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний, на примере двигателей ЯМЗ-240Н с использованием ранее разработанных математической модели и алгоритма, рассмотрим в следующей последовательности.

Используя данные результатов экспериментальных исследований и алгоритм, в основу которого положена схема Жордано без обратного хода, были определены коэффициенты регрессии уравнений, описывающие кривые 1, 2, 4, 6, 6', 8 и 8' представленные на рисунках 3.30-3.32. Численные значения коэффициентов регрессии уравнений приведены в таблице 4.1, а сами уравнения приведены ниже:

график 1:

$$Y_1 = 343400 - 3224,9X + 24509,2 \cdot 10^{-3}X^2 - 14915,4 \cdot 10^{-5}X^3 + 3232,4 \cdot 10^{-7}X^4;$$

график 2:

$$Y_2 = 108,5X + 10,4X^2 + 684,4 \cdot 10^{-3}X^3 - 2700 \cdot 10^{-5}X^4 + 3200 \cdot 10^{-7}X^5;$$

график 4:

$$Y_4 = 260000 - 979 X + 156 X^2 - 5,2X^3 + 67200 \cdot 10^{-6}X^4;$$

график 6:

$$Y_6 = 90000 - 208,3X + 7208,3 \cdot 10^{-2}X^2 - 31610,4 \cdot 10^{-4}X^3 + 54200 \cdot 10^{-6}X^4;$$

график 6':

$$Y_{6'} = 90000 + 32,5X^2 - 2500 \cdot 10^{-4}X^3;$$

график 8:

$$Y_8 = 160000 + 1166,7X - 100 X^2 + 4,6 X^3;$$

график 8':

$$Y_{8'} = 160000 + 300 X + 40 X^2.$$

Таблица 4.1 - Численные значения коэффициентов уравнений, описывающих изменение затрат от пробега

График	Значения коэффициентов					
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>
1	3423400	-	$24509,2 \cdot 10^{-3}$	$-14915,4 \cdot 10^{-5}$	$3232,4 \cdot 10^{-7}$	
2		3224,9	10,4	$684,4 \cdot 10^{-3}$	$-2700 \cdot 10^{-5}$	
4	260000	108,5	156	-5,2	$67200 \cdot 10^{-6}$	
6	90000	-979	$7208,3 \cdot 10^{-2}$	$-31610,4 \cdot 10^{-4}$	$54200 \cdot 10^{-6}$	
6'	90000	-208,3	32,5	$-2500 \cdot 10^{-4}$		
8	160000	1166,7	-100	4,6		
8'	160000	300	40			

Для определения и сравнения между собой основных показателей ремонтопригодности двигателей и установления наиболее целесообразных видов ремонтных обслуживаний, все расчёты по определению оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний выполнены на ЭВМ [84, 85, 86].

Рассмотрим процедуру определения оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний на примере двигателя ЯМЗ-240Н и сравним их значения с данными полученными экспериментально. Для расчета воспользуемся информацией, представленной в таблице 4.1.

Согласно п. 4.1, первое ремонтное обслуживание для всех вариантов (см. рисунок 3.29), для двигателя ЯМЗ-240Н проводится на пробеге 45,0 тыс. км. Для этого пробега вводим в память машины исходные данные графиков 1 и 2 (см. таблицу 4.1) и определим минимальные суммарные затраты. Согласно проведенного расчёта, эти затраты составили 273200 руб. По данным экспериментальных исследований минимальные суммарные затраты составили 284000 руб. Сопоставление расчётных и экспериментальных данных показывает, что они отличаются незначительно ( $\sim 4\%$ ).

Затем, согласно структуры рассматриваемого варианта, для пробегов на которых проводятся ремонтные обслуживания, определяем значения эксплуатационных затрат и остаточной стоимости двигателя. Значения этих затрат определяют по формуле 2.31, подставив в неё соответствующие зна-

чения коэффициентов регрессии таблицы 4.1. Выполнив суммирование значений эксплуатационных затрат и остаточной стоимости двигателя, получим их суммарные значения.

Определив суммарные значения затрат для каждого ремонтного обслуживания, согласно структуры рассматриваемого варианта, по формуле 2.33 находим общие затраты на поддержание двигателя в работоспособном состоянии за весь его срок службы. Затем по формуле 2.34 определяем величину удельных затрат на 1 км пробега двигателя. Сравнивая полученные значения удельных затрат на 1 км пробега по каждому рассматриваемому варианту, определяем оптимальный вариант. Оптимальный вариант считается тот, у которого значения удельных затрат на 1 км пробега будут наименьшими.

По результатам выполненного расчета, были получены следующие значения минимальных суммарных затрат.

По первому варианту: для пробега 45,0 тыс. км - затраты составили 273200 руб.; для пробега 81,0 тыс. км – 474800 руб.; для пробега 117,0 тыс. км – 420600 руб. и для пробега 153,0 тыс. км – 363900 руб.

По второму варианту: для пробега 45,0 тыс. км - затраты составили 273200 руб.; для пробега 81,0 тыс. км – 297000 руб.; для пробега 117,0 тыс.км – 420600 руб. и для пробега 146,0 тыс. км – 188900 руб.

По третьему варианту: для пробега 45,0 тыс. км - затраты составили 273200 руб.; для пробега 81,0 тыс. км – 297000 руб.; для пробега 100,5 тыс. км – 327300 руб.; для пробега 136,5 тыс. км – 390100 руб. и для пробега 165,5 тыс. км – 158600 руб.

Данные о среднем ресурсе, средней суммарной стоимости ремонтных обслуживаний и удельной стоимости ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н за весь их срок службы, по сравниваемым вариантам, приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Основные показатели ремонтопригодности двигателей  
ЯМЗ-240Н

Структура ремонта	Средний ресурс двигателя за весь срок службы, тыс. км	Средняя суммарная стоимость ремонтов двигателя	Удельная стоимость ремонтов двигателя, руб./км
КР – КР – КР	153,0	1527000	9,98
ПР1 – КР – ПР1	146,0	1181000	8,09
ПР1 – ПР2 – КР – ПР1	165,5	1435000	8,67

Выполненные расчёты (см. таблицу 4.2) и анализ показателей ремонтопригодности по рассматриваемым вариантам ремонтного обслуживания показывают:

- удельные затраты по первому варианту структуры ремонтного цикла (КР – КР) значительно выше по сравнению с другими вариантами. При этом варианте за амортизационный срок службы двигателя выполняется не менее трех ремонтных обслуживаний КР, а общий пробег составляет лишь 80% от нормативного. Проведение такого количества ремонтных обслуживаний КР противоречит наметившейся тенденции к сокращению общего количества капитальных ремонтных обслуживаний проводимых над объектом;
- несколько выше значения удельных затрат по третьему варианту (ПР1 – ПР2 – КР) по сравнению со вторым. Объясняется это тем, что затраты на проведение ремонтного обслуживания ПР2 почти в два раза превышают затраты на проведение ремонтного обслуживания ПР1, а пробег после этого ремонтного обслуживания не достигает даже минимально допустимого пробега, равного 20,0 тыс. км. Применение этого варианта является нецелесообразным и поэтому сравнивание экономических результатов с другими вариантами не приводится;
- оптимальным является второй вариант (ПР1 – КР), у которого удельные затраты минимальны. При этом варианте выполнение промежуточного ремонтного обслуживания ПР1, при котором проводится замена наименее долговечных деталей задолго до ремонтного обслуживания КР, позволяет повысить ресурс двигателя

до капитального ремонтного обслуживания на 36,0 тыс. км. По данным экспериментальных исследований, стоимость ремонтного обслуживания ПР1 составляет 90000 руб. [75, 76, 77].

