

На правах рукописи



**Шатерников Максим Владимирович**

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

специальность 05.22.10 – «Эксплуатация автомобильного транспорта»

**Автореферат**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Орёл – 2016

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

**Научный руководитель:** **Корчагин Виктор Алексеевич**  
заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты:** **Карагодин Виктор Иванович**  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин», ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет»;

**Родионов Юрий Владимирович**  
доктор технических наук, профессор кафедры  
«Эксплуатация автомобильного транспорта»,  
декан автомобильно-дорожного института,  
ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Юго-западный государственный университет», г. Курск

Защита диссертации состоится «**29**» **марта 2016 г.** в **10:00** часов на заседании объединенного диссертационного совета Д999.030.03 по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук на базе ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет», ФГБОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет», ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет» по адресу: **302030, г. Орел, ул. Московская, д.77, ауд. 426.**

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ([www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)) ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, аудитория 340.

Автореферат разослан «**25**» **февраля 2016 г.** Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Приокский государственный университет» ([www.gu-unpk.ru](http://www.gu-unpk.ru)) и на официальном сайте Министерства образования и науки Российской Федерации ([vak2.ed.gov.ru](http://vak2.ed.gov.ru)).

*Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации направлять в диссертационный совет по адресу: 302020, г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29. E-mail: D999.030.03@yandex.ru. Телефон для справок +7(905)8569797*

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
Д 999.030.03



Катунин А.А.

## 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Эффективное использование дорогостоящей автомобильной техники горнодобывающей промышленности, является одним из слагаемых качества работы. Поэтому, важнейшей задачей повышения эффективности работы карьерного автомобильного транспорта, является улучшение качества ремонтного обслуживания двигателей карьерных автомобилей-самосвалов.

Действующая система технического и ремонтного обслуживания в горнодобывающей промышленности в значительной степени определяет затраты на эксплуатацию автомобилей. Значительный рост технического прогресса техники и изменения требований к ее эксплуатации настоятельно требуют совершенствования системы технического и ремонтного обслуживания.

Сравнительный анализ альтернативных стратегий ремонтных обслуживаний 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, научно-практическая задача совершенствования структуры и периодичности ремонтных обслуживаний с применением восстановления работоспособности двигателей карьерных автомобилей-самосвалов заменой изношенных элементов является весьма актуальной и имеет важное народнохозяйственное 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.

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

- исследовать дефекты, износы и показатели ремонтпригодности 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.

**Объект исследования** - дизели ЯМЗ-240Н, установленные на карьерных автомобилях БелАЗ, работающие в технологическом процессе по перевозке руды.

**Предметом исследования** являются производственные процессы по техническому и ремонтному обслуживанию двигателей ЯМЗ-240Н, устанавливаемых на автомобилях, работающих в условиях карьеров.

**Рабочая гипотеза** состоит в предположении, что применение разработанных научно-методических положений, новых научных методов, математических моделей и усовершенствованной системы технического и ремонтного обслуживания автомобильных двигателей позволит обеспечить уменьшение затрат на ремонтные воздействия и на перевозку руды.

**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; теории принятия решений, управления, надёжности.

**Научная новизна** исследования заключается в разработке следующих теоретических и методологических положений, научных и практических методов, математических методов оптимизации систем организации и управления техническим и ремонтным обслуживанием двигателей, работающих в условиях карьеров, которые выносятся на защиту:

- теоретико-прикладные положения, научные и практические методы, математические модели оптимизации организации технического и ремонтного обслуживания на примере двигателей ЯМЗ-240Н;
- научно-методические подходы и 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 ремонтпригодности двигателей, поступающих как в первое капитальное ремонтное обслуживание, так и в последующие;

- 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.

**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 ремонтных обслуживаний ПР1 и ПР2; определён экономически целесообразный ресурс двигателя до его списания.

Полученные результаты могут быть использованы инженерами для решения следующих задач: уменьшения продолжительности простоев двигателей за счёт снижения незапланированных ремонтных обслуживаний; планирования сроков, трудоёмкости и стоимости предстоящих ремонтных обслуживаний двигателей; обеспечения ремонтных служб мастерских цеха технологического транспорта необходимыми ремонтными комплектами.

Предложенные научно-методические основы, научные подходы, методы оптимизации и математические модели достаточно универсальны. Они могут найти применение при решении важных задач по совершенствованию системы технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта различных отраслей России.

