

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования «Южно-Уральский государственный университет  
(национальный исследовательский университет)»**

*На правах рукописи*



**МАСЛЮКОВ Сергей Павлович**

**ПОВЫШЕНИЕ ПОЛНОТЫ  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ  
БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ**

**Специальность 2.8.8 «Геотехнология, горные машины»**

**Диссертация**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**Научный руководитель**  
Леванов Игорь Геннадьевич,  
доктор технических наук

**Челябинск – 2026**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ .....	9
1.1. Актуальность задачи повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях....	9
1.2. Анализ научно-методической базы повышения полноты использования ресурса двигателя большегрузных карьерных автосамосвалов.....	18
1.3. Постановка задач исследования .....	34
Вывод по главе 1 .....	37
ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА ПОЛНОТУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ.....	39
2.1. Обоснование критерия и показателей полноты использования ресурса двигателей .....	39
2.2. Исследование связи полноты использования ресурса двигателей и скорости накопления частиц металлов в отработанном масле.....	47
2.3. Исследование связи полноты использования ресурса двигателей и режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов .....	59
Вывод по главе 2 .....	70
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ОПРОБОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ.....	72
3.1. Разработка методического инструментария по повышению полноты использования ресурса двигателей.....	72
3.2. Опробование методического инструментария по повышению полноты использования ресурса двигателей.....	85
3.3. Формирование практических рекомендаций по обеспечению результативного освоения методического инструментария .....	102
Вывод по главе 3 .....	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	108
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	110
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	128
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	133

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования.** На горнодобывающих предприятиях страны наблюдается значительное расхождение между фактическими и нормативными показателями ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов и степень недоиспользования доходит до 2 раз. Это приводит к значительным финансовым издержкам предприятия, так как около 50% первоначальной стоимости автосамосвала приходится на двигатель, а расходы на его ремонт в течение жизненного цикла доходят до 40% от общих затрат на ремонтное обслуживание машины.

Среди методов, которые позволяют выявлять факторы, сокращающие ресурс двигателей в процессе их работы, спектральный анализ отработанного масла занимает одно из ведущих мест как наиболее быстрый и точный инструмент получения широкого спектра важной информации о состоянии масла, характеризующего износ двигателей. Однако, существующий способ оценки результатов спектрального анализа не обеспечивает необходимой достоверности прогнозирования остаточного ресурса двигателей: вероятность прогноза отказа двигателя составляет менее 20%. Следовательно, выявлять и оценивать влияние эксплуатационных факторов на выработку ресурса двигателей для принятия эффективных управленческих решений крайне сложно.

Таким образом, разработка способа обработки данных спектрального анализа масла двигателей, который обеспечит увеличение достоверности прогноза отказов, и формирование на его основе методики повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов является актуальной научной-практической задачей.

### **Степень разработанности темы исследования**

Результаты исследования влияния различных эксплуатационных факторов на ресурс двигателей содержатся в научных трудах профессоров и докторов наук Боярских Г.А., Буялича Г.Д., Глебова А.В., Довженка А.С., Задорожной Е.А., Зырянова И.В., Кантовича Л.И., Квагинидзе В.С., Кулешова А.А., Леванова И.Г.,

Леся Ю.И., Хорешка А.А. и других; кандидатов наук Алушкина Т.Е., Головина С.И., Кудреватых А.В., Стенина Д.В. и других.

Отмечая значительный вклад ученых в этой области исследований, следует отметить, что в их работах рассматривались преимущественно изменения конструктивных особенностей двигателей и/или физических свойств смазочных материалов.

**Объект исследования** – двигатель Cummins QSK-60, работающий на автосамосвалах БелАЗ-75306 в условиях угледобывающего предприятия.

**Предмет исследования** – режимы работы большегрузных карьерных автосамосвалов.

**Цель исследования** – повысить полноту использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.

**Идея исследования** состоит в совместном учете режима работы карьерных автосамосвалов и скорости накопления частиц железа в отработанном масле с начала ввода двигателей в эксплуатацию.

**Задачи исследования:**

1. Обосновать режимы работы большегрузных карьерных автосамосвалов, определяющие полноту использования ресурса двигателей.
2. Оценить влияние режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов на полноту использования ресурса их двигателей.
3. Разработать методику повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.

**Научная новизна исследования:**

1. Обоснованы показатели, отражающие влияние режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов на полноту использования ресурса двигателя:

- отношение величины ресурса каждого двигателя на момент наступления его предельного состояния к лучшему значению этого показателя, зафиксированному у однотипного двигателя, при работе в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях рабочей среды;



- удельный расход дизельного топлива в 95-ом процентиле.

2. Разработан критерий для прогнозирования наступления предельного состояния двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, представляющий собой величину скорости накопления частиц железа в их отработанном масле с начала ввода в эксплуатацию – в отличие от критерия, принятого в существующей системе контроля и основанного на значении концентрации частиц железа в конкретный момент времени, который оказался, как показывает практика, недостаточным для выявления с высокой степенью вероятности остаточного ресурса.

3. Обоснована целесообразность применения показателя удельного расхода топлива, оцениваемого одновременно в 95-ом и 5-ом процентилях, в качестве зависимой переменной при выполнении факторного анализа для выявления показателей квалификации водителей и качества дорожного покрытия, оказывающих статистически значимое влияние на режим работы большегрузного карьерного автосамосвала.

#### **Теоретическая и практическая значимость работы:**

1. Обосновано, что применение критерия скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателя большегрузных карьерных автосамосвалов, обеспечивает повышение точности прогнозирования наступления его предельного состояния.

2. Предложен подход к обоснованию рационального режима работы автосамосвалов, основанный на определении экономически целесообразного соотношения затрат на повышение полноты использования ресурса двигателей к затратам на стоимость владения двигателями.

3. Разработана методика повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов посредством совершенствования режима работы этих машин.

#### **Методы исследования**

В диссертации использован комплекс методов, включающий хронометражные наблюдения, аналитические расчеты, обобщение результатов выполненных

исследований, статистические методы, экономико-математическое моделирование.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Полнота использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов определяется четырьмя режимами работы этих машин, различающимися сочетанием уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия, с характерным для каждого режима удельным расходом топлива в 95-ом процентиле: при щадящем режиме расход превышает нормативное значение в среднем в 1,8-2,0 раза, при активно-форсированном – 1,9-2,3 раза, при реактивно-форсированном – 2,2-2,5 раза, при агрессивном – 2,5-2,9 раза.

2. Влияние режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов на полноту использования ресурса двигателей обусловлено различием скоростей накопления частиц железа в отработанном масле с начала их эксплуатации, в следствие чего при щадящем режиме полнота использования ресурса двигателя в среднем составляет 0,95, при активно-форсированном – 0,70, при реактивно-форсированном – 0,35, при агрессивном – 0,05.

3. Повышение полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов достигается в результате применения разработанной методики, основанной на обосновании рационального режима работы этих машин, определении целевого удельного расхода топлива одновременно в 95-ом и 5-ом процентилях и освоении необходимого сочетания уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия.

### **Степень достоверности подтверждается:**

– корректным применением методов и методического инструментария, соответствующих целям и задачам исследования;

– использованием представительного объема статистических данных и фактических материалов о результатах работы автосамосвалов и их двигателей на горнодобывающих предприятиях и их корректной обработкой;

– согласованностью полученных результатов с известными теориями организации горного производства, надежности технических систем, старения и восстановления машин;

– практической реализацией результатов диссертационной работы, показавшей значительную экономическую эффективность и сходимость теоретических выводов с фактическими результатами.

**Апробация работы.** Результаты и основные положения диссертационной работы докладывались на III Всероссийской научно-практической конференции «Золото. Полиметаллы. XXI век: устойчивое развитие» «Gold. Polymetals. XXI century: sustainable development» (Челябинск, 2022), 15 Научной конференции аспирантов и докторантов ЮУрГУ (Челябинск, 2023), XII Научно-практической конференции «Комбинированная геотехнология: комплексное освоение техногенных образований и месторождений полезных ископаемых» (Магнитогорск, 2023), 16 Научной конференции аспирантов и докторантов ЮУрГУ (Челябинск, 2024), XXXII Международном научном симпозиуме «Неделя горняка-2025» (Москва, 2025), XIII Научно-практической конференции «Комбинированная геотехнология: цифровизация и роботизация геотехнологических процессов» (Магнитогорск, 2025), Научно-технической конференции Передовой Инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала» (Челябинск, 2025), XIII Уральском горнопромышленном форуме (Екатеринбург, 2025).

**Соответствие паспорту специальности.** Диссертационная работа выполнена в рамках п.12. – «Организация производства при открытой и подземной разработке месторождений твердых полезных ископаемых и развитие механизации технологических процессов», п. 15. – «Методы и средства повышения эксплуатационных характеристик и надежности горных машин и оборудования, в том числе за счет обоснования рациональных режимов их функционирования на открытых и подземных горных работах», п. 16. – «Техническое обслуживание и ремонт горных машин и оборудования с учетом специфики горно-геологических и горнотехнических условий их эксплуатации» паспорта специальности ВАК 2.8.8 «Геотехнология, горные машины».

**Публикации.** Результаты исследования опубликованы автором в 6 печатных работах, в том числе 3 статьи в рецензируемых научных изданиях по специальности 2.8.8 «Геотехнология, горные машины» из перечня ВАК при Министерстве науки и высшего образования России.

**Личный вклад автора** состоит в постановке и решении задач исследования; выявлении режимов работы большегрузных карьерных автосамосвалов, обуславливающих полноту использования ресурса двигателей; исследовании влияния этих режимов на ресурс двигателей; разработке методики повышения полноты использования ресурса двигателей.

## ГЛАВА 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

### 1.1. Актуальность задачи повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях

Уголь уже более 60 лет является одним из наиболее востребованных невозобновляемых ресурсов в мировой энергетической промышленности. По состоянию на 2023 г. доля угля в структуре мирового потребления топливно-энергетических ресурсов составляет 27% [1]. Уголь является вторым по востребованности энергоресурсом после нефти, которая занимает 33% в структуре мирового потребления топливно-энергетических ресурсов. Общие запасы угля в мире составляют 1 054 млрд. тонн. Россия является одним из мировых лидеров по доказанным запасам угля наряду с такими странами как: США, Австралия, Китай, Индия, Индонезия, Германия, Украина, Казахстан и ЮАР и занимает 2 место с запасами в размере 160 млрд. тонн (15% от мировых запасов угля) [2]. Всего на эту десятку стран приходится 90% разведанных мировых запасов угля (рисунок 1.1).