#### **4.3. Расчет экономической эффективности от внедрения оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей**

Определение экономического эффекта, получаемого за счёт внедрения в практику ремонтного обслуживания двигателей заменой изношенных элементов, представляет определённые трудности.

Внедрение ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта, путем замены изношенных деталей, позволяет сократить общее количество заводских капитальных ремонтных обслуживаний, снизить трудоёмкость на ремонтное обслуживание, уменьшить продолжительность простоев и потери связанные с простоями в ремонтном обслуживании. Рассматриваемый способ даёт возможность сократить количество полных разборок двигателей, что, кроме снижения трудоемкости позволяет сохранить приработку не заменённых деталей и увеличить их срок службы. Внедрение в практику ремонтного обслуживания двигателей заменой изношенных элементов способствует изменению их структурного состава, т.е. соотношение количества «новых» и капитально восстановленных двигателей в пользу первых.

Учёт всех перечисленных факторов на стадии внедрения не представляется возможным. Поэтому ограничимся определением годового экономического эффекта за счёт наиболее существенных факторов – снижения трудоемкости, уменьшения затрат на ремонтное обслуживание и потерь, связанных с простоями в ремонтном обслуживании.

Экономический эффект может быть установлен путём сопоставления затрат, трудоемкости и простоев при традиционной системе ремонтного обслуживания с

организационной структурой ремонтного обслуживания, представленной в настоящей работе.

В качестве обобщённого оценочного показателя чаще всего применяют приведенные удельные затраты существующего и нового вариантов [30, 106]:

$$\mathcal{E} = (Z_1 + E_n K_1) - (Z_2 + E_n K_2), \text{ руб.} \quad (4.3)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект, руб.;  $Z_1$  и  $Z_2$  - текущие затраты по существующему и предлагаемому вариантам, руб.;  $K_1$  и  $K_2$  - капитальные вложения по существующему и предлагаемому вариантам, руб.;  $E_n$  – нормативный коэффициент экономической эффективности. Согласно [30] составляет 0,15.

С некоторым приближением, можно принять, что дополнительные капитальные вложения при новом варианте организации ремонтного обслуживания не требуются, поэтому можно принять:

$$E_n \cdot K_1 = E_n \cdot K_2, \quad (4.4)$$

Тогда экономическую эффективность от предлагаемого варианта ремонтного обслуживания можно определить на основании рекомендаций [30], как разность текущих затрат по первому и второму вариантам:

$$\mathcal{E} = Z_1 - Z_2, \quad (4.5)$$

При первом варианте ( $KP - KP - KP$ ), в текущие затраты входят затраты на капитальные ремонтные обслуживания  $Z_{kp1}$ , потери от простоев в ремонтном обслуживании  $d_{kp1}$  и транспортные расходы  $Z_{kp1}^{tp}$ :

$$Z_1 = Z_{kp1} + d_{kp1} + Z_{kp1}^{tp}, \quad (4.6)$$

При втором варианте ( $PR1 - KP - PR1$ ), в текущие затраты входят затраты на ремонтные обслуживания  $KP - Z_{kp2}$  и  $PR1 - Z_{pr1}$ , потери от простоев в ремонтном обслуживании  $d_{kp2}$ ,  $d_{pr1}$ , потери от недоиспользования ресурса преждевременно заменяемых деталей  $q_{pr1}$  и транспортные расходы  $Z_{kp2}^{tp}$ :

$$Z_2 = Z_{kp2} + d_{kp2} + Z_{kp2}^{tp} + Z_{pr1} + d_{pr1} + q_{pr1}, \quad (4.7)$$

По результатам экспериментальных исследований [114], общие затраты  $C^{\text{общ}}$  на поддержание двигателя ЯМЗ-240Н в работоспособном состоянии за полный срок его службы, составили:

- для варианта КР – КР – КР - 1432500 руб. (см. табл.4.2);
- для варианта ПР1 – КР – ПР1 - 1179600 руб. (см. табл.4.2).

Продолжительность простоев двигателей в заводском капитальном ремонтном обслуживании по нормативам и опыту составляет 24 дня [83]. Продолжительность простоев при замене изношенных деталей складывается из простоев при соответствующих ремонтных обслуживаниях, включая сложность выполняемых работ (до 6 дней). Общая продолжительность простоев двигателя в ремонтных обслуживаниях составило:

- по первому варианту – 72 дня (три ремонта по 24 дня);
- по второму варианту – 36 дней (одно ремонтное обслуживание КР по 24 дня и два ремонтных обслуживаний ПР1 по 6 дней).

Убытки, от простоев в ремонтном обслуживании, выражаются через потери прибыли, размер которой на 1 машино-час работы составляет 1200 руб. [75, 77]. При расчётах прибыли средняя продолжительность работы автомобиля БелАЗ-7548 в сутки принимается 14 час [44]. Кроме того, при расчётах вводится коэффициент, учитывающий продолжительность простоев автомобиля по причине нахождения двигателя в капитальном ремонтном обслуживании, который равен 0,5 [98].

Потери прибыли, по причине простоя двигателя в ремонтных обслуживаниях за весь срок службы, составил:

- базовому варианту:

$$d_{KP1} = 1200 \times 72 \times 14 \times 0,5 = 604800 \text{ руб.};$$

- по предлагаемому варианту:

$$d_{KP2} = 1200 \times 36 \times 14 \times 0,5 = 302400 \text{ руб.}$$

Затраты на транспортировку двигателя в капитальное ремонтное обслуживание определены согласно [74, 75, 76, 77].

Потери от недоиспользования ресурса деталей, заменяемых с остаточным ресурсом, определялись по формуле 2.20 (см. раздел II).

Данные для расчета экономической эффективности ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н, за весь его срок службы, приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 - Исходные данные для расчета экономической эффективности ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н от внедрения новой системы ремонтного обслуживания

Показатели	Обозначение	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Затраты на ремонт, руб.	3	1432500	1179600
Потери прибыли от простоев в ремонте, руб.	d	604800	302400
Затраты на транспортировку, руб.	3 <sup>тр</sup>	10200	5400
Потери от недоиспользования ресурса деталей, руб.	q	0	199400

Текущие затраты за весь срок службы двигателя, составили:

- по базовому варианту:

$$C_1^{\text{общ}} = 1432500 + 604800 + 10200 = 2047500 \text{ руб};$$

- по предлагаемому варианту:

$$C_2^{\text{общ}} = 1179600 + 302400 + 5400 + 199400 = 1684800 \text{ руб}.$$

Народнохозяйственный эффект от внедрения предлагаемого варианта, составил:

$$\mathcal{E} = 3_1 - 3_2 = 2047500 - 1684800 = 362700 \text{ руб}.$$

Годовой экономический эффект на 1 двигатель составит:

$$\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{ед}} = \mathcal{E}(E_h + K), \text{ руб.} \quad (4.8)$$

где К – коэффициент реновации, К = 0,08.