**Апробация и реализация результатов работы.** Основные положения диссертационной работы доложены и одобрены на международных научных конференциях в г. Воронеж 2014 г. и г. Пенза 2014 г, заседаниях кафедры «Автомобильное хозяйство и автосервис» НЧОУ ВПО «Курский автодорожный институт» (г. Курск 2013-2015 г.г.), заседаниях кафедры «Сервис транспортных и технологических машин» БГТУ им. В.Г. Шухова (2012-2014 г.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) ГОКов и на ЗАО «Гормаш» г. Белгорода.

**Достоверность результатов.** Обоснованность и достоверность выносимых на защиту научных методов, расчётно-экспериментальных результатов обеспечивается принятой методологией исследования. Это позволило обеспечить репрезентативность, доказательность и обоснованность положений и полученных результатов.

**Личный вклад автора** заключается в постановке и решении важной хозяйственной научно-практической задачи создания усовершенствованной системы по техническому и ремонтному обслуживанию дизелей ЯМЗ-240Н на основе разработанных: концепции исследования, идей и целей диссертационной работы; теоретико-прикладных и научно-методических подходов для решения всех элементов научной новизны.

**Публикации.** Опубликовано 8 научных статей в ведущих рецензируемых журналах, рекомендованных для опубликования результатов диссертационных исследований.

**Структура и объём работы.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения с основными результатами и выводами и 5 приложений. Объём работы составляет 141 страницу машинописного текста, включая 50 рисунков и 12 таблиц.

## **2 ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, раскрываются научная новизна и практическая значимость работы.

В первой главе «**Необходимость совершенствования эффективности ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта**» приведен анализ современного состояния решаемой научно-практической задачи.

Одним из важнейших факторов повышения производительности технологического автомобильного транспорта является эффективная организация работ по их техническому и ремонтному обслуживанию. В настоящее время в цехах технологического транспорта (ЦТТ) горно-обогатительных комбинатов (ГОК) Министерства металлургии РФ принята планово-предупредительная система технического и ремонтного обслуживания, которая имеет целью поддержание технологического транспорта в технически исправном состоянии.

Решением задач по определению эффективной стратегии ремонтного обслуживания занимались отечественные и зарубежные ученые. Причём, при решении данной проблемы они подходили различными путями.

Фундаментальные исследования по проблеме организации технического и ремонтного обслуживания автомобильного транспорта достаточно подробно освещены в трудах Ф.Н. Авдонькина, А.Р. Асоян, Ю.Н. Баранова, Э.П. Болдина, Б.Г. Гасанова, А.С. Денисова, И.Е. Дюмина, В.И. Карагодина, В.А. Корчагина, Е.С. Кузнецова, А.Н. Новикова, Ю.В. Родионова, А.М. Шейнина и др. В этих трудах отмечается целесообразность совершенствования организации технического и ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта и стали возможными сделать выводы:

1. Задачи выбора оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта до настоящего времени не нашли этого решения. Формы организации ремонтного обслуживания, которые хорошо зарекомендовали для агрегатов автомобилей массового производства, для двигателей карьерного транспорта требуют дополнительных исследований.

2. Несмотря на эффективность ремонтного обслуживания двигателей методом замены изношенных элементов, широкого внедрения в Российской Федерации он не получил. На ведомственном транспорте основное место занимает не предупредительное, а капитальное ремонтное обслуживание, что в конечном счёте ведёт к увеличению затрат на ремонтное обслуживание двигателей и эксплуатацию автомобилей.

3. Необходимо разработать усовершенствованную систему технического и ремонтного обслуживания двигателей и научно-методические подходы, методы и математические модели для достижения достаточного уровня эффективности организации ремонтного обслуживания дизелей ЯМЗ-240Н.

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

Во второй главе **«Основы формирования и выбора оптимальной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей карьерных автомобилей»** представлена теоретическая часть исследования.

В настоящей работе выполнено обоснование применяемого метода оптимизации. В нём в равной степени использован формальный и эвристический подходы к решению поставленных задач, а также дано обоснование для практического построения оптимальной структуры ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта с учётом конструктивных особенностей и специфики их условий эксплуатации.