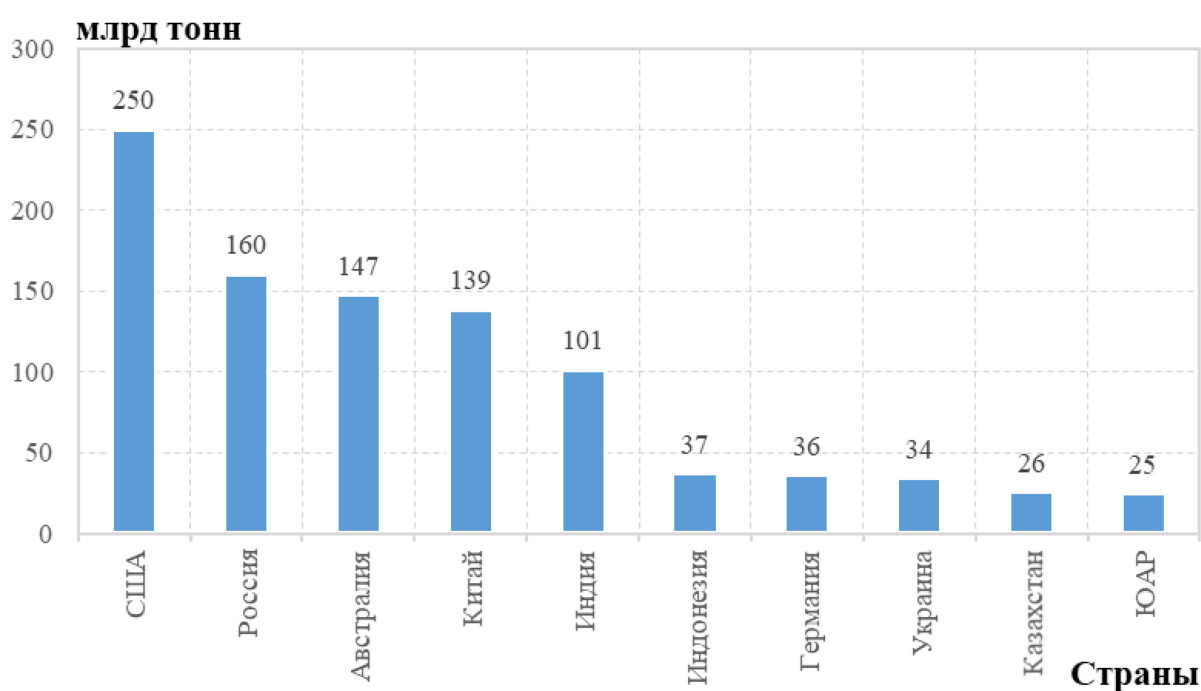


Рисунок 1.1 – Первая десятка стран по объему разведанных угольных запасов

По данным Министерства энергетики Российской Федерации в России в 2024 году добычу угля осуществляли 179 угледобывающих предприятий, среди них: 52 угольных шахты (22% объемов добычи угля) и 127 угольных разрезов (78% объемов добычи угля) [3]. Численность работников в угольной отрасли, занятых по основному виду деятельности, составляет 150-160 тыс. человек, из которых: 50-60 тыс. человек работают в угольных шахтах и 90-100 тыс. человек работают на угольных разрезах (рисунок 1.2).

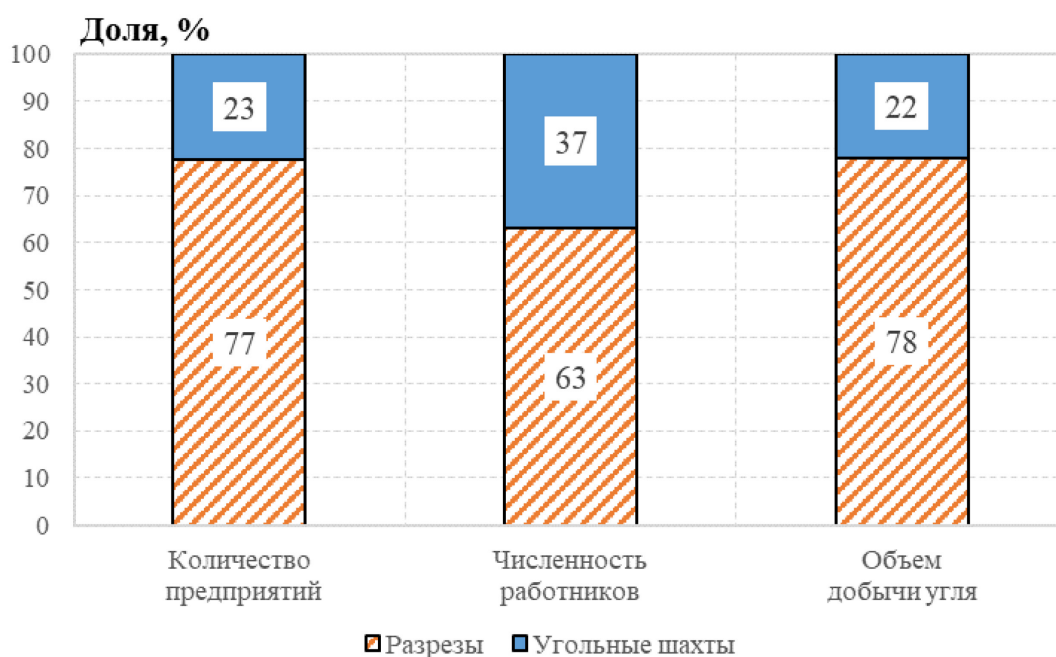


Рисунок 1.2 – Соотношение количества предприятий, численности работников и объемов добычи в угольной отрасли России за 2024 г.

Жизнедеятельность предприятий, таких секторов как: металлургия и химическая промышленность, транспорт, коммунальные службы и т.д. зависит от эффективности работы угольных предприятий. На 2022 год потребление угля в РФ составляло 220 млн. тонн, из которых 52% приходились на обеспечение функционирования электростанций [4]. Также 96% угля, направляемого на экспорт, транспортируется с помощью железной дороги, а доля угля в структуре экспортных грузоперевозок железнодорожным транспортом составляет более 40% [5].

Таким образом, угольная отрасль представляет собой важнейший сектор промышленности России, которая, соответственно, оказывает существенное влияние на социально-экономическое состояние страны. В связи с этим научно-

практическая деятельность по выявлению и освоению резервов повышения эффективности угледобывающих предприятий является актуальной.

Ряд технико-экономических показателей, по которым, как правило, ориентируются руководители и специалисты угледобывающих предприятий России для осуществления своей деятельности следующие:

- объем добычи полезных ископаемых;
- себестоимость готовой продукции;
- затраты на приобретение горно-транспортного оборудования и обеспечение его работоспособности;
- численность работников предприятия;
- срок окупаемости инвестиций и т.д.

С помощью этих показателей руководители и специалисты угледобывающих предприятий [6, 7, 8, 9]:

- оценивают эффективность производственной деятельности;
- планируют бюджет;
- оптимизируют процессы;
- выбирают и корректируют стратегию развития предприятия и т.д.

Однако, помимо этих показателей, на которые руководители и специалисты угледобывающих предприятий могут повлиять, существуют факторы внешней среды. К таким факторам, например, относятся [10-13]:

- горно-геологические и климатические условия;
- спрос на готовую продукцию;
- качество добываемого угля;
- налоги;
- цена угля;
- курс национальной валюты;
- денежно-кредитная политика;
- санкционное давление и т.д.

На данные показатели руководители и специалисты угледобывающих предприятий не могут повлиять, а могут лишь адаптироваться к ним находя и осваивая внутренние и внешние резервы развития.

Так, например, в период с 2019 по 2024 гг. годовой объем добычи угля по всем российским угольным шахтам и разрезам значительно не менялся: максимальное значение было достигнуто в 2024 г., которое составило 444 млн. тонн, минимальное значение было достигнуто в 2020 г., оно составило 402 млн. тонн (рисунок 1.3) [14]. Но прибыль предприятий угольной отрасли за этот период существенно варьировалась. В 2022 г. суммарно российские угледобывающие предприятия получили рекордную прибыль в размере 800 млрд. рублей. Это связано с волатильностью курса рубля и с ростом мировой цены на уголь вследствие изменения логистики поставок угля и рекордными поставками угля в страны Европейского союза. В 2024 году российские угледобывающие предприятия понесли сальдированный убыток в размере 112 млрд. рублей [15]. И доля убыточных угледобывающих предприятий России в 2024 г. составила 53%, против 31% в 2023 году [16]. Это связано с усилением санкционного режима, изменением логистики поставок угля и структуры его заказчиков.

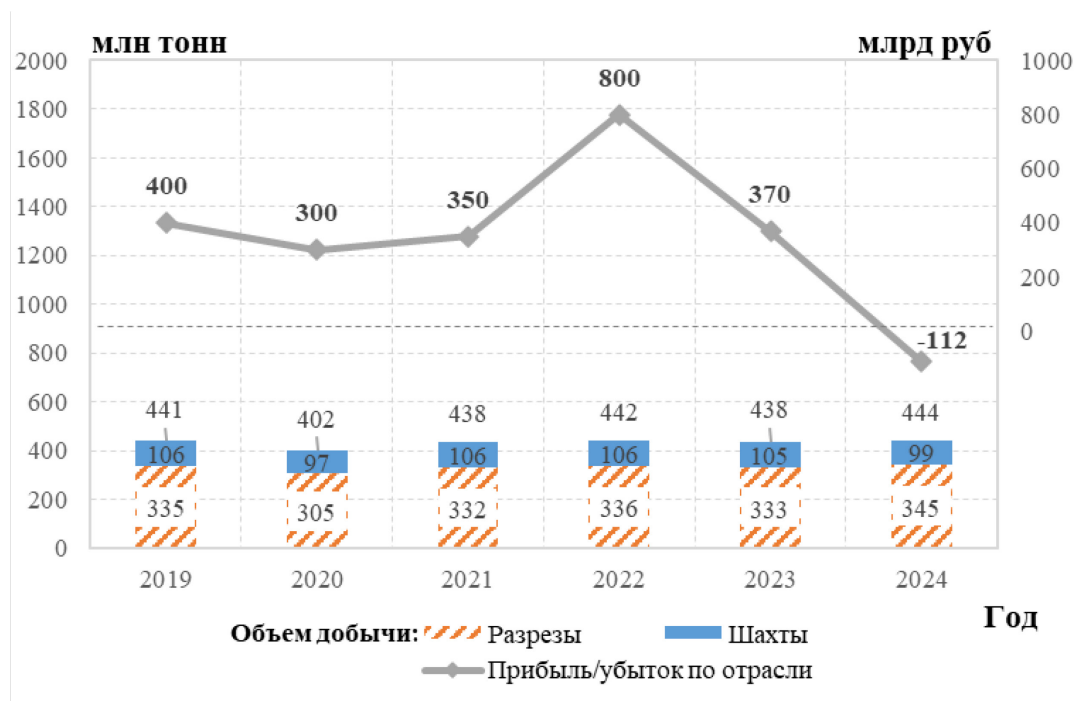


Рисунок 1.3 – Объем добычи угля, прибыль и убыток российских угледобывающих предприятий за период 2019-2024 гг.