Годовой экономический эффект составил:

$$\mathcal{E}_{\text{год}}^{\text{ед}} = 3627 (0,15 + 0,08) = 83400 \text{ руб.}$$

В приложении 4 приведен расчёт годового экономического эффекта опытного внедрения новой системы ремонтного обслуживания дизелей карьерного транспорта методом замены изношенных элементов, на ЗАО «Гормаш» г. Белгорода на примере двигателя ЯМЗ-240Н, а в приложении 5 - практическая реализация результатов внедрения НИР в учебном процессе НЧОУ «Курский автодорожный институт».

## Выводы по главе

1. При сравнении экспериментально полученных величин показателей ремонтопригодности по сравниваемым вариантам структуры ремонтного обслуживания установлено, что экономически целесообразным (оптимальным) вариантом является вариант – ПР1 – КР – ПР1.
2. Внедрение в ремонтную практику промежуточного ремонтного обслуживания ПР1, позволяет увеличить ресурс двигателя ЯМЗ-240Н до капитального ремонтного обслуживания на 36,0 тыс. км.
3. Установлено, что экономически оправдано проведение одного капитального ремонтного обслуживания за полный амортизационный срок службы двигателя.
4. Поскольку ресурс двигателя после проведения ремонтного обслуживания ПР2 составляет 19,5 тыс. км, что меньше  $L_{min}$ , его выполнение на пробеге 81,0 тыс. км является экономически нецелесообразным. На этом пробеге вместо ремонтного обслуживания ПР2 необходимо выполнить ремонтное обслуживание КР.
5. Предлагаемый вариант структуры ремонтных обслуживаний позволяет довести ресурс двигателя ЯМЗ-240Н до списания до 146,0 тыс. км, что на 22% больше базового варианта.
6. Годовой экономический эффект на один двигатель, от внедрения в практику предлагаемого варианта ремонтного цикла, составил для двигателя ЯМЗ-240Н – 83400 руб.

## Общие выводы

1. Глубоко и всесторонне исследованы дефекты, износы и отказы основных деталей двигателей ЯМЗ-240Н при их поступлении в первое капитальное ремонтное обслуживание, которые могут служить основой для совершенствования их конструкции, технологии изготовления и системы ремонтного обслуживания.
2. Экспериментальные исследования показали, что при существующей системе организации ремонтного обслуживания большинство блоков цилиндров при поступлении двигателей ЯМЗ-240Н в первое капитальное ремонтное обслуживание в восстановлении не нуждаются и вполне пригодны к дальнейшей эксплуатации.
3. Установлено, что у двигателей технологического транспорта ресурс основных деталей колеблется в широких пределах и не соблюдается их кратность. Так, например, у двигателей ЯМЗ-240Н коэффициент относительной долговечности основных деталей колеблется от 0,53 до 1,0 и более, что способствует ранней постановки их на ремонтное обслуживание.
4. Установлено, что деталями, лимитирующими ресурс двигателя ЯМЗ-240Н, являются гильзы цилиндров, поршни, поршневые кольца, шатунные вкладыши. Наименьший ресурс, у гильз цилиндров, равный 45,0 тыс. км.
5. Выполненные исследования показали целесообразность и экономическую эффективность ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н путём одновременной замены групп деталей. Это позволяет снизить количество дорогостоящих капитальных ремонтных обслуживаний, расход запасных частей и материалов, продолжительность простоев в ремонтном обслуживании, потери от простоев, а также значительно повысить качество ремонтного обслуживания.
6. Установлено, что оптимальной структурой ремонтных обслуживаний является структура ПР1 – КР – ПР1. При этом за полный амортизационный срок службы двигателя ЯМЗ-240Н выполняется только одно капитальное ремонтное обслуживание на пробеге 81,0 тыс. км, а пробег двигателя до списания составил 146,0 тыс. км, что на 22% больше чем у базового варианта.

7. В целях повышения уровня организации ремонтного обслуживания целесообразно для новых и капитально восстановленных двигателей технологического транспорта иметь ремонтный комплект деталей, обеспечивающих выполнение промежуточного ремонтного обслуживания ПР1.

8. Для реализации разработанных положений по совершенствованию организации ремонтного обслуживания на специализированных ремонтных предприятиях целесообразно создать линии по восстановлению работоспособности двигателей путем одновременной замены групп деталей (узлов). Это позволит улучшить качество ремонтного обслуживания, снизить трудовые затраты и простоя в ремонтном обслуживании.

9. Годовой экономический эффект на один двигатель ЯМЗ-240Н от внедрения в ремонтную практику оптимальной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний (предлагаемый вариант) составил – 83400 руб.

10. В дальнейших исследованиях данной проблемы целесообразно вести разработки в направлении совершенствования методов и средств диагностирования фактического технического состояния двигателей карьерного транспорта с целью определения своевременного проведения ремонтных обслуживаний.

## Библиографический список

1. **Абросимов, Г.Г.** Проектирование транспортных схем карьеров. /Г.Г. Абросимов. //Горный журнал. – 2006. - № 4. - С. 17 – 20.
2. **Авдоныкин, Ф.Н.** Методика определения оптимальной наработки двигателя до предупредительного ремонта. /Ф.Н. Авдоныкин и др. //Автомобильная промышленность. –1997. -№ 1. - С. 7 - 8.
3. **Авдоныкин, Ф.Н.** Повышение срока службы автомобильных двигателей. /Ф.Н Авдоныкин. – Саратов: Приволжское книжное издательство, 2009. - 280 с.
4. **Аверкин, В.** Влияние фактора времени и качества капитального ремонта на срок службы автомобиля. /В. Аверкин и др. //Автомобильный транспорт. – 1999. - № 6. - С. 38 – 40.
5. **Артемьев, Ю.Н.** Сменно-комплектный метод устранения отказов и ремонта тракторов. /Ю.Н. Артемьев. //Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1991. - № 4. - С. 37 – 39.
6. **Асоян, А.Р.** Научные основы повышения долговечности автомобильных двигателей совершенствованием методов оценки технического состояния и технологий восстановления их основных элементов : дис. на соиск. степ.докт. техн. наук: 05.22.10 /Асоян Артур Рафикович. – Волгоград, 2012. - 384 с.
7. **Беллман, Р.** Прикладные задачи динамического программирования. /Р. Беллман, С. Дрейфус. – М.:Наука,2005. – 460 с.
8. **Березин, И.С.** Методы вычислений. Т. 1. /И.С. Березин, Н.П. Жидков. – М.: Наука, 1996. - 632 с.
9. **Березин, И.С.** Методы вычислений. Т. 2. /И.С. Березин, Н.П. Жидков. – М.: Наука, 1996. - 620 с.
10. **Болдин, А.П.** Основы научных исследований: учебник. /А.П. Болдин, В.А. Максимов. – М:Академия, 2012. - 336 с.
11. **Бородин, Д.** Технический прогресс в ремонтном производстве. /Д. Бородин. //Автомобильный транспорт. – 1995.- № 3. - С. 41 – 42.