Формирование оптимальных замен изношенных элементов двигателей сведено к построению математической модели и установлению закономерностей, которым они подчиняются.

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

$$S_N = f(d_{l_i}, Z_{l_i}, g_{l_i}, G_{l_i}), \quad (1)$$

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 приработки 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.

В оптимальной системе замен изношенных элементов обоснованы следующие условия:

$$S_N^* = \min S_N; \quad u_i \in u; \quad x_j \in x, \quad N > 0, \quad (2)$$

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

Установлен характер изменения составляющих, входящих в целевую функцию оптимизации ремонтного обслуживания двигателей карьерного транспорта.

Рассмотрены вопросы определения рациональных вариантов структуры и периодичности восстановления работоспособности двигателя. Выполнен анализ влияния эксплуатационных факторов на характер изменения показателей ремонтпригодности и установлены пути их улучшения.

В зависимости от результатов группирования элементов, для одновременной их замены, установлен характер изменения составляющих целевой функции.

Для определения  $S^*$  в явном виде, были рассмотрены в отдельности каждая составляющая целевой функции, и проанализированы экономические факторы (переменные), входящие в целевую функцию  $S_N$ .

При определении потерь от простоев, проведено сопоставление как баланса доходов и затрат при работе автомобиля, так и при его простое.

Определены зависимости изменения потерь: от простоев, возможного совмещения замены отдельных групп элементов; потерь на заработную плату рабочих-ремонтников; потерь вследствие недоиспользования ресурса деталей двигателя; потерь на дополнительные разборки-сборки и приработку при раздельной замене элементов двигателя.



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

Значение целевой функции (1), с учетом полученных зависимостей, выражается следующим образом:

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

$$U_i \in U; \quad x_j \in x; \quad N > 0, \quad (3)$$

где  $a_1$  - величина потерь прибыли в единицу времени, руб./ч;  $a_2$  - тарифная ставка рабочего-ремонтника, с учетом разряда работ и начислений, руб./ч;

$\tau_j$  - удельная величина времени, необходимого для замены одного элемента, чел·ч;  $t_j$  - трудоёмкость замены  $j$ -го элемента, чел·ч;  $U_i$  - ресурс  $i$ -й группы элементов до замены, км.;  $x_j$  - нормативный ресурс  $j$ -го элемента, км;  $L$  - величина пробега двигателя до ремонтного обслуживания, км;  $C$  - стоимость двигателя, руб.;  $\xi = \frac{D}{L-C}$  - коэффициент аппроксимирования линейной функцией;  $D$  - доход предприятия, приносимый автомобилем, руб.;  $C_j$  - первоначальная стоимость  $j$ -го элемента, руб.;  $x$  - интервал ресурса в который входят ресурс  $j$ -го элемента, км.

Ситуация, при которой одни затраты уменьшаются, а другие растут, являясь при этом функцией одного и того же фактора, способствует нахождению решения, минимизирующего общие затраты. На рис. 1 показана графическая интерпретация данного решения.

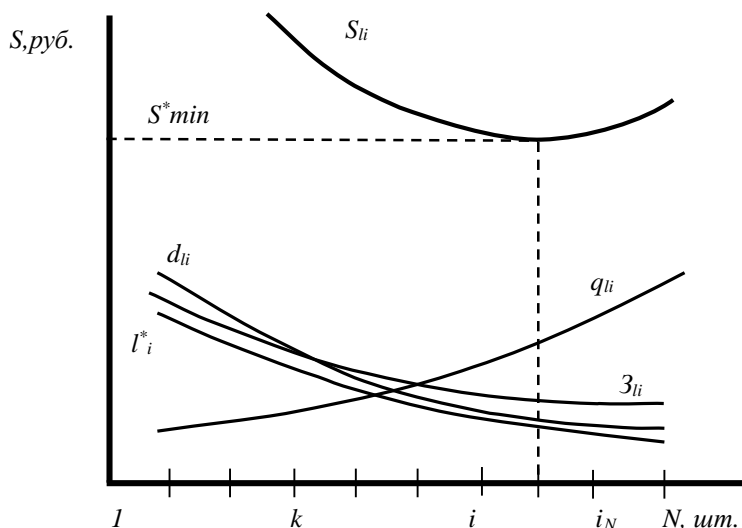


Рисунок 1 - Характер изменения затрат на замену, в зависимости от количества одновременно заменяемых элементов:

$S$  - затраты на техническое и ремонтное обслуживание, руб.;  $N$  - количество заменяемых элементов, шт.;  $d_{li}$ ,  $g_{li}$ ,  $G_{li}$  - потери, соответственно, от простоев, недоиспользования ресурса, дополнительных разборок-сборок и приработки при одновременной замене групп элементов,

руб.;  $Z_i$  – затраты на оплату труда ремонтных рабочих при замене изношенных элементов, руб.;  $l_i$  – количество одновременно заменяемых элементов, шт.