В таких условиях угледобывающим предприятиям для сохранения своей жизнеспособности необходимо осуществлять деятельность по повышению эффективности производства. Важнейшими направлениями такой деятельности являются поиск издержек и сокращение затрат на процессы производства.

Наибольшая часть финансовых затрат угледобывающего предприятия открытого способа разработки месторождения приходится на обеспечение функционирования комплекса технологического горного оборудования (КТГО), включающих в себя расходы на осуществление всех технологических процессов и поддержание его работоспособного состояния [17, 18]. Так, например, на предприятии, являющимся характерным для угольных разрезов, – разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия», доля затрат, приходящаяся на функционирование КТГО за последнее десятилетие увеличилась в 2 раза – с 36% в 2011 году до 73% в 2020 году (рисунок 1.4).

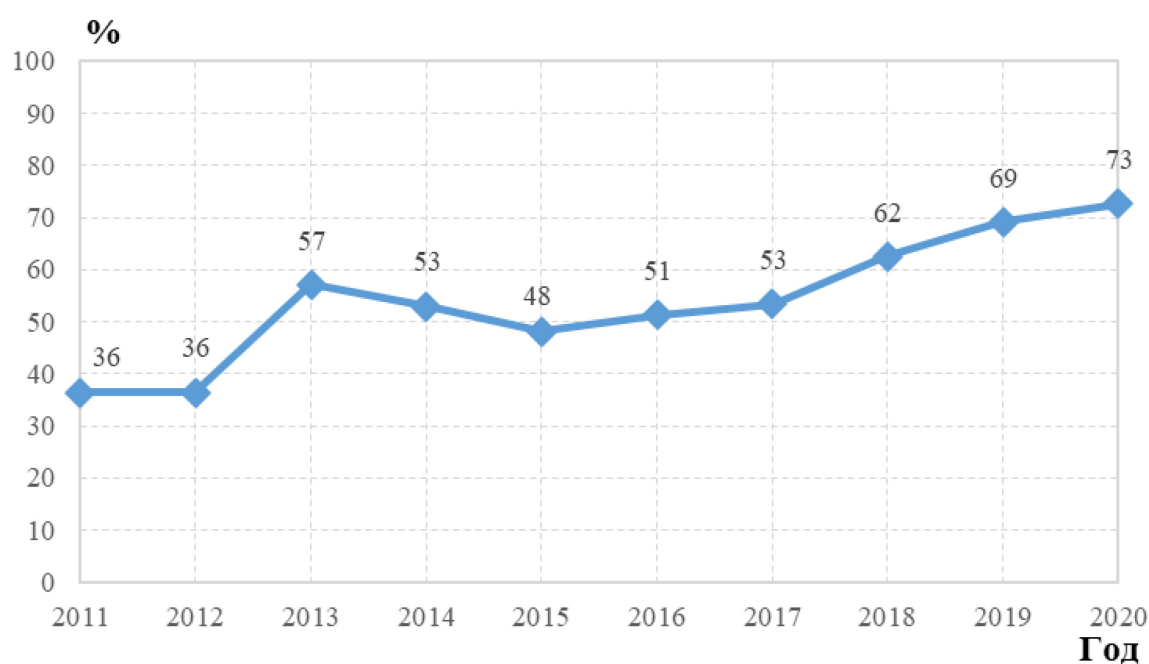


Рисунок 1.4 – Доля затрат разреза «Черногорский», приходящаяся на функционирование КТГО, за период 2011-2020 гг.

Рост доли затрат, обусловлен высокой динамикой увеличения расходов на обеспечение функционирования зарубежного оборудования, получившего широкое распространение на угледобывающих предприятиях России [19, 20, 21]. В частности, с 2010 года на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия», и на большинстве

других крупных угледобывающих предприятиях, начали активно вводить в эксплуатацию большегрузные карьерные автосамосвалы БелАЗ-75306, оснащенные двигателем Cummins QSK-60. В настоящее время доля всех этих машин в структуре парка автосамосвалов разреза «Черногорский» достигает более 60% и продолжает увеличиваться. С их помощью транспортируется около 80% горной массы. Вследствие этого значительно возросли расходы на обеспечение функционирования технологической автоколонны. Так, доля затрат, приходящаяся на обеспечение функционирования большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ в расходах на функционирование КТГО разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия», увеличилась в 3 раза – с 17% в 2011 году до 52% в 2020 году (рисунок 1.5).

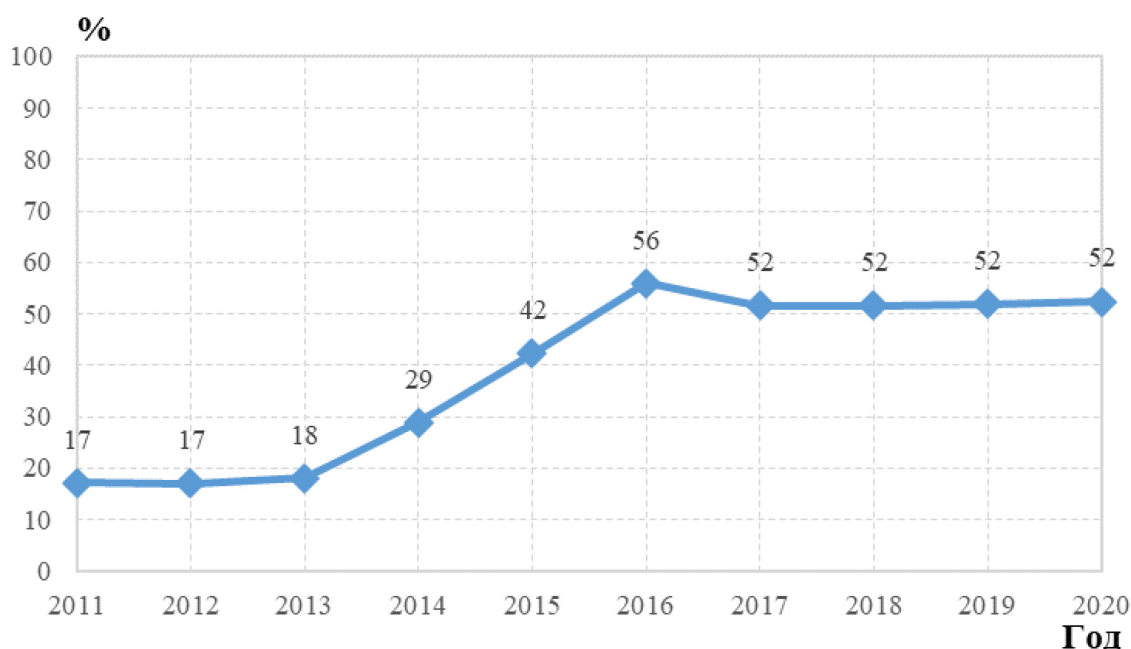


Рисунок 1.5 – Доля затрат, приходящаяся на функционирование автотранспорта в структуре затрат на функционирование КТГО на разрезе «Черногорский» за период 2011-2020 гг.

Также затраты на приобретение двигателя Cummins QSK-60, работающего на большегрузных карьерных автосамосвалах БелАЗ-75306, существенно увеличились и в доле стоимости автосамосвала в 2024 г. составляют 40-60%, вместо 25-30% в 2000 г. (рисунок 1.6). Это связано с ужесточением санкций от стран, поставляющих данные двигатели на российский рынок. В связи с этим начинают получать распространение автосамосвалы БелАЗ-75306 с двигателем-аналогом

Weichai от китайских производителей. Однако, полноценный переход на двигатели-аналоги, как показывает практика, займет значительное время – от 3 до 5 лет, поскольку для этого требуется адаптация и развитие имеющейся инфраструктуры.

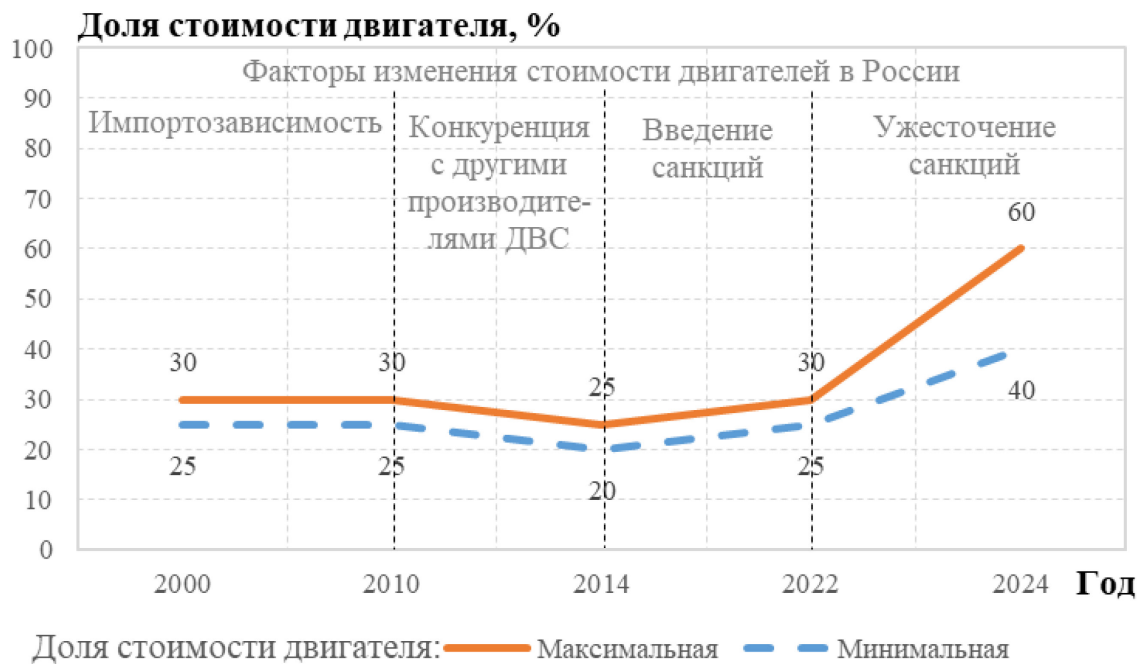


Рисунок 1.6 – Доля стоимости двигателя Cummins QSK-60 в стоимости автосамосвала БелАЗ-75306 на российских предприятиях

Таким образом, крупные угольные предприятия открытого способа добычи оказались в ситуации, когда значимая часть автосамосвалов работает с двигателями Cummins QSK-60, стоимость покупки и эксплуатации которых снижает рентабельность основных процессов угледобычи и, вместе с этим, отсутствует возможность быстрого перехода на двигатели-аналоги «дружественных стран». В связи с этим высокую актуальность приобретает задача оценки полноты использования ресурса имеющихся двигателей и ее повышения для сокращения затрат, приходящихся на обеспечение функционирования парка автосамосвалов и создания возможности планомерного формирования инфраструктуры для перехода на двигатели-аналоги. Под ресурсом понимается – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до перехода в предельное состояние [22].