12. **Бредихин, А.А.** Современные технологии эксплуатации и обслуживания карьерного автотранспорта. /А.А. Бредихин, Д.А. Нигматуллин. //Горный журнал. – 2007. - № 5. - С. 40 – 43.
13. **Великанов, Д.П.** Эффективность автомобиля. /Д.П. Великанов. – М.: Транспорт, 1999. - 240 с.
14. **Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей. /Е.С. Вентцель. – М.: Наука, 1999. - 576 с.
15. **Владзиевский, А.П.** Монтаж, эксплуатация и ремонт металлорежущих станков. /А.П. Владзиевский, М.О. Якобсон. – М.: Машиностроение, 1997. – 246 с.
16. **Владзиевский, А.П.** Необходим ли капитальный ремонт? /А. Владзиевский, М. Якобсон. //Коммунист. – 1989. - № 9. - С. 28 – 30.
17. **Волков, П.Н.** Надежность и некоторые вопросы экономики машин. /П.Н. Волков, А.И. Аристов, В.П. Рачинский. //Надежность и контроль качества. – 1999. - № 12. - С. 33 – 36.
18. **Волчок, В.Ф.** Сервисное обеспечение техники «БелАЗ». /В.Ф. Волчок, Н.Н. Зуй, А.О. Гаравский. //Горный журнал. – 2008. - № 9. - С. 69 – 94.
19. **Гальперин, А.С.** Определение оптимальной долговечности машин. /А.С. Гальперин, М.И. Сушкевич. – М.: Колос, 1990. – 184 с.
20. **Гасанов, Б.Г.** Взаимная диффузия и гомогенизация в порошковых сплавах . /Б.Г. Гасанов. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2002. – 113с.
21. **Герцбах, И.Б.** Модели отказов. /И.Б. Герцбах, Х.Б. Кардонский. – М.: Советское радио, 1996. – 165 с.
22. **Гмурман, В.С.** Теория вероятностей и математическая статистика. /В.С. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2002. - 368 с.
23. **Гнеденко, Ю.Н.** Математические методы в теории надежности. /Ю.Н. Гнеденко и др. – М.: Наука, 2005. - 524 с.
24. **ГОСТ 13377-75.** Надежность в технике. Термины и определения. – М.: Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 1995. - 21 с.
25. **ГОСТ 14846-81.** Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1991. - 53 с.

26. **ГОСТ 16468-79.** Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Основные положения. – М.: Издательство стандартов, 1999. - 15 с.
27. **ГОСТ 17509-72.** Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. – М.: Издательство стандартов, 1993. - 14 с.
28. **ГОСТ 17510-72.** Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений – М.: Издательство стандартов, 1973. - 15 с.
29. **ГОСТ 17526-72.** Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Требование и содержание форм учета наработок, повреждений и отказов – М.: Издательство стандартов, 1973. - 16 с.
30. **Государственный комитет по делам изобретений и открытий. Всесоюзный научно-исследовательский институт патентной информации. Методика определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. Основные положения.** – М.: Экономика, 1992. 41 с.
31. **Григорьев, М.А.** Обеспечение надежности двигателей. /М.А. Григорьев, В.А. Долецкий. – М.: Издательство стандартов, 1998. - 323 с.
32. **Двигатели ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240П.** Инструкция по эксплуатации. – Ярославль: ЯМЗ, 1999. - 151 с.
33. **Денисов, А.С.** Исследование режима диагностирования кривошипно-шатунной группы дизельных двигателей по толщине масляного слоя /А.С. Денисов, И.К. Данилов. //Вестник СГТУ (Надежность машин). – 2003. - №1. - С. 71-75.
34. **Дубровин, Л.И.** К вопросу определения экономически оптимальных периодичности ремонтов и сроков службы сложных систем. /Л.И. Дубровин. //Надежность и контроль качества. – 1990. - № 4. - С. 9 – 23.
35. **Дюмин, И.Е.** Повышение эффективности ремонта автомобильных двигателей. /И.Е. Дюмин.– М.: Транспорт, 1987. - 175 с.
36. **Дюмин, И.Е.** Проблемы совершенствования ремонта и повышение эффективности использования автомобильных двигателей: дис. на соискание ученой

степени докт.техн. наук: 05.22.10 /Дюмин Иван Елисеевич. – Харьков, 1979. - 388 с.

37. **Дюмин, И.Е.** Некоторые проблемы ремонта. /И.Е. Дюмин. //Автомобильный транспорт. - № 4, 1984. - С. 37 – 39.

38. **Ершов, В.А.** Нормирование выбросов в атмосферу при разработке рассыпных месторождений /В.А. Ершов, Н.Н. Малышева. //Горный журнал. – 2005. – № 2. - С. 73 – 76.

39. **Ждановский, Н.С.** Надежность и долговечность автотракторных двигателей. /Н.С. Ждановский, А.В. Николаенко. – Л.: Колос, 1982. - 295 с.

40. **Индикт, Е.А.** Определение оптимального ресурса автомобилей. /Е.А. Индикт, В. Любимов. //Автомобильный транспорт. - № 3, 1992. - С. 33 – 36.

41. **Индикт, Е.А.** Определение ресурса двигателей по техническим и экономическим критериям. /Е.А. Индикт, А.М. Шейнин. //Автомобильная промышленность. - № 2, 1971. - С. 5 – 7.

42. **Индикт, Е.В.** К вопросу о надёжности автомобильных конструкций. /Е.В. Индикт, Е.И. Кривенко, В.А. Черняйкин. //Автомобильная промышленность. - 1998, № 11. - С. 14 – 16.

43. **Казарцев, В.И.** Ремонт машин. /В.И. Казарцев. - Л.-М.: Сельхозиздат, 1962. - 585 с.

44. **Каменецкий,Л.** О сроке службы большегрузных автомобилей-самосвалов. /Л. Каменецкий, З. Сироткин, А. Казарез. //Автомобильный транспорт. –1992. – № 3 - С. 22 – 24.

45. **Карагодин, В.И.** Ремонт автомобиле и двигателей: Учебное пособие. /В.И. Карагодин, Н.Н. Митрохин. – М: Академия, 2009. – 496 с.

46. **Карасёв, А.И.** Теория вероятностей и математическая статистика. /А.И. Карасёв. – М.: Статистика, 2000. – 344 с.

47. **Китаев, Р.М.** Совершенствование организации работы технологического транспорта в карьере Мурунтау. /Р.М. Китаев, Т.П. Пердебаев. //Горный журнал. – 2008. - № 8. - С. 52 – 54.