При разработке алгоритма рациональной стратегии ремонтного обслуживания двигателей в основу положена идея алгоритма «киевский веник», которая заключается в формулировке правил последовательного сужения множества конкурентно-способных вариантов. 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 «киевский веник», такие универсальные методы, как метод полного перебора, динамического программирования, случайного поиска и др., являются менее рациональными. В настоящей работе был применён этот метод.

В окончательном виде, после «отметания» различных вариантов, рекуррентное соотношение будет представлено в виде:

$$Q_{NK}^* = \min_k \sum_{i=1}^N (S_{ik} + Q_k^{i-1}), \quad (4)$$

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

Формирование и выбор рациональной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей заключался в разработке математической модели описания изменения эксплуатационных затрат по рассматриваемым вариантам структуры ремонтного обслуживания и выборе вариантов и показателей ремонтпригодности двигателей.

Описания изменения эксплуатационных затрат основаны на методах решения систем линейных алгебраических уравнений. 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.

Коэффициенты регрессии определены по программе «Ремонт», разработанной Белгородским областным управлением статистики.

Разработана блок-схема алгоритма и последовательность шагов, для определения неизвестных коэффициентов уравнения по методу Жордано без обратного хода.

При выборе оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей, определены показатели ремонтпригодности: средний технический ресурс двигателя ( $L_{ar}^{cp}$ ); средние суммарные затраты ( $C_\Sigma$ ); удельные затраты на 1 км пробега ( $C_{уд}$ ) по каждому из рассматриваемых вариантов и сопоставлены между собой.

При выборе оптимального варианта структуры ремонтного обслуживания двигателей были применены необходимый (5) и достаточный (6) критерии.

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

$$L_{\text{мр}} \geq L_{\text{мин}}, \quad (5)$$

$$C_{\text{рв}}^{\text{уд}} = \min \frac{Q_i}{L_{\text{мр}}} 1000, \quad (6)$$

где  $L_{\text{мр}}$  – межремонтный пробег двигателя после проведения ремонтного обслуживания, км;  $L_{\text{мин}}$  – минимально допустимый пробег двигателя после проведения ремонтного обслуживания (ПР или КР), км;  $C_{\text{рв}}^{\text{уд}}$  – 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.

Если межремонтный пробег после очередного ремонтного обслуживания будет меньше минимально допустимого ( $L_{\text{мр}} > L_{\text{мин}}$ ), то выполнение ремонтного обслуживания (ПР или КР) нецелесообразно и двигатель подлежит списанию.

По суммарным значениям  $C_{\Sigma\text{рв}}$  и  $L_{\text{ирв}}$  для каждого рассматриваемого варианта, были определены значение  $C_{\text{ирв}}^{\text{уд}}$ . 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  $L_{\text{мр}} > L_{\text{мин}}$ ).

Третья глава «**Экспериментальные исследования дефектов, износов и показателей ремонтпригодности двигателей карьерного транспорта**» посвящена разработке методики и анализу экспериментальных исследований дефектов, износов элементов двигателей, поступающих в первое капитальное ремонтное обслуживание и показателей ремонтпригодности при различных вариантах их ремонтного обслуживания.

При проведении экспериментальных исследований, методикой были определены требования к подконтрольным двигателям. Для установления законов распределения отказов деталей и оценки их параметров, был применён метод вероятностной бумаги. Полученные при этом параметры были достоверными и совпадали с их средними значениями.