В данной связи проведено сравнение величины фактического ресурса двигателей Cummins QSK-60, работающих на большегрузных карьерных

автосамосвалах БелАЗ-75306 в одинаковых горно-геологических и климатических условиях. Общепринятым подходом к оценке полноты использования ресурса двигателей является сравнение среднего ресурса двигателя после капитального ремонта со средним ресурсом новых двигателей до капитального ремонта (рисунок 1.7) [23]. Так, например, на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» в среднем ресурс двигателей Cummins QSK-60 после первого капитального ремонта составляет 73% от ресурса двигателей до первого капитального ремонта, после второго капитального ремонта он составляет в среднем – 46%.

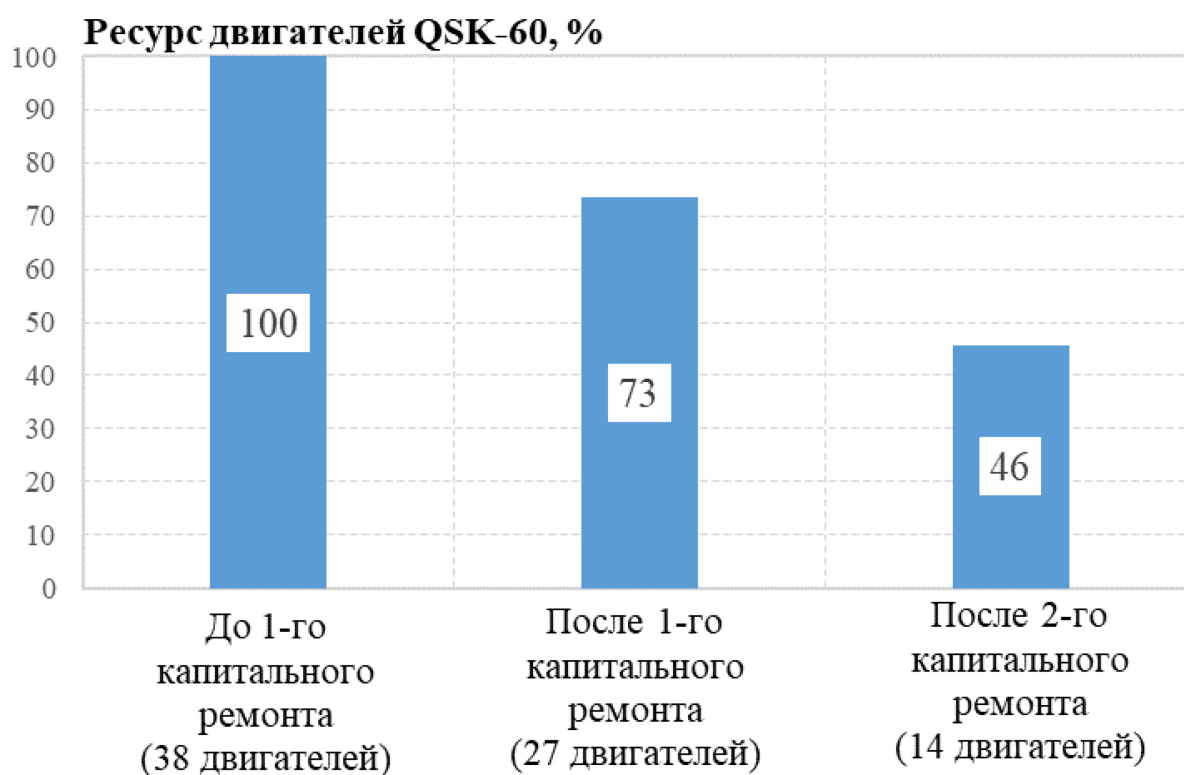


Рисунок 1.7 – Ресурс двигателей QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2012-2024 гг.

Полученная оценка подтвердила общеизвестное понимание закономерного снижения ресурса двигателей после проведения капитальных ремонтов. Такая оценка ресурса двигателей не позволила увидеть резервы в повышении полноты его использования.

Вместе с тем, анализ базы данных о работе двигателей на рассматриваемом разрезе показал, что ресурс однотипных двигателей на автосамосвалах,

работающих в одинаковых горно-геологических и климатических условиях, существенно варьируется. Так, например, оценка эксплуатационной надежности двигателей Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия» за период 2012-2024 гг. показала, что ресурс новых двигателей до первого капитального ремонта может различаться в 2,8 раза – от 13 тыс. мото-ч до 37 тыс. мото-ч (заводом изготовителем заявлен ресурс 35 тыс. мото-часов на новые двигатели Cummins QSK-60), между первым и вторым капитальным ремонтом – в 26,5 раз от 1 тыс. мото-ч до 34 тыс. мото-ч, между вторым и третьим – более чем в 30 раз от 1 тыс. мото-ч до 30 тыс. мото-ч (рисунок 1.8). Выявленный разброс фактического ресурса двигателей, как нового – до первого капитального ремонта, так и после капитального ремонта, свидетельствует о негативном влиянии факторов, возникающих не только в процессе ремонтного обслуживания, но и в процессе работы автосамосвала [24].

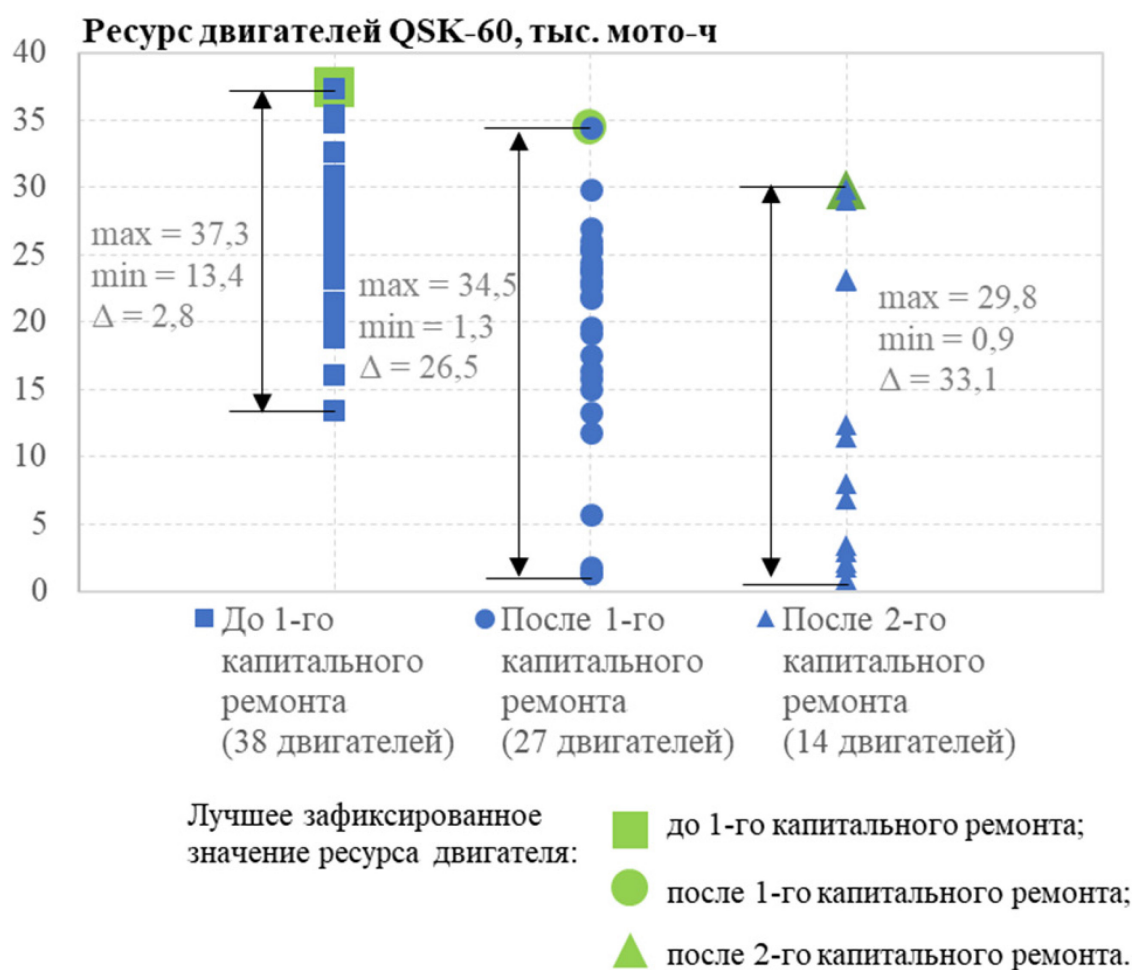


Рисунок 1.8 – Ресурс двигателей QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2012-2024 гг.

Таким образом, если бы ресурс всех двигателей соответствовал бы максимально достигнутому его значению в условиях рассматриваемого предприятия, то за 11 лет не потребовалось бы провести 32 капитальных ремонта и приобретать 5 единиц новых двигателей, что, как следствие, позволило бы сэкономить 2,1 млрд. руб. в ценах 2024 г., а также доля затрат, приходящаяся на транспортирование горной массы, уменьшилась бы на 12%.

Этим подтверждается актуальность задачи повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях посредством снижения негативного влияния факторов, возникающих в процессе работы этих машин. Решение данной задачи требует выявления факторов, оказывающих определяющее негативное влияние на ресурс двигателей автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях угледобывающего предприятия, что обусловило необходимость выполнения анализа существующей научно-методической базы повышения полноты использования ресурса двигателей этих машин.

## **1.2. Анализ научно-методической базы повышения полноты использования ресурса двигателя большегрузных карьерных автосамосвалов**

Анализ существующей научно-методической базы, посвященной задаче повышения полноты использования ресурса двигателей автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горнодобывающих предприятий, показал, что ключевыми направлениями решения данной задачи являются:

- исследования, посвященные выявлению связи между показателями, характеризующими негативное влияние факторов на техническое состояние двигателей для определения резервов повышения эффективности их эксплуатации и способам минимизации этого влияния [25-43];

- исследования, посвященные спектральному анализу физико-химических характеристик отработанного масла двигателя для прогнозирования его предельной наработки [48-54].

К первой группе исследований можно отнести труды следующих российских ученых: доктора наук – Довженок А.С., Галкин В.А., Глебов А.В., Хажиев В.А., Паначев И.А., Хазин М.Л., Богомоллов А.Р. и др. кандидаты наук – Кузнецов С.Р., Дадонов М.В., Кудреватых А.В., Ащеулов А.С., Кузнецов И.В., Гомбожав М., Фефелов Е.В., Вохмин Д.М., Дубов Г.М., Темникова Е.Ю., Созинов С.А., Савин Л.О. и др.