48. **Клочков, Н.М.** Современное состояние и развитие открытых горных работ на Джетыгаринском месторождении. /Н.М. Клочков, М.А. Жакеев, Б.А. Жуматав, М.С. Нурумов. //Горный журнал. – 2005. - № 9. - С. 34 – 36
49. **Колегаев Р.Н.** Определение наивыгоднейших сроков службы машин. /Р.Н. Колегаев. – М.: Экономика, 1963. – 227 с.
50. **Колегаев, Р.Н.** Экономическая оценка качества и оптимизации системы ремонта машин. /Р.Н. Колегаев. – М.: Машиностроение, 1990. - 240 с.
51. **Колегаев, Р.Н.** Экономическая оценка надежности машин. /Р.Н. Колегаев. – Харьков: Прапор, 1999. - 78 с.
52. **Коровкин, П.П.** Математический анализ. /П.П. Коровкин. – М.: Просвещение, 1972. – 448 с.
53. **Концепция** долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года. Утверждено распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 ноября 2008 года № 1662-р.
54. **Корчагин, В.А.** Методические основы управления потоковыми процессами на автомобильном транспорте: учебн. пособие /В.А. Корчагин, С.А. Ляпин. – Липецк: ЛГТУ, 2007. - 246 с.
55. **Кошкин, К.Т.** Технологические основы авторемонтного производства: дис. на соискание ученой степени докт.техн. наук. /Кошкин Константин Тимофеевич. – М.: 1967. – 444 с.
56. **Крамаренко, Г.В.** К вопросу о наивыгоднейшем режиме технического обслуживания автомобилей. Сб. «Технико-экономические вопросы использования подвижного состава автомобильного транспорта». - М.: Автотрансиздат, 1956.
57. **Красонтович, И.В.** Определение потерь от простоя автомобилей. /И.В. Красонтович, В.В. Палковский. //Киев: Автодорожник Украины. – 1995. - № 3. - С. 41 - 43.
58. **Крившин, А.П.** Ремонт бульдозеров агрегатным методом. /А.П. Крившин, Н.Ф. Печенин. – М.: Транспорт, 1999. – 171 с.

59. **Кузнецов, Е.С.** Методы определения периодичности технического обслуживания и целесообразности принудительного ремонта. /Е.С. Кузнецов. //Автомобильная промышленность. – 1995. - № 6. - С. 10 – 14.
60. **Кулешов, А.А.** О концепции научно-технической программы «Карьерная техника 2020. /А.А. Кулешов. //Горный журнал 2007. - № 6. - С. 68 – 70.
61. **Лепетюха, С.В.** Состояние и перспективы развития автомобильного технологического транспорта в ОАО «Лебединский ГОК». /С.В. Лепетюха, А.С. Якушев. //Горный журнал. – 2007. - № 7. - С. 25 – 27.
62. **Луйк, И.А.** Определение ресурса автомобильного двигателя в зависимости от сроков службы его деталей. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. /И.А. Луйк и др. //Техника. - 1996. - Выпуск 13. - С. 50 – 56.
63. **Луйк, И.А.** Оптимизация управления техническим обслуживанием автомобилей. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. /И.А. Луйк и др. //Техника. - 1997 Выпуск 14. - С. 30 – 33.
64. **Макаров, Ю.С.** К вопросу прогнозирования надёжности деталей и узлов автомобиля. /Ю.С. Макаров, Б.Ф. Нормухамедов. //Автомобильная промышленность. – 1999. - № 4. - С. 9 – 11.
65. **Маркус, М.** Обзор по теории матриц и матричных неравенств. /М. Маркус, Х. Минск. – М.: Эдиториал УРСС, 2004. – 232 с.
66. **Мартинсон, В.Н.** Современное состояние и перспективы развития карьера./В.Н. Мартинсон, И.Я. Швец. //Горный журнал. – 2006. - № 7. - С. 52 – 54.
67. **Маслов, Н.Н.** Эффективность и качество ремонта автомобилей. /Н.Н. Маслов. – М.: Транспорт, 1998. – 304 с.
68. **Моисеев, Н.Н.** Численные методы в теории оптимальных систем. /Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 2001. – 424 с.
69. **Налимов, В.В.** Теория эксперимента. /В.В. Калимов. – М.: Наука, 1991. – 208 с.

70. **Новиков, А.Н.** Восстановление и упрочнение деталей машин, изготовленных из алюминиевых сплавов электрохимическими способами: Учебное пособие. /А.Н. Новиков. – Орёл: изд. ОрёлГТУ, 2004. – 170 с.
71. **Новиков, А. Н.** Технологические основы восстановления и упрочнения деталей сельскохозяйственной техники из алюминиевых сплавов электрохимическими способами. / А. Н. Новиков. — Орёл :ОрёлГАУ,2001.-233 с.
72. **Обработка** результатов незавершенных испытаний на долговечность изделий машиностроения. РТМ 37.001.006-74. – М.: Министерство автомобильной промышленности, 1994. – 17 с.
73. **ОСТ 37.001.043-72.** Надежность изделий машиностроения. Система сбора и обработки информации. Определение числа объектов наблюдений, проводимых в автотранспортных предприятиях. – М.: Министерство автомобильной промышленности, 1972. – 14 с.
74. **Отчет** Белгородского завода «Гормаш» о выполнении плана по себестоимости товарной продукции. – Белгород: завод «Гормаш», 1995- 2005. – 25 с.
75. **Отчет** Лебединского ГОКа о выполнении плана по себестоимости товарной продукции. – Губкин: ЛГОК, 1995- 2005. – 45 с.
76. **Отчет** Михайловского ГОКа о выполнении плана по себестоимости товарной продукции. – Железногорск: МГОК, 1995- 2005. – 35 с.
77. **Отчет** Стойленского ГОКа о выполнении плана по себестоимости товарной продукции. – Старый Оскол: СГОК, 1995- 2005. – 45 с.
78. **Панкратов, Н.** Управление использованием ресурса автомобилей в рядовых условиях эксплуатации. /Н. Панкратов, А.М. Шейнин. //Автомобильный транспорт. 1999. - № 10. - С. 18 – 20.
79. **Петров, Ю.Н.** Основы ремонта машин. /Ю.Н. Петров и др. Под общей редакцией Ю.Н. Петрова. – М.: Колос, 1992. – 527 с.
80. **Плохова, С.А.** Эксплуатация большегрузного транспорта на Олимпиадинском ГОКе. /С.А. Плохов, В.В. Кошевой, Д.Ю. Шакин. //Горный журнал. – 2007. - № 6. - С. 24 – 28.