Анализ полученных результатов изучения дефектов и износов основных деталей двигателей ЯМЗ-240Н, поступающих в первое капитальное ремонтное обслуживание, показал:

- абсолютное большинство блоков цилиндров (базовая деталь) двигателей в восстановлении не нуждаются пригодны к дальнейшей эксплуатации;

- износы поршневых пальцев, распределительных валов, клапанов и головок цилиндров в большинстве своем незначительны и вполне могут еще длительное время эксплуатироваться без восстановления;

- деталями, лимитирующими технический ресурс двигателя, являются гильзы цилиндров, поршни, поршневые кольца, со средним ресурсом в 45÷46 тыс. км, имеющие износы больше допустимых;

- шатунные шейки у большинства коленчатых валов имеют незначительные износы. Однако вопрос пригодности их к дальнейшей эксплуатации должен решаться не только исходя из величины износа, но и по общему состоянию и степени работоспособности сопряжения «шатунная шейка - вкладыши»;

- учитывая тот факт, что базовая деталь (блок цилиндров) в восстановлении не нуждается, можно предположить о целесообразности проведения на пробеге 45,0 тыс. км вместо дорогостоящего капитального ремонтного обслуживания, предупредительное ремонтное обслуживание с заменой менее долговечной группой деталей;

- средний технический ресурс двигателя ЯМЗ-240Н до первого капитального ремонтного обслуживания, с учётом проведения ремонтного обслуживания ПР1, составил 81 тыс. км.

Установлены средние значения технического ресурса основных деталей двигателей ЯМЗ-240Н (см. рис.2), полученные в результате экспериментальных исследований.

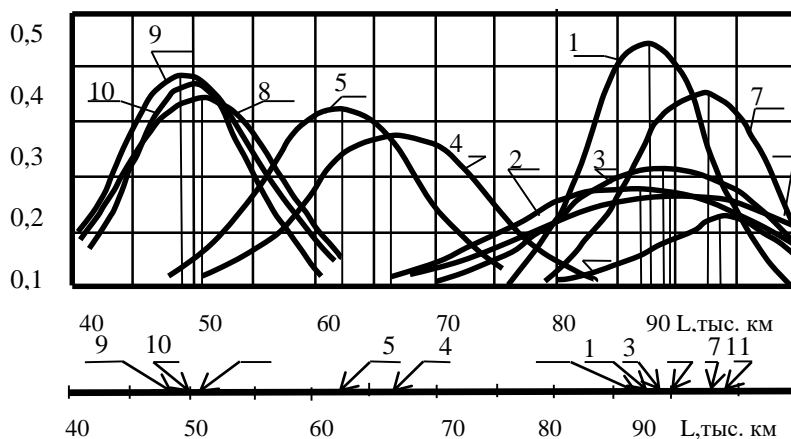


Рисунок 2- Средние значения ресурсов основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н:

$L$  — пробег, тыс. км; 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

В горнорудной промышленности, ПР1, ПР2 и КР являются основными видами ремонтных обслуживаний двигателей карьерного транспорта.

Результаты экспериментальных исследований показали, что проведение ремонтного обслуживания ПР1 является целесообразным, как с точки зрения технической, так и экономической.

На рис. 3 показано формирование структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н. Показатели ремонтпригодности двигателя ЯМЗ-240Н для варианта ПР1 – КР указаны в табл. 1.

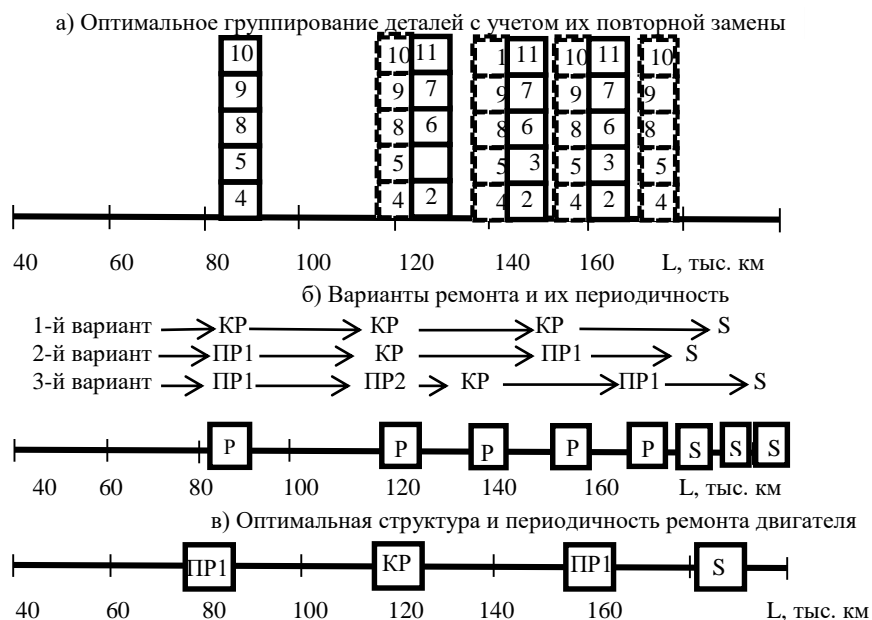


Рисунок 3 - Формирование структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н:

L – пробег, тыс. км; 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; ПР1 – предупредительный ремонтное обслуживание № 1; ПР2 – предупредительный ремонтное обслуживание № 2; КР – капитальное ремонтное обслуживание; S – списание двигателя; - - повторная замена деталей

Таблица 1 - Показатели ремонтпригодности 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

$$L_{II}^{\text{общ}} = 146,0 \text{ тыс. км}, C_{II}^{\text{общ}} = 118100 \text{ руб}, C_{II}^{\text{уд}} = 8089 \text{ руб./1000 км}$$

На рис. 4 показана оптимальная структура ремонтного обслуживания двигателей (ПР1 – КР – ПР1).

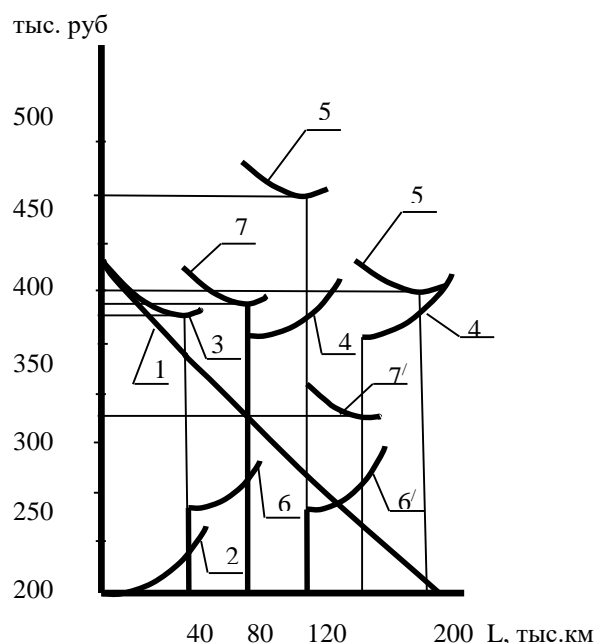


Рисунок 4 - Результаты экспериментальных исследований изменения затрат на поддержание двигателя ЯМЗ-240Н в работоспособном состоянии для варианта ПР1 – КР:

$S$  – затраты на техническое и ремонтное обслуживание, тыс. руб.;  $L$  – пробег, тыс. км;

1 – изменение стоимости двигателя; 2 – изменение эксплуатационных затрат на техническое и ремонтное обслуживание нового двигателя; 3 – изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на техническое и ремонтное обслуживание нового двигателя; 4 – изменение эксплуатационных затрат на техническое и капитальное восстановление двигателя; 5 – изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на техническое и капитально восстановленного двигателя; 6 – изменение эксплуатационных затрат на техническое и ремонтное обслуживание двигателя после проведения ремонтного обслуживания ПР1; 7 – изменение суммарных затрат стоимости двигателя и эксплуатационных затрат на техническое и ремонтное обслуживание двигателя после проведения ремонтного обслуживания ПР1

Четвёртая глава «**Выбор оптимальной структуры ремонтных обслуживаний для двигателей ЯМЗ-240Н**» посвящена:

- уточнению состава групп элементов двигателей, для одновременной их замены;
- определению оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей ЯМЗ-240Н;
- расчёту экономической эффективности от внедрения оптимального варианта структуры ремонтных обслуживаний двигателей ЯМЗ-240Н.

При группировании деталей, для одновременной их замены, были использованы экспериментальные данные средних значений ресурса основных деталей двигателя ЯМЗ-240Н. Указанные данные свидетельствуют, что ресурсы основных деталей находятся в широких пределах: от 45,0 тыс. км до 88,5 тыс. км.

Результаты формирования структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н показаны на рис. 3.