Преимущественно в работах вышеперечисленных исследователей выделяются следующие факторы, оказывающие негативное влияние на ресурс двигателей автосамосвалов: превышение скоростного режима автосамосвала (груженого и порожного) во время транспортирования горной массы; крутые подъемы трасс; качество, своевременность и полноценность технического обслуживания и ремонта (ТОиР); качество материалов из которых изготовлены комплектующие двигателей; конструктивные особенности двигателей; качество горюче-смазочных материалов (ГСМ); повышенная влажность, запыленность окружающей среды и величина перепада ее температуры в различные сезоны года; продолжительность эксплуатации (возраст) автосамосвала и двигателя; качество трассирования и дорожного покрытия; сверхнормативный расход дизельного топлива (ДТ); неудовлетворительная квалификация водителя; превышение грузоподъемности и т.д. Так, например, в своей работе Хазин М.Л. приводит ряд факторов, в том числе климатических, оказывающих влияние на качество выполнения заданной функции горно-транспортного оборудования в условиях горнодобывающего предприятия [25]. К таким факторам исследователь относит: высокий и низкий температурный режим, повышенную влажность и сверхнормативную запыленность окружающей среды, химически агрессивный состав атмосферы, динамические нагрузки и вибрации, сейсмическую активность, режим работы, резкие колебания электромеханических нагрузок, фактическое техническое состояние оборудования, период ввода оборудования в эксплуатацию и т.д. Также автор отмечает, что в процессе эксплуатации горного оборудования в условиях горнодобывающего предприятия возникают изменения в его устройствах и элементах под действием технологических нагрузок и внешней среды. Научные результаты Хази́на М.Л.

позволяют сделать вывод о наличии двух видов факторов, возникающих во время работы автосамосвала и оказывающих влияние на ресурс его деталей, узлов и агрегатов: внешних, например, температура окружающей среды, а также внутренних, например, резкие колебания электромеханических нагрузок.

Также, в части классификации факторов, оказывающих влияние на качество работы горно-транспортного оборудования, для настоящего исследования, следует отметить диссертационную работу Фефелова Е.В., в которой выделено два вида факторов, действующих на автосамосвал в процессе его работы [26]. Автор выделяет: факторы независимые от транспорта и зависящие от параметров транспортной системы карьера, оказывающие эффект на качество реализации заданной функции автосамосвала, например, руководящий уклон трасс, глубина карьера, коэффициент развития трасс. В исследовании приведен ряд параметров, с помощью которых можно оценивать влияние этих факторов на эффективность эксплуатации автомобильного транспорта в условиях горнодобывающего предприятия. Одним из ключевых таких параметров по мнению автора является удельный расход дизельного топлива автосамосвала в процессе транспортирования горной массы. Фефелов Е.В. обосновывает необходимость применения данного показателя выявленными зависимостями удельного расхода дизельного топлива автосамосвала от высоты подъема при транспортировании горной массы и углу наклона этих подъемов. С помощью показателя удельного расхода дизельного топлива появляется возможность оперативного определения рациональных параметров горнотехнических условий эксплуатации двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов. Научные результаты Фефелова Е.В. позволяют сделать вывод о целесообразности применения показателя удельного расхода дизельного топлива в качестве индикатора, отражающего влияние внешних и внутренних факторов, возникающих во время транспортирования горной массы автосамосвалом и снижающих эффективность его работы.

Положительные стороны применения показателя удельного расхода ДТ карьерными автосамосвалами выделены в исследовании Довженка А.С. [27]. С помощью этого показателя автор предлагает оценивать качество погрузочно-



транспортного процесса, режим движения автосамосвалов, качество проведения технического обслуживания и ремонта, качество трассирования и дорожного покрытия, качество выпускаемых автомобилей. Автор в своей работе обосновывает, что при улучшении параметров подсистем карьерного автомобильного транспорта появляется возможность повышения эффективности использования потребляемых этими машинами ресурсов в процессе транспортирования горной массы. Важным результатом исследования Довженка А.С. являются обоснованные коэффициенты, позволяющие определять горизонтальные эквиваленты перемещения горной массы. С их применением возможно рассчитывать и сравнивать удельный расход дизельного топлива на трассах с разным количеством подъемов, количеством поворотов и их крутизной.

В своем исследовании Кузнецов С.Р. уделяет внимание факторам, возникающим во время работы автосамосвала, и влияющим на силу тяги двигателей этих машин [28]. В работе автор подробно раскрывает степень влияния веса горной массы, транспортируемой в кузове большегрузного карьерного автосамосвала, на скорость этой машины и на силу тяги двигателя. Автором исследования были сгруппированы трассы в зависимости от их протяженности и количества подъемов. Для каждой трассы в зависимости от ее геометрических характеристик была определена рациональная величина скорости движения автосамосвала с целью минимизации расхода дизельного топлива, приходящегося на транспортирование горной массы. Также в работе рассмотрены факторы, вызванные термодинамическими нагрузками, возникающими в двигателе во время работы автосамосвала. Эти нагрузки вызваны в следствие конструктивных особенностей двигателей. Результаты исследования Кузнецова С.Р. обосновывают необходимость выделения категорий трасс на горнодобывающем предприятии в зависимости от степени влияния их качественных характеристик на эффективность работы двигателей автосамосвалов и разработки методов перевода трасс из худших категорий в лучшие.

В диссертационной работе Гомбожав М обосновывается необходимость классификации двигателей на три разные группы, исходя из их фактического

технического состояния на момент исследования: новые, с неотрегулированной системой питания и с неисправной системой охлаждения [29]. Также в работе выявлены связи между пробегами двигателей в предложенных группах от физико-химических параметров отработанного моторного масла (щелочное число, кислотное число, вязкость при 100°С и т.д.). Исходя из фактического технического состояния двигателя автором исследования были даны рекомендации о периодичности замены масла в двигателе для каждой группы, а также обосновано, что для определения рационального срока замены масла двигателя наиболее информативным показателем является время до начала повышения кислотного и щелочного чисел. Результаты диссертационной работы Гомбожав М. показывают необходимость выделения групп двигателей по различным признакам для более объективного выявления зависимостей параметров их работы от факторов, оказывающих на них негативное влияние.

В диссертационной работе Кудреватых А.В. уделено внимание возможностям оценки ресурса редуктора большегрузного карьерного автосамосвала с помощью контроля состояния масла в нем [30]. В работе отмечено, что примеси загрязнения в масле оказывают наибольшее влияние на работу масляной системы и накапливаются равномерно с течением времени при транспортировании горной массы автосамосвалом. Автор обосновывает, что для рационального повышения ресурса редукторов необходимо изменять организацию ремонтного обслуживания автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горнодобывающего предприятия путем перехода от планово-предупредительного ремонтного обслуживания автосамосвала к ремонту исходя из фактического технического состояния этой машины, ее деталей, узлов и агрегатов. Результаты исследования Кудреватых А.В. возможно адаптировать для оценки фактического технического состояния двигателя автосамосвала, с помощью мониторинга качества состояния масла в этом агрегате.

В своем диссертационном исследовании Галкин В.А. приводит формулу расчета приведенного расстояния, учитывающую «эталонное» количество энергии, необходимой для транспортирования горной массы [31]. С его помощью появляется

возможность выявлять минимальные значения удельного расхода дизельного топлива, необходимое для транспортирования горной массы автосамосвалами на различных трассах горнодобывающего предприятия. Исходя из разницы между «эталонным» количеством энергии, необходимой для транспортирования горной массы, и среднего или максимального количества энергии, затрачиваемой по факту выполнения своей функции автосамосвалом на различных трассах, появляется возможность проводить оценку наиболее рациональных маршрутов автотранспорта с целью повышения эффективности работы парка автосамосвалов, а также определять очередность трасс для улучшения качества дорожного покрытия. Результаты диссертационного исследования Галкина В.А. позволяют соотносить трассы с разным количеством подъемов и съездов и оценивать качество работы водителей автосамосвалов, транспортирующих горную массу на этих трассах. Также результаты Галкина В.А. позволяют выявлять наиболее рациональные маршруты по показателю затраченной энергии.

В своем исследовании Вохмин Д.М. обосновывает, что величина ресурса двигателя автосамосвала, эксплуатируемого в условиях горнодобывающего предприятия, зависит от скорости перемещения этого автосамосвала [32]. Основными факторами, влияющими на скорость транспортирования горной массы автосамосвалом, являются: условия эксплуатации, интенсивность эксплуатации и наработка этой машины. С целью минимизации негативного влияния данных факторов на состояние двигателя во время выполнения автосамосвалом его функции, автор предлагает вносить конструктивные изменения в двигателе во время его изготовления. Эффект, оказывающий влияние на работу двигателя и получаемый от внесения изменений на стадии изготовления этого двигателя, незначителен по сравнению с эффектом, который достигается посредством улучшения организации работы автосамосвала в условиях угледобывающего предприятия.

В области условий эксплуатации горно-транспортной техники следует выделить работу Паначева И.А. и Кузнецова И.В. [33]. Авторы уделяют внимание эффективности работы двигателя автосамосвалов в зависимости от горно-

технологических условий эксплуатации этих машин и их грузоподъемности. Исследователи обосновали «предельно-допускаемые» параметры работы автосамосвала, включающие в себя: допускаемые углы наклона съездов, матожидание амплитуды напряжений, удельные затраты энергии, «полезный» расход дизельного топлива и т.д. Для каждого параметра выявлены значения исходя из грузоподъемности автосамосвала. Авторами приведены расчеты «полезного» расхода дизельного топлива в зависимости от угла наклона трассы для автосамосвалов различной грузоподъемности. Под полезным расходом в работе понимается «количество дизтоплива, затраченное на транспортировку горной массы от пункта загрузки до пункта разгрузки». Также выявлено, что при увеличении угла наклона трассы ресурс двигателя автосамосвала может сократиться на 65-70%.

Работа Глебова А.В. посвящена проблеме развития теории формирования и функционирования транспортной и горнотехнической систем карьера во взаимосвязи с развитием карьерного пространства с целью исключения взаимного несоответствия данных систем карьера при изменении природных, горнотехнических, организационных и экономических условий. Автор доказывает, что несоответствие технологической и технической подсистем горнотехнической системы карьера, усугубляющееся и накапливающееся с изменением природных, технологических, технических и организационно-экономических условий, устраняется взаимной адаптацией путём приведения в динамическое равновесие их структуры и параметров на весь срок эксплуатации карьера [34-39].