81. **Положение** о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Часть 1. Автомобили-самосвалы БелАЗ-540, БелАЗ-540А, БелАЗ-540С, БелАЗ-548А, БелАЗ-548С, , БелАЗ-7510, БелАЗ-7525. – М.: Транспорт, 1999. –46 с.
82. **Положение** о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. Часть 2. Автомобили-самосвалы БелАЗ-540, БелАЗ-540А, БелАЗ-540С, БелАЗ-548А, БелАЗ-548С, , БелАЗ-7510, БелАЗ-7525. – М.: Транспорт, 1999. – 48 с.
83. **Положение** о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта. – М.: Транспорт, 1986. – 72 с.
84. **Программа** определения оптимального варианта ремонта двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н. «Ремонт». Текст программы. Государственный комитет РСФСР по статистике.– Белгород: Белгородское областное управление статистики,1999. – 8 с.
85. **Программа** определения оптимального варианта ремонта двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н. «Ремонт». Описание применения. Государственный комитет РСФСР по статистике.– Белгород: Белгородское областное управление статистики. 1999. –16 с.
86. **Программа** определения оптимального варианта ремонта двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н. «Ремонт». Руководство оператора. Государственный комитет РСФСР по статистике. – Белгород: Белгородское областное управление статистики. 1999. –9 с.
87. **Ремонтопригодность** машин. Под редакцией Н.П. Волкова. – М.: Машиностроение, 1995. – 368 с.
88. **Родионов, Ю.В.** Теоретические основы бестормозной обкатки автотракторных двигателей /Ю.В. Родионов. – М.: 2004. – 78 с. - Деп. в ВИНИТИ. Рер. № 1800.
89. **РТМ 37.001.006-74.** Обработка результатов незавершенных испытаний на долговечность изделий машиностроения. – М.: Министерство автомобильной промышленности, 1994. – 17 с.

90. **Селиванов А.И.** Основы теории старения машин. /А.И. Селиванов. – 2-е изд. - М.: Машиностроение, 1991. – 408 с.
91. **Сиденко, В.М.** Основы научных исследований. /В.М. Сиденко, И.М. Грушко. – Харьков: Вища школа, 1999. – 199 с.
92. **Тарасов, П.И.** Пути экономии дизельного топлива на карьерном автотранспорте. /П.И. Тарасов. //Горный журнал. – 2006. - № 2. - С. 72 – 75.
93. **Техническое обслуживание автомобилей БелАЗ.** Инструкция по эксплуатации и ремонту. – М.: Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований цветной металлургии, 1971. – 306 с.
94. **Технические условия на капитальный ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240Б.** – Ярославль: ЭРО-ЯМЗ, 1996. – 550 с.
95. **Технические условия на капитальный ремонт двигателей ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-240Б. 240-00.00.00РК.** – Белгород: ОГК завода «Гормаш», 1996. – 140 с.
96. **Техническая эксплуатация автомобилей.** Под редакцией Г.В. Крамаренко. – М.: Транспорт, 1983. 488 с.
97. **Технология ремонта автомобилей.** Под редакцией Л.В. Дехтеринского. – М.: Транспорт, 1999. – 342 с.
98. **Титиевский, Е.М.** Интенсификация горнорудной промышленности и проблемы ее ремонтного производства. /Е.М. Титиевский и др. //Горный журнал. – 1994. - № 8. - С. 3 – 7.
99. **Трубецкой, К.Н.** Высокоуступная технология открытых горных работ на основе применения кранлайнов. /К.Н. Трубецкой, А.Н. Домбровский, И.А. Сидоренко, Н.П. Сеинов, Н.Н. Киселёв. //Горный журнал. – 2005. - № 4. - С.40 – 43.
100. **Фадеев, Д.К.** Вычислительные методы линейной алгебры. /Д.К. Фадеев, В.Н. Фадеева. – М.: Лань, 2009. - 736 с.
101. **Хальд А.** Математическая статистика с техническим приложением. /А. Хальд. – М.: Изд. иностранной литературы, 1996. - 664 с.

102. **Хедли Дж.** Нелинейное и динамическое программирование. /Дж. Хедли. – М.: Мир, 1997. – 507 с.
103. **Ховард Р.** Динамическое программирование и марковские процессы. /Р. Ховард. – М. Советское радио, 1994. – 192 с.
104. **Чаплыгин, Н.Н.** Горное производство. /Н.Н. Чаплыгин, Д.В. Жулковский. //Горный журнал. – 2005. - № 4. - С . 9 – 11.
105. **Чудаков, К.П.** Основы теории долговечности и надежности машин. \ К.П. Чудаков. – М.: Стройиздат, 1983. – 72 с.
106. **Чумак, В.И.** Прогнозирование и оптимизация долговечности автотракторных двигателей на основе ускоренной оценки их предельного состояния. Дис. на соискание ученой степени докт.техн. наук: 05.20.03 /Чумак Виктор Иванович. – Ленинград – Пушкин, 1989. – 373 с.
107. **Шатерников, М.В.** Износы и дефекты основных деталей и ресурс двигателей ЯМЗ-240Н /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников. //Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 3. - С. 8 – 15.
108. **Шатерников, М.В.** Пути повышения ресурса двигателей карьерных самосвалов БелАЗ до капитального ремонта /М.В. Шатерников, Ю.В. Семикопенко, В.С. Шатерников. //Мир транспорта и технологических машин. - 2013, № 4. - С. 19 – 26.
109. **Шатерников, М.В.** Результаты экспериментального исследования и эффективности бестормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н /М.В. Шатерников, Н.А. Загородний, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2013. - № 12. - С. 33 - 36.
110. **Шатерников, М.В.** Экспериментальные исследования режимов и эффективности бестормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н. /М.В. Шатерников, Н.А. Загородний, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2013. - № 11. - С. 32 – 34.
111. **Шатерников, М.В.** Оптимизация структуры и периодичности ремонтных обслуживаний двигателя ЯМЗ-240Н. /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 2. - С. 33 - 36.

112. **Шатерников, М.В.** Совершенствование организации ремонтного обслуживания агрегатов карьерных большегрузных самосвалов. /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, Н.А. Загородний, В.С. Шатерников. //Автомобильная промышленность. – 2014. - № 4. - С. 22 – 24.
113. **Шатерников, М.В.** Повышение надёжности и долговечности двигателя ЯМЗ-240Н. /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 7. - С. 42 – 45.
114. **Шатерников, М.В.** Определение оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - №10. - С. 35 – 39.
115. **Шейнин, А.М.** Методы определения и поддержания надежности автомобилей в эксплуатации. /А.М. Шейнин. – М.: Транспорт, 1998. - 98 с.
116. **Шейнин, А.М.** Методы совершенствования технического обслуживания подвижного состава. Экспресс-информация. Выпуск 7. Серия: «Техническая эксплуатация и ремонт автомобиля». /А.М. Шейнин. – М.: Автомобильный транспорт, 1991. - 17 с.
117. **Шейнин, А.М.** Некоторые системы замены деталей машин. /А.М. Шейнин. //Надежность и контроль качества. – 1990. - № 4. - С. 29 – 31.
118. **Шор Я.Б.** Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности. /Я.Б. Шор. – М.: Советское радио, 1991.
119. **Шумик С.В.** Основы технической эксплуатации автомобилей. /С.В. Шумик. – Минск.: Вышэйшая школа, 1991. 286 с.
120. **Hasse B.** Optimal investmentdecistens. //Englewood Cliffs. - 1992. – V. 9. - Sh. 33 – 36.
121. **Nasling B.** Sirreitenconedeterminationof optimal repair poliey and serviselufs. //Swed, Scow. - 1998. - V. 2. - Sh. 42 – 45.
122. **Barlow R.**, Honder L. Optimum Preventive. NaintenangePolicies.//Oper.Res. - 1990. - V. 11.-Sh. 125.
123. **Dalzell G.** RebuiltERF //TransportEngineer. - 1981. - V.7. - Sh. 6 – 8.