Установлено, что если разность ресурсов сравниваемых элементов будет меньше минимально допустимого межремонтного ресурса  $L_{\min}$ , то объединение целесообразно, а если разность больше  $L_{\min}$ , то их одновременная замена нецелесообразна, т.е.

$$l_{i+1} - l_i \leq L_{\min}, \quad (7)$$

объединение целесообразно, а если

$$l_{i+1} - l_i > L_{\min}, \quad (8)$$

то одновременная замена нецелесообразна.

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

Оптимальная структура и периодичность ремонтного цикла приведена на рис. 5.

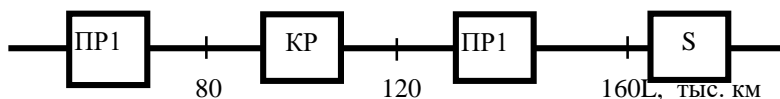


Рисунок 5 - Формирование структуры и периодичности ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н:

$L$  – пробег, тыс. км; ПР1 – предупредительное ремонтное обслуживание № 1; КР – капитальное ремонтное обслуживание; S – списание двигателя

Данные о среднем техническом ресурсе, средней суммарной стоимости ремонтных обслуживаний и удельной стоимости ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н, за весь их срок службы, по сравниваемым вариантам, приведены в табл. 2.

Таблица 2 - Основные показатели ремонтпригодности двигателей ЯМЗ-240Н

Структура ремонтов	Средний ресурс двигателя за весь его 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

Анализ показателей ремонтпригодности по рассматриваемым вариантам ремонтного обслуживания показывают, что оптимальным является второй вариант (ПР1–КР–ПР1), 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.

Экономический эффект установлен путем сопоставления затрат, трудоемкости и простоев при традиционной системе ремонтного обслуживания двигателей с предложенной в настоящей работе.

Данные для расчёта экономического эффекта ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н, за весь его срок службы, приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Исходные данные для расчета экономической эффективности ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н от внедрения новой системы ремонтного обслуживания

Показатели	Базовый вариант	Предлагаемый вариант
Затраты на ремонт, руб.	1432500	1179600
Потери прибыли от простоев в ремонте, руб.	604800	302400
Затраты на транспортировку, руб.	10200	5400
Потери от недоиспользования ресурса деталей, руб.	0	199400

### 3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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

Автором разработаны усовершенствованные система технического и ремонтного обслуживания двигателей карьерных автомобилей, научно-методические подходы, методы и математические модели. Подтверждено актами внедрения, что их использование при эксплуатации карьерного транспорта с дизелями ЯМЗ-240Н обеспечивает достаточный уровень эффективности новой стратегии предложенной организации ремонтного обслуживания двигателей большегрузных автомобилей.

#### Основные результаты и выводы

1. На основе разработанных теоретико-методических положений, научных методов, методик и математических моделей решена важная научно-практическая задача: предложена рациональная система технического и ремонтного обслуживания дизелей и повышения уровня эффективности эксплуатации автомобилей, работающих в условиях карьеров.

2. Расчётно-экспериментальные исследования позволили установить:



а) у двигателей технологического транспорта технический ресурс основных деталей колеблется в широких пределах и не соблюдается их кратность. Например, у дизелей ЯМЗ-240Н коэффициент относительной долговечности основных деталей колеблется от 0,53 до 1,0 и более, что приводит к ранней постановки их на ремонтное обслуживание;

б) деталями, лимитирующими технический ресурс двигателя ЯМЗ-240Н, являются гильзы цилиндров, поршни, поршневые кольца, шатунные вкладыши. Наименьший технический ресурс, у гильз цилиндров - 45,0 тыс. км;

в) наименьшее значение удельных затрат на 1000 км пробега автомобиля для двигателя ЯМЗ-240Н у варианта ПР1-КР-ПР1. Технический ресурс до ремонтного обслуживания КР при этом варианте составляет 81,0 тыс. км, что значительно выше, чем для варианта КР-КР-КР.

3. Разработана целевая функция формирования эффективной структуры и периодичности замен изношенных элементов двигателей карьерного транспорта. Результаты выполненных расчётов, при использовании предложенной математической модели, позволили установить закономерности изменения показателей, входящих в целевую функцию оптимизации ремонтного обслуживания двигателей: удельных потерь дохода, удельных затрат на замену изношенных элементов, изменения потерь вследствие недоиспользования технического ресурса элементов и изменения потерь вследствие дополнительного количества разборок-сборок и приработки при нахождении двигателей в ремонтном обслуживании.