В исследовании Савина Л.О. обосновывается подход к обоснованию периодичности проведения ТОиР двигателя в зависимости от влияния на его работоспособность таких факторов, как: запыленность воздуха, низкие и высокие температуры, интенсивность осадков [40]. Савин Л.О. исследовал как в результате влияния данных факторов изменяется механическое и абразивное изнашивание деталей, узлов и агрегатов; образование накипи в системе охлаждения двигателя; ухудшение качества ГСМ; формирование паровых пробок в системе подачи

топлива; нарушение теплового режима работы двигателя; пусковые износы; обеднение рабочих смесей, и т.д.

В своих совместных работах Дадонов М.В., Кудреватых А.В. и Ащеулов А.С. уделяют внимание качеству проведения капитальных ремонтов двигателей автосамосвалов [41]. Авторы выявили факторы, возникающие во время работы автосамосвала и оказывающие негативное влияние на его двигатель: разное состояние трасс, водители с разным уровнем навыков управления горно-транспортным оборудованием, неравномерный износ деталей, узлов и агрегатов автосамосвала. Помимо факторов, возникающих во время работы автосамосвала, исследователи привели ряд факторов, возникающих во время ремонтных работ двигателя и оказывающих влияние на его ресурс. К таким факторам относятся: укомплектованность штата работниками и уровень их квалификации, наличие оборудования и инструмента, уровень механизации работ, качество взаимодействия с сотрудниками смежных служб, планировка ремонтных зон. Также авторы отметили слабое влияние времени года на количество внезапных выходов из строя двигателей карьерных автосамосвалов.

В исследованиях Хажиева В.А. обосновываются возможности улучшения показателей работы карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях посредством изменения параметров их рабочей среды [42]. На ряде отечественных угледобывающих предприятий автор выявил, что в условиях сохранения сложившегося качества рабочей среды автосамосвалов повышение производительности этих машин приводит к значительному увеличению стоимости их владения. Хажиев В.А. расчетным путем доказывает, что величину стоимости владения автосамосвалами БелАЗ-75306 при повышении их производительности возможно сократить до 40% посредством повышения качества рабочей среды, выраженного величиной удельных затрат на формирование дорожных условий.

В работе Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Темникова Е.Ю., Созинов С.А. и Нохрин С.А. уделяют внимание систематическому выходу из строя поршней в цилиндрах двигателя автосамосвалов БелАЗ при их эксплуатации в условиях горнодобывающего предприятия [43]. Авторы обосновывают, что поршни

двигателя выходят из строя вследствие возникновения превышения температурного режима работы двигателя во время транспортирования горной массы автосамосвалом. Исследователи связывают нарушение температуры работы двигателя с нарушением технологии литья и использование некачественных материалов при изготовлении двигателя. Также авторы дают рекомендации по повышению качества и соблюдению входного контроля дорогостоящих запасных частей при покупке или проведении ремонтного обслуживания автосамосвалов и их крупных узлов и агрегатов.

Исследователи, работы которых посвящены выявлению связи между показателями, характеризующими негативное влияние факторов на техническое состояние двигателей для определения резервов повышения полноты их эксплуатации и способам минимизации этого влияния, выделяют ряд факторов, влияющих на ресурс двигателей (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Негативные факторы, возникающие во время работы автосамосвала, и их исследователи

Факторы	Исследователи
1. Превышение скорости автосамосвала	Довженко А.С., Галкин В.А., Вохмин Д.М.
2. Крутые подъемы	Довженко А.С., Паначев И.А., Кузнецов С.Р., Кузнецов И.В., Фефелов Е.В., Вохмин Д.М.
3. Качество ТОиР	Дадонов М.В., Хажиев В.А., Кудреватых А.В., Ащеулов А.С., Гомбожав М., Савин Л.О.
4. Качество материала двигателя	Дадонов М.В., Кудреватых А.В., Ащеулов А.С., Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Савин Л.О., Темникова Е.Ю., Созинов С.А.
5. Конструкция двигателя	Вохмин Д.М., Дубов Г.М., Богомолов А.Р., Темникова Е.Ю., Созинов С.А.
6. Низкое качество масла и топлива	Гомбожав М.
7. Время года	Хазин М.Л.
8. Срок эксплуатации автосамосвала и его двигателя	Гомбожав М., Вохмин Д.М.
9. Повышенная запыленность	Хазин М.Л.

Факторы	Исследователи
10. Качество дорожного покрытия	Довженко А.С., Галкин В.А., Глебов А.В., Паначев И.А., Кузнецов С.Р., Фёфелов Е.В., Вохмин Д.М., Хажиев В.А.
11. Повышенный расход ДТ	Паначев И.А., Фёфелов Е.В.
12. Квалификация водителя	Довженко А.С., Хажиев В.А.
13. Превышение грузоподъемности	Кузнецов И.В.

Исходя из обзора трудов данных исследователей и их разному подходу к решению научных задач повышения полноты использования ресурса двигателей можно сделать вывод о высокой актуальности данного исследования.

Среди исследований, связанных с оценкой меры негативного влияния эксплуатационных факторов на ресурс двигателя, важно выделить исследования, связанные со спектральным анализом физико-химических характеристик отработанного масла (загрязнение продуктами сгорания топлива, загрязнение продуктами износа трущихся деталей, угар, окисление, термоокислительная деструкция, коллоидное старение и срабатывание присадок). В результате спектральных исследований отработанного масла возможно выявлять статистически значимую информацию о состоянии деталей, узлов и агрегатов двигателя большегрузного карьерного автосамосвала [44, 45, 46]. Выявление долевой массы различных частиц в исследуемых образцах масла тесно связано со скоростью износа двигателя, его фактическим техническим состоянием и о физико-химических процессах, происходящих в нем исходя из состояния отработанного масла. Спектральный анализ масла, при владении необходимым оборудованием, является простым методом диагностики двигателя, включающим в себя 4 шага: взятие пробы отработанного масла двигателя; проведение спектрального анализа отработанного масла двигателя; анализ полученных результатов; принятие решение о дальнейшей работе двигателя или направлении его в ремонтную зону. Таким образом, на основе спектрального анализа масла возможно принять обоснованное решение о дальнейшей его работе или направлении двигателя в зону проведения ремонта на ранних этапах

возникновения неисправностей, когда стоимость и продолжительность ремонта не так велики.

Анализом отработанного масла начали заниматься в 1940-1960 годах. В этот период основными способами анализа отработанного масла были визуальные и простые химические методы, включающие в себя:

- визуальный осмотр – оценивались цвет, прозрачность, количество примесей;
- определение вязкости – оценивалась изменение густоты, относительного нового масла;
- пробу на фильтрованной бумаге – выявлялись наличия воды, топлива и сажи.

Данные способы были субъективными и имели низкую точность для оценки фактического состояния масла.

В период 1960-1980 гг. началось внедрение инструментальных методов, включающих в себя [47]:

- спектральный анализ масла – определялись частицы металлов в масле, их количество и размеры;
- инфракрасная спектроскопия – определялись окисление, нитрование, сульфатирование, наличие технических жидкостей;
- хроматография – выявлялось наличие топлива.

Данный способ был автоматизирован и обладал высокой точностью анализа.

В период 1980-2000 гг. активно развивалась комплексная диагностика, включающая в себя:

- масс-спектрометрия – более точно определялись микроэлементы;
- лазерная спектроскопия – быстрее определялись частицы загрязнения;
- феррография – оценивались крупные частицы металлов.

Данный способ внедрялся в различные отрасли, в которых применялась мощная дорогостоящая техника.

В период с 2000 г. по наши дни активно развивается автоматизация и искусственный интеллект (ИИ), задействующие:

- датчики – состояние масла оценивается непрерывно;
- рентгенофлуоресцентный анализ – скрининг частиц металлов;



- методы машинного обучения – прогнозирование скорости износа по данным поведенных анализов.

На сегодняшний день в России используются лаборатории различных способов анализа масел. Распространенные способы анализа масла:

- спектральный анализ;
- инфракрасная спектроскопия;
- анализ вязкости;
- титрование.

Наиболее широкое распространение получил спектральный анализ отработанного масла двигателя так как 89% лабораторий оснащены приборами для проведения спектрального анализа.

Анализ отработанного масла в двигателе с целью выявления фактического технического состояния двигателя является актуальной задачей для таких отраслей как: судостроение, авиастроение, аграрная промышленность и горное дело. Именно публикаций исследований в этих отраслях преобладают в большем количестве.

Анализ существующей научно-методической базы, посвященной задаче повышения полноты использования ресурса двигателей автосамосвалов, эксплуатируемых в условиях горнодобывающих предприятий, показал, что ключевыми направлениями решения данной задачи являются:

– исследования, посвященные выявлению связи между показателями, характеризующими негативное влияние факторов на техническое состояние двигателей для определения резервов повышения эффективности их эксплуатации;

– исследования, посвященные спектральному анализу физико-химических характеристик отработанного масла двигателя для прогнозирования его предельной наработки.

К группе исследователей спектральному анализу физико-химических характеристик отработанного масла двигателя для прогнозирования его предельной наработки можно отнести труды следующих российских ученых:

**доктора наук** – Задорожная Е.А., Надежкин А.В. и др. **кандидаты наук** – Алушкин Т.Е., Соколова И.В., Керученко Л.С., Мальцева Е.И., Глущенко А.А., Зейнетдинов Р.А., Гладцын А.Ю., Ревякин М.М., Грядунов К.И., Стенина Н.А., Кудреватых А.В., Бояршинов А.Л. и др.

Следует отметить, большинство исследователей отмечают, что именно частицы железа являются наиболее достоверным показателем о фактическом техническом состоянии двигателя.

Так, например, исследователь Ревякин М.М. доказал, что, из ряда металлов в составе деталей двигателя, именно частицы железа в отработанном масле двигателя являются наиболее наглядным и достоверным показателем о фактическом техническом состоянии двигателя при проведении спектрального анализа масла [48]. Автор обосновывает рассмотрение двигателя как триботехническую систему для наиболее полного представления о состоянии двигателя. Также он приводит данные о разности между номинальным и фактическим ресурсом двигателей, которая достигает 20%.

В своих работах Старченко М.Е., Надежкин А.В., Соколова И.В. и Голенищев А.В. отмечают, что 77% частиц износа в отработанном масле двигателя составляют сплавы железа (Fe) с другими металлами [49]. Также в их исследованиях раскрывается способ анализа масла. Он заключается во взятии пробы отработанного масла и выявлении в ряде физико-химические свойства этого масла «браковочного уровня» во взятой пробе. Также проводится спектральный анализ масла с целью выявления количества и размеров частиц металлов. По его итогам определяются частицы металлов, содержащиеся в масле, и сопоставляются их величины концентрации с «предельными значениями». Анализируются такие физико-химические свойства масла как: плотность при 20 °С, вязкость при 100 °С, температура вспышки, щелочное число, содержание воды, механические примеси, загрязненность, дисперсность. Выявляются и распределяются относительно размера такие частицы металлов как: железо, свинец, алюминий, никель, хром, кремний, олово, медь.