## **Приложения**

**Приложение1**

**Блок-схема алгоритма и последовательность шагов, для определения неизвестных коэффициентов уравнения 2.31, по методу Жордано без обратного хода**



Последовательность шагов, для определения неизвестных коэффициентов:

- шаг 1 – проводим включение компьютера и подготавливаем его к предстоящим вычислениям;
- шаг 2 – вызываем подпрограмму ввода начальных значений при неизвестных коэффициентах. Тут же проводим контроль на цифру;

## Продолжение приложения 1

- шаг 3 – вводим подпрограмму построения основной матрицы, в которую вводят начальные коэффициенты. Одновременно вводится подпрограмма возведения в степень начальных коэффициентов;
- шаг 4 – создаем вспомогательную матрицу после возведения в степень начальных коэффициентов;
- шаг 5 – устанавливаем количество повторных циклов до определения искомых коэффициентов;
- шаг 6 – выбираем главный элемент. Главным элементом является максимальное значение в любом столбце матрицы, кроме последнего, после шага 3;
- шаг 7 – находим значения вспомогательной матрицы после выбора главного элемента. Значения вспомогательной матрицы по каждому столбцу определяются путем деления значений коэффициентов столбца на максимальное значение коэффициента по данной строке;
- шаг 8 – определяем новые коэффициенты вспомогательной матрицы по крайнему правому столбцу.

Вычисления, согласно шагов 5 – 8, проводим до тех пор, пока не будут определены искомые коэффициенты. Коэффициенты считаются установленными, если по диагонали сверху вниз в матрице будут стоять значения **1**, во всех остальных строках – значения **0**. В крайнем правом столбце будут находиться значения искомых коэффициентов.

- шаг 9 – проводим пересылку значений найденных коэффициентов в рабочий массив;
- шаг 10 – определяем значения конечных минимумов, включая проверку наличия корней;
- шаг 11 – выводим на печать значения найденных конечных минимумов;
- шаг 12 – конец машинной обработки, компьютер отключается.

## Последовательность определения оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателя

- шаг 1 – вводим значения коэффициентов уравнения 2.31 для зависимостей изменения стоимости нового двигателя и эксплуатационных затрат от пробега, и суммируем их значения;
- шаг 2 – определяем минимальное значение этого суммирования  $Y_{min}$ ; где  $Y_{min}$  – суммарные минимальные значения стоимости нового двигателя и эксплуатационных затрат к моменту постановки его на первое ремонтное обслуживание, руб.;
- шаг 3 – по значению  $Y_{min}$  определяем  $X$ , т.е. пробег, на котором необходимо провести ремонтное воздействие (ПР или КР);
- шаг 4 – проводим запоминание значения  $Y_{min}$ , т.е.  $Y_{min}$  направляем в память машины;
- шаг 5 – вводим значения коэффициентов уравнения 2.31 для зависимостей варианта КР – КР - … и суммируем их значения;
- шаг 6 – определяем минимальное значение этого суммирования  $Y1_{min}$ ; где  $Y1_{min}$  – стоимости двигателя и эксплуатационных затрат с учетом проведения капитального ремонтного обслуживания, руб.;
- шаг 7 – по значению  $Y1_{min}$  находим  $X1$ , т.е. находим пробег на котором необходимо проводить капитальное ремонтное обслуживание;
- шаг 8 – определяем удельные затраты на 1000 км пробега варианта КР – КР - .... Значение  $C1$  находим по формуле  $C1 = \frac{Y1}{X1-X}$  и направляем в память машины; где  $C1$  – удельные затраты на 1000 км пробега для варианта КР – КР - ..., руб./1000 км;
- шаг 9 – суммируем значения  $Y_{min}$  и  $Y1_{min}$  и направляем в память машины;
- шаг 10 – вводим значения коэффициентов уравнения 2.31 для зависимостей варианта ПР1 – КР - … и суммируем их значения;

## Продолжение приложения 2

- шаг 11 – определяем минимальное значение этого суммирования  $Y2_{min}$ ; где  $Y2_{min}$  – суммарные минимальные затраты стоимости двигателя и эксплуатационных затрат с учетом проведения ремонтного обслуживания ПР1, руб.;
- шаг 12 – по значению  $Y2_{min}$  находим  $X2$ , т.е. пробег, на котором необходимо проводить ремонтное обслуживание ПР1 или капитальное ремонтное обслуживание;
- шаг 13 – определяем удельные затраты на 1000 км пробега варианта ПР1 – КР
- .... Значение  $C2$  находим по формуле  $C2 = \frac{Y2}{X2 - X}$  и направляем в память машины; где –  $C2$  – удельные затраты на 1000 км пробега для варианта ПР1 – КР - ..., руб./1000 км;
- шаг 14 – сравниваем значения удельных затрат  $C1$  при проведении капитального ремонтного обслуживания и  $C2$  – при проведении ремонтного обслуживания ПР1. Если  $C1 < C2$  обеспечивается, то делаем проверку (см. шаг 15), а если не соответствует – см. шаг 19;
- шаг 15 – проверяем условие, при котором пробег после проведения капитального ремонтного обслуживания, будет больше или равен минимально допустимому пробегу  $L_{min}$ . Если это условие выполняется – см. шаг 16, если нет – см. шаг 23;
- шаг 16 – если обеспечивается условие  $X1 - X2 \geq L_{min}$ , необходимо проводить капитальное ремонтное обслуживание;
- шаг 17 – определяем оптимальное значение  $Y1_{opt}$  для капитального ремонтного обслуживания; где  $Y1_{opt}$  – оптимальные затраты двигателя для капитального ремонтного обслуживания, руб.;
- шаг 18 – для капитального ремонтного обслуживания присваиваем значение  $Y1_{min}$  и  $X = X1$ .

Затем вводятся значения для ремонтного обслуживания ПР2 (см. шаг 5-16);

## Продолжение приложения 2

- шаг 19 – проверяем условие, при котором пробег после проведения ремонтного обслуживания ПР1 больше или равен минимально допустимому пробегу  $L_{min}$ . Если это условие обеспечивается – см. шаг 20, если нет – см. шаг 23;
- шаг 20 – если выполняется условие  $X2 - X \geq L_{min}$ , необходимо проводить ремонтное обслуживание ПР1;
- шаг 21 – определяем оптимальное значение  $Y2_{opt}$  для ремонтного обслуживания ПР1; где  $Y2_{opt}$  – оптимальные затраты двигателя для ремонтного обслуживания ПР1, руб.;
- шаг 22 – для ремонтного обслуживания ПР1 присваиваем значение  $Y2_{min}$  и  $X = X2$ .

Затем вводятся значения для проведения ремонтного обслуживания ПР2 (см. шаг 5 и далее).