Разработаны блок-схема и алгоритм оптимизации целевой функции выбора эффективной стратегии и структуры ремонтных обслуживаний дизелей ЯМЗ-240Н.

4. Предложена новая рациональная структура технических и ремонтных обслуживаний двигателей: ПР1-КР-ПР1. При этом за полный амортизационный срок службы дизеля ЯМЗ-240Н выполняется только одно капитальное ремонтное обслуживание после пробега 81,0 тыс. км, а пробег двигателя до списания составил 146,0 тыс. км, что на 22% больше чем у базового варианта, уменьшается количество ремонтных обслуживаний.

Экономический эффект на один двигатель ЯМЗ-240Н от внедрения в ремонтную практику предложенной структуры и периодичности ремонтных обслуживаний составил – 83400 руб. в год.

5. Выполненные исследования показали целесообразность и экономическую эффективность ремонтного обслуживания двигателей ЯМЗ-240Н путем одновременной замены групп деталей. Что позволяет снизить количество дорого-

стоящих капитальных ремонтных обслуживаний, расход запасных частей и материалов, продолжительность простоев в ремонтном обслуживании, потери от простоев, а также значительно повысить качество ремонтного обслуживания.

6. В целях повышения уровня эффективности организации ремонтного обслуживания целесообразно для новых и капитально восстановленных двигателей технологического транспорта иметь ремонтный комплект деталей, обеспечивающих выполнение промежуточного ремонтного обслуживания ПР1.

7. Для реализации разработанных положений по совершенствованию организации ремонтного обслуживания двигателей на специализированных ремонтных предприятиях рекомендуется создать линии по восстановлению работоспособности двигателей путем одновременной замены групп деталей (узлов). Что позволит улучшить качество ремонтного обслуживания, снизить трудовые затраты и простои в ремонтном обслуживании.

8. 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.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

*в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук:*

1. Шатерников М.В. Износы и дефекты основных деталей и ресурс двигателей ЯМЗ-240Н [Текст] /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников. //Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 3. - С. 8 – 15.

2. Шатерников М.В. Пути повышения ресурса двигателей карьерных автосамосвалов БелАЗ до капитального ремонта [Текст] /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников, Ю.В. Семикопенко. //Мир транспорта и технологических машин. – 2013. - № 4. - С. 19 – 26.

3. Шатерников М.В. Результаты экспериментального исследования и эффективности бестормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н [Текст] /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников, Н.А. Загородний. //Автотранспортное предприятие. – 2013. - № 12. - С. 33 - 36.

4. Шатерников М.В. Экспериментальные исследования режимов и эффективности бестормозной обкатки двигателей ЯМЗ-240Н. [Текст] /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников, Н.А. Загородний . //Автотранспортное предприятие. – 2013. - № 11. - С. 32 – 34.

5. Шатерников М.В. Оптимизация структуры и периодичности ремонтных обслуживаний двигателя ЯМЗ-240Н. [Текст] /М.В. Шатерников, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 2. - С. 33 – 36.

6. Шатерников М.В. Совершенствование организации ремонтного обслуживания агрегатов карьерных большегрузных самосвалов. [Текст] /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников, Н.А. Загородний. //Автомобильная промышленность. – 2014. - № 4. - С. 22 – 24.

7. Шатерников М.В. Повышение надёжности и долговечности двигателя ЯМЗ-240Н. [Текст] /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 7. - С. 42 – 45.

8. Шатерников М.В. Определение оптимальной стратегии ремонтного обслуживания двигателя ЯМЗ-240Н. [Текст] /М.В. Шатерников, В.А. Корчагин, В.С. Шатерников. //Автотранспортное предприятие. – 2014. - № 10. - С. 35 – 39.

**Шатерников Максим Владимирович**

Повышение эффективности ремонтного обслуживания дизелей автомобилей,  
работающих в условиях карьеров

**Автореферат**

---

Подписано в печать \_\_\_\_ 2015 г. Бумага 60x84x 1/16. Бумага офсетная. Разография.  
Объём \_\_\_\_ п.л. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_.