В исследовании Керученко Л.С. и Мальцева Е.И. представлена методика, учитывающая фактическое техническое состояние двигателя и относящая его к определенной группе агрегатов: «исправные» и «неисправные» двигатели [50]. Такой метод группировки двигателей и анализ масла, учитывающий фактическое техническое состояние двигателей, позволяет с большей точностью определять повышенное количество частиц износа деталей, размер этих частиц, а также сопоставлять эти показатели со значениями двигателей находящихся в группе «исправных» или «неисправных» двигателей посредством построения графиков плотности распределения. В ходе исследования авторами были определены предельные значения элементов износа двигателя, а также разработана формула для выявления ошибки распознавания.

Также в части группировки деталей, узлов и агрегатов двигателя следует рассмотреть работу авторов: Глущенко А.А., Зейнетдинов Р.А. и Вайчик И.С. [51]. Авторы сгруппировали детали, узлы и агрегаты двигателя на шесть групп исходя из примесей металлов, содержащихся в них. Для каждой группы были определены металлы, по содержанию частиц в масле которых возможно отслеживать фактический износ деталей. Также эти исследователи отметили, что для повышения точности прогнозирования выхода из строя конкретных деталей двигателя рационально отслеживать «скорость прироста элементов в пробах масла», т. к. этот метод учитывает результаты прошлых диагностик двигателя и дает возможность отслеживать динамику его износа в зависимости от времени их наработки.

Автор Гладцын А.Ю. в своем исследовании отмечает, что процесс спектрального анализа отработанного масла в двигателе и обработка полученных результатов является достаточно изученными, однако способ взятия проб отработанного масла двигателя мало изучен, в частности продолжительности между остановкой двигателя и взятием пробы [52]. В работе подмечено, что в большом количестве представленных методик не учитывается скорость осаждения частицы металлов на дно масляного бака после остановки двигателя. Исходя из того, что скорость осаждения частиц металлов в новом и в

отработанном масле различается был обоснован «коэффициент осаждения» частиц металла. Автор обосновано, что «коэффициент осаждения» частиц металла зависит от продолжительности между остановкой двигателя и взятием пробы отработанного масла, а также от уровня взятия пробы относительно дна масляного бака. В исследовании даны рекомендации по отбору пробы отработанного масла двигателя для повышения точности спектрального анализа, и, как следствие, получение более достоверной информации о фактическом техническом состоянии двигателя после отработанного им определенного количества времени.

В части отбора проб и способа анализа отработанного масла двигателя следует рассмотреть труды Алушкина Т.Е. [53-61]. В своих работах автор уделяет внимание различным методам анализа базы данных о техническом состоянии масла силового агрегата. Одним из методов оценки состояния отработанного масла является отслеживание его параметров с периодичностью. Такой метод является более информативным по сравнению с общепринятыми способами отслеживания состояния масла только при его замене. Также автор рассматривает способы изменения конструкции приборов, которые отслеживают состояние масла в силовых агрегатах, с целью формирования возможности значительного снижения трудоемкости при отборе проб.

Также в части методов отбора проб отработанного масла двигателя следует обратить внимание на диссертационное исследование, которое опубликовал Грядунов К.И. [62] Автор уделяет внимание отбору пробы масла из двигателя и отмечает, что большей информативностью обладает масло, взятое со среднего, относительно дна масляного бака, уровня. В работе обоснована продолжительность между остановкой двигателя и взятием пробы отработанного масла. Также автором выявлено, «критическое» значение нагрузки на двигатель, по достижению которого происходит значительное увеличение частиц железа в отработанном масле двигателя.

В диссертационной работе Стениной Н.А. также показывает, что при достижении «критических» значений температуры масла в работающем агрегате

существенно повышается количество выходов из строя этих агрегатов [63]. Также автором было выявлено, что для минимизации отклонений температурного режима работы масла в различных условиях эксплуатации автосамосвала рационально уменьшать количество загружаемой горной массы в кузов автосамосвала. В своем исследовании автор также выявил разные условия эксплуатации автосамосвалов и привел расчеты «коэффициента использования грузоподъемности» исходя из этих условий. Также приведены связи количества выходов из строя и продолжительности нахождения автосамосвала в ремонтной зоне от температуры масла при эксплуатации автосамосвала. Приведены экономические потери от ремонта автосамосвалов по причине выхода его из строя в следствии эксплуатации с несоблюдением температурного режима масла.

В своем диссертационном исследовании Задорожная Е.А. уделяет внимание ранним этапам при проектировании узлов трения различных механизмов, обосновывая необходимость анализа поведения смазочных материалов при функционировании данных машин [64]. Такой подход дает возможность учитывать конструктивные и режимные параметры узлов трения, а также реологическое поведение смазочных материалов, что в свою очередь позволяет целенаправленно формировать геометрию трущихся поверхностей и обосновано выбирать из каких материалов будут изготовлены пары трения будущего механизма.

Это обеспечивает создание более надежных, долговечных и энергоэффективных механизмов, позволяя избежать дорогостоящих доработок на последующих этапах.

На сегодняшний день анализ отработанного масла двигателя определяется стандартными методами по ГОСТу, содержащих в себе определение:

- кинематической вязкости при температурах 40 °С и 100 °С;
- температуры вспышки;
- содержание частиц элементов износа;
- содержание частиц элементов загрязнения;
- общего щелочного числа;

- диспергирующей способности.

Главным преимуществом современных методов является возможность прогнозировать остаточный ресурс двигателей с достаточно высокой точностью и с относительно низкой стоимостью проведения анализа.

Таким образом, исходя из анализа научно-методической базы можно сделать вывод, что для решения задачи повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, необходима разработка методики, синтезирующей результаты исследований в следующих направлениях: исследования, направленные на выявление многочисленных факторов, возникающих во время эксплуатации большегрузных карьерных автосамосвалов и оказывающих негативный эффект на ресурс их двигателей, и исследования, направленные на рассмотрение способов диагностики фактического технического состояния двигателя на основе спектрального анализа физико-химических свойств отработанного масла двигателя. Такая методика должна позволять не только констатировать повышенный износ по анализу масла, но и позволять идентифицировать конкретные эксплуатационные факторы по предпосылкам их влияния, что даст возможность разрабатывать целенаправленные предиктивные организационно-технические мероприятия, позволяющие повысить полноту использования ресурса двигателей.

### **1.3. Постановка задач исследования**

Оценка современного состояния вопроса полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на отечественных угледобывающих предприятиях, а также научно-методической базы повышения ресурса таких двигателей показала, что применяемый подход к прогнозированию остаточного ресурса двигателей автосамосвалов посредством спектрального анализа отработанного масла двигателя не позволяет с высокой надежностью определять его предельное состояние и выявлять факторы, существенно

снижающие его ресурс. В связи с этим были сформулированы цель, идея и задачи диссертационной работы.

**Цель исследования** – повысить полноту использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.

**Идея исследования** состоит в совместном учете режима работы карьерных автосамосвалов и скорости накопления частиц железа в отработанном масле с начала ввода двигателей в эксплуатацию.

#### **Задачи исследования**

1. Обосновать режимы работы большегрузных карьерных автосамосвалов, определяющие полноту использования ресурса двигателей.
2. Оценить влияние режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов на полноту использования ресурса их двигателей.
3. Разработать методику повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.



Рисунок 1.9 – Схема диссертационного исследования



## Вывод по главе 1

На основании проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Экономическая устойчивость угледобывающих предприятий в значительной мере определяется их способностью выявлять и осваивать внутрипроизводственные резервы повышения эффективности деятельности по транспортированию горной массы. Это связано с тем, что преобладающая доля затрат, расходуемых на функционирование комплекса технологического горного оборудования, приходится на эксплуатацию и ремонт автотранспорта, и имеет направленность роста во времени. Также значимость решения данной задачи обусловлена импортозависимостью отечественных предприятий по части приобретения большегрузного карьерного автотранспорта и, соответственно, запасных частей к нему.

2. Выявлено, что сформировалась тенденция роста затрат на приобретение и ремонт двигателей в структуре затрат, расходуемых на функционирование карьерного автотранспорта, – в среднем с 25-30% до 40-60%. Это связано с усилением санкционного давления от стран поставщиков зарубежных двигателей, которые массово применяются на отечественных угледобывающих предприятиях. Быстрый переход на аналогичные двигатели от производителей «дружественных стран» затруднен в кратко- и среднесрочной перспективе из-за необходимости адаптации инфраструктуры.

3. Проведенный анализ показателей надежности зарубежных двигателей Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306, наиболее распространенных на развивающихся отечественных угледобывающих предприятиях, позволил выявить, что ресурс этих двигателей существенно варьируется, диапазон изменения которого достигает более трехкратной величины, при эксплуатации на автосамосвалах с соизмеримым сроком эксплуатации в одинаковых горно-геологических и климатических условиях.

Это свидетельствует о наличии значительных внутрипроизводственных резервах повышения полноты использования ресурса двигателей, и, как следствие, снижения затрат на эксплуатацию карьерного автотранспорта.

В частности, было определено, что на типовом развивающемся разрезе «Черногорский» ООО «СЭУК-Хакасия» в случае, если бы ресурс всех двигателей Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 соответствовал бы максимальному достигнутому ресурсу такого двигателя на данном предприятии, то экономический эффект за 11 лет составил бы 2,1 млрд. руб. в ценах 2024 г. Данный факт подтверждает высокую практическую актуальность задачи повышения полноты использования ресурса двигателей посредством выявления и освоения внутрипроизводственных резервов.

4. Анализ научно-методической базы повышения полноты использования ресурса двигателя показал, что сформированы достаточные теория и практика, позволяющие разработать методику выявления факторов, существенно снижающих ресурс двигателей в процессе их эксплуатации, и определения корневых причин возникновения этого влияния. В связи с этим сформированы цель и задачи исследования.

## **ГЛАВА 2. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РЕЖИМА РАБОТЫ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ НА ПОЛНОТУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ**

### **2.1. Обоснование критерия и показателей полноты использования ресурса двигателей**

Проведенный анализ научно-методической базы позволил выделить ключевое затруднение в обеспечении необходимой надежности двигателей автосамосвалов БелАЗ-75306 на российских угольных разрезах устоявшимися методами. Как правило, в основе этих методов – оперативное восстановление двигателей по факту выхода из строя, что, соответственно, обуславливает необходимость приобретения большего количества запасных частей, ограниченных в настоящее время [65-70]. В связи с усилением санкционного давления и отсутствием возможности быстрого технического перевооружения предприятия, повышение надежности имеющихся импортных двигателей за счет освоения внутренних резервов – является актуальной задачей для горнодобывающих предприятий России. Одним из таких резервов является повышение полноты использования ресурса двигателей Cummins QSK-60, работающих на большегрузных карьерных автосамосвалах БелАЗ-75306.