- шаг 23 – если обеспечивается условие  $X2 - X < L_{min}$ , ремонтное обслуживание ПР1 не выгоден;
- шаг 24 – определяем значения удельных затрат на 1000 км пробега после проведения капитального ремонтного обслуживания, руб./1000 км;
- шаг 25 – сообщаем на автоматическое цифропечатающее устройство (АЦПУ) значение  $C^{уд}$  для капитального ремонтного обслуживания;
- шаг 26 – определяем значение удельных затрат на 1000 км пробега для варианта с ремонтным обслуживанием ПР1, руб./1000 км;
- шаг 27 – сообщаем на АЦПУ  $C^{уд}$  с применением ремонтного обслуживания ПР1;
- шаг 28 – конец машинной обработки, машина выключается.

**Приложение 3****Карта дефектации коленчатого вала двигателя ЯМЗ-240Н**

Коленчатый вал № 74385

1. Внешний осмотр: На 2-й шатунной шейке коленчатого вала имеются цвета побежалости. На остальных шатунных шейках, имеются не значительные риски.

2. Результаты замеров:

Шатунная шейка	1-я				2-я				3-я			
	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73
Коренная опора	4-я				5-я				6-я			
	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73	87,73
Шатунная шейка	1-я		2-я		3-я		4-я		5-я		6-я	
	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92	191,92

3. Биение коленчатого вала:

- по 2-й опоре: 0,01
- по 3-й опоре: 0,02
- по 4-й опоре: 0,03
- по 5-й опоре: 0,02
- по 6-й опоре: 0,01

4. Диаметр носка вала: 101,97 мм

101,97 мм

5. Диаметр вала под упорный подшипник: 101,97 мм

101,97 мм

6. Утопание калибра по конусной поверхности: 0,2 мм

7. Заключение: Шатунные шейки коленчатого вала перешлифовать под размер 87,50<sub>-0,015</sub> мм. Коренные опоры перешлифовки не требуют. Резьбовые отверстия калибровать.

Дефектовщик:

Шатерников М.В.  
Ф.И.О.

*Шатерников*  
подпись

Дата 23 января 2014 г.

**Приложение 4**

Утверждаю:



Директор ПКП «Ремонт двигателей и агрегатов» ЗАО «Гормаш»

*Чирков* С.Д. Чирков

«11» 11 2014 г.

**АКТ**

опытного внедрения ремонта ПР1 и безтормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н на ЗАО «Гормаш»

Комиссия в составе: начальник бюро маркетинга и продаж ПКП «Ремонт двигателей и агрегатов» ЗАО «Гормаш» Евженко П.Б. эксперт ОГАУ ЦЭАТ «Белгородцентравто» Шатерников В.С., инженер НЧОУ ВПО «Курский автодорожный институт» (КАДИ) Шатерников М.В. составили настоящий акт в том, что на ЗАО «Гормаш» проведено опытное внедрение ремонта ПР1 и безтормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н на основе рекомендаций эксперта Шатерникова В.С. и инженера Шатерникова М.В.

Годовой экономический эффект составил – 1094,84 тыс. руб.

Работа выполнена совместно с ОГАУ ЦЭАТ «Белгородцентравто» и НЧОУ ВПО «Курский автодорожный институт». Доля участников внедрения поровну.

Начальник бюро маркетинга и продаж ПКП «Ремонт двигателей и агрегатов» ЗАО «Гормаш»

П.Б. Евженко

Эксперт ОГАУ ЦЭАТ «Белгородцентравто»

В.С. Шатерников

Инженер НЧОУ ВПО КАДИ

М.В. Шатерников

## Продолжение приложения 4



## РАСЧЁТ

экономической эффективности от внедрения ремонта ПР1 и безтормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н на ЗАО «Гормаш»

Опытное внедрение показало, что ремонт ПР1 и безтормозная обкатка позволили повысить ресурс двигателя ЯМЗ-240Н до и после капитального ремонта, снизить затраты на ремонтное обслуживание, уменьшить продолжительность простоев в ремонтном обслуживании, более полно реализовать ресурс основных деталей двигателя и получить соответствующие параметры деталей после обкатки не используя обкаточный стенд.

Расчётные данные, для определения затрат на восстановление одного двигателя, приведены ниже:

1. Запасные части	73018,0 руб.;
2. Заработка плата с начислениями	4576,0 руб.;
3. Затраты на безтормозную обкатку двигателя	10647,0 руб.;
4. Затраты на диагностирование	902,0 руб.;
5. Затраты по содержанию и эксплуатации оборудования	4510,0 руб.;
6. Материалы, включая ГСМ	2871,0 руб.;
7. Накладные расходы	9878,0 руб.;
8. Транспортно-заготовительные расходы	6655,0 руб.;
9. Энергия	4059,0 руб.

Итого: 117116,0 руб

В случае проведения всех работ, предусмотренных объёмом капитального ремонта, затраты составили бы – 226600 руб.

Экономический эффект, от внедрения ремонта ПР1 и безтормозной обкатки двигателя ЯМЗ-240Н, равен разности возможных затрат при существующей и предлагаемой системам ремонта:

$$\mathcal{E} = 226600 - 117116 = 109484 \text{ руб.}$$

Годовой экономический эффект при 10 ремонтах ПР1с проведением безтормозной обкатки двигателей, составил:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = 109484 \times 10 = 1094840 \text{ руб.}$$

Расчёт составили:

Начальник экономического бюро  
ПКП «Ремонт двигателей и агрегатов»  
ЗАО «Гормаш»  
Эксперт ОГАУ ЦЭАТ «Белгородцентртранс»  
Инженер НЧОУ ВПО КАДИ

*Богданов* В.И. Богданов  
*Шатерников* В.С. Шатерников  
*Шатерников* М.В. Шатерников

**Приложение 5**

**НЕГОСУДАРСТВЕННОЕ ЧАСТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«КУРСКИЙ АВТОДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ»**

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, д. 169 «А», тел. 52-55-35

Исх. № 672/74

От «08 сентября 2014 г.

Утверждаю:  
**Ректор НЧОУ ВПО  
«Курский автодорожный институт»**  
 к.т. н., доцент  
 Петридис А.В.

**СПРАВКА**

о практической реализации результатов НИР.

Научные результаты, полученные Шатерниковым Максимом Владимировичем в кандидатской диссертационной работе «Повышение эффективности ремонта обслуживания дизелей автомобилей, работающих в условиях карьеров», применяются с 01.09.2014 г. в учебном процессе студентами и преподавателями Курского автодорожного института при изучении следующих дисциплин «Силовые агрегаты и трансмиссия», «Основы технологии производства и ремонта автомобилей», «Технология и организация восстановления деталей и сборочных единиц при сервисном сопровождении».

При выполнении курсовых и дипломных проектов студентами и преподавателями используется учебное пособие «Теоретические основы ремонта автотранспортных средств». Авторы В.С. Шатерников, М.В. Шатерников. – Курск: изд. КАДИ, 2014. - 152 с.

Заведующий кафедрой  
 «Автомобильное хозяйство и автосервис»,  
 к.т.н., доцент

В.С. Шатерников