Выявлено, что даже новые двигатели Cummins QSK-60 функционирующие в условиях угледобывающих предприятий в среднем имеют ресурс 26 тыс. мото-ч, что составляет 74% от ресурса, заложенного заводом-изготовителем – 35 тыс. мото-ч (рисунок 2.1). Средний ресурс двигателей, прошедших первый капитальный ремонт, составляет 19 тыс. мото-ч, а максимально достигаемый ими же – 34 тыс. мото-ч. В среднем двигатели, прошедшие первый капитальный ремонт, не отрабатывают 44% своего возможного ресурса. Средний ресурс двигателей, прошедших второй капитальный ремонт, составляет 12 тыс. мото-ч, а максимально достигаемый – 30 тыс. мото-ч. В среднем двигатели, прошедшие второй капитальный ремонт, не отрабатывают 60% своего возможного ресурса.

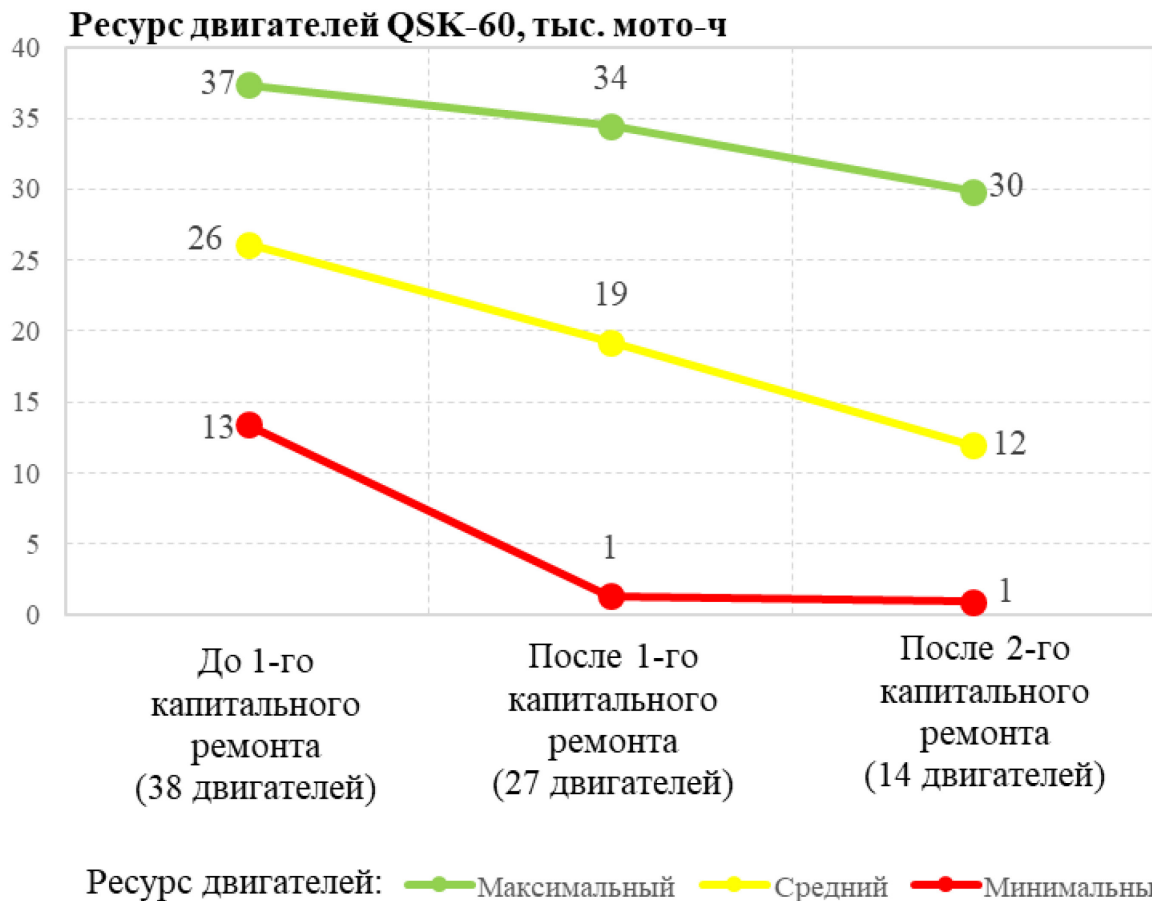


Рисунок 2.1 – Область действительных значений ресурса двигателей QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2012-2024 гг.

Учитывая, что абсолютное значение фактического ресурса однотипных двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ даже в сопоставимых горно-геологических условиях имеет значительный разброс, возникает задача оценки полноты использования ресурса каждого двигателя в парке автосамосвалов. Для решения данной задачи в диссертационной работе разработан показатель полноты использования ресурса каждого двигателя ( $K_{\text{пир}}$ ), рассчитываемый как отношение фактического его ресурса к максимально достигаемой его величине однотипными двигателями при работе в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях:

$$K_{\text{пир}} = \frac{P_i}{P_{\text{max}}}, \quad (2.1)$$

где  $P_i$  – ресурс рассматриваемого  $i$ -го двигателя на момент наступления его предельного состояния, мото-ч;

$P_{max}$  – лучшее зафиксированное значение ресурса однотипного двигателя, работающего в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях, мото-ч.

Применение в разработанной формуле показателя максимального ресурса двигателя обосновано тем, что этот показатель отражает реальные возможности достижения конкретным видом двигателя в условиях исследуемого предприятия определенного значения его ресурса, выраженного мото-ч. Также важным является тот факт, что максимально достигаемое значение ресурса может только возрастать, задавая новый «стандарт» для двигателей автосамосвалов. Следовательно, разработанный коэффициент использования ресурса двигателей, возможно применять в качестве сравнительного показателя фактической полноты использования ресурса двигателей. Однако данный показатель не позволяет выявлять зарождающиеся тенденции в работоспособности двигателя, способные со временем уменьшить полноту использования его ресурса.

В настоящее время общепринятым способом выявления зарождающихся негативных тенденций в работоспособности двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов является спектральный анализ физико-химических свойств отработанного масла двигателя [71-77]. Спектральный анализа масла включает в себя замер количества и размера частиц износа: алюминия (Al), хрома (Cr), меди (Cu), железа (Fe), марганца (Mn), молибдена (Mo), никеля (Ni), свинца (Pb), олова (Sn), титана (Ti), ванадия (V); частиц загрязнения: сажи, воды, гликоли, калия, кремния, натрия; элементов присадок: бария, бора, кальция, магния, фосфора, цинка; состояния масла: вязкости при 40 °С, вязкости при 100 °С, общего щелочного числа, окисления, топлива, нитрования. Спектральный анализ масла основывается на выявлении отклонения этих показателей от нормативных значений и, как правило, проводится при выполнении ТО автосамосвалов [78-84]. Данный способ диагностирования двигателя характеризуется относительно простым выполнением и позволяет оперативно реагировать на выявленные несоответствия одного или нескольких физико-химических показателей отработанного масла от нормы.

Спектральный анализа масла применим для различных двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.

Практика показывает, что наиболее информативным показателем для диагностирования двигателя является концентрация частиц железа в отработанном масле, поскольку данный металл содержится во всех стальных и чугунных элементах двигателя и характеризует величину их износа [85]. При формировании статистически значимого объема данных о результатах выполненных спектральных анализов отработанного масла двигателя у специалистов ремонтных служб появляется возможность рассчитать пороговые значения концентрации железа, которые могут применяться в качестве индикатора зарождающихся негативных тенденций в работоспособности двигателя [86].

В ходе диссертационного исследования была осуществлена оценка результативности общепринятого способа диагностирования двигателя на примере разреза «Черногорский», который является типовым угледобывающим предприятием России по применяемым видам двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов и методам восстановления их работоспособности. На данном предприятии в 2021 году была введена в эксплуатацию лаборатория, осуществляющая спектральный анализ отработанного масла двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов. В период 2021-2025 гг. специалистами лаборатории была сформирована база данных, включающая в себя результаты более 2900 анализов физико-химических свойств отработанного масла каждого двигателя большегрузных карьерных автосамосвалов, из которых 54% составляют анализы для двигателей Cummins QSK-60, установленных на большегрузных карьерных автосамосвалах БелАЗ-75306.

Имеющийся массив данных позволил руководителям и специалистам ремонтной службы рассчитать пороговое значение концентрации частиц железа в отработанном масле двигателей Cummins QSK-60, установленных на большегрузных карьерных автосамосвалах БелАЗ-75306 и эксплуатируемых в условиях разреза «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия», которое в настоящее время составляет 15‰ (таблица 2.1). При выявлении превышения данного порогового значения во время анализа отработанного масла двигателя руководителями и специалистами принимаются решения о корректировке графика

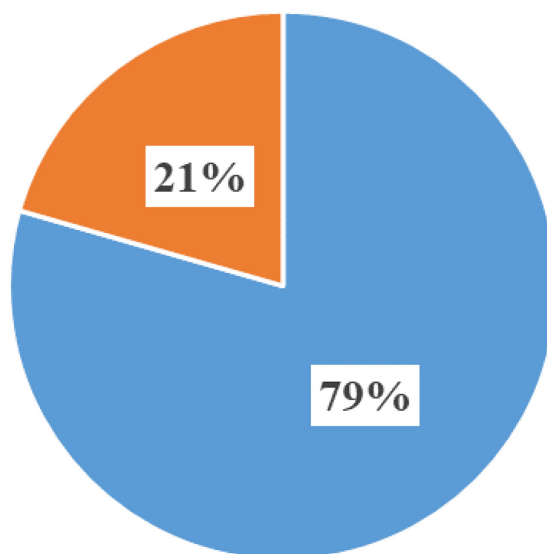
ППР, проведении проверки качества масла, состояния масляного фильтра и насоса, проведение ревизии состояния всех ключевых элементов двигателя и т.д.

Таблица 2.1 – Количество выходов из строя двигателей при разных результатах анализа масла

Гаражный № автосамосвала	Количество выходов из строя двигателей при результатах анализа масла, ед		Прогнозиру- емая доля неисправностей %
	«Железо в норме» (0-15 ppm)	«Железо не в норме» (>15ppm)	
201	1	0	0
202	3	0	0
204	6	0	0
205	1	0	0
206	12	0	0
207	2	0	0
209	2	1	33
210	10	0	0
211	4	0	0
212	4	1	20
214	17	0	0
215	7	0	0
216	0	18	100
217	1	0	0
218	3	5	63
219	6	0	0
221	0	1	100
223	7	0	0
224	5	0	0
225	2	0	0
226	1	7	88
228	3	0	0
229	8	0	0
230	12	0	0
231	9	9	50
232	12	1	8
233	7	0	0
234	3	0	0
235	18	0	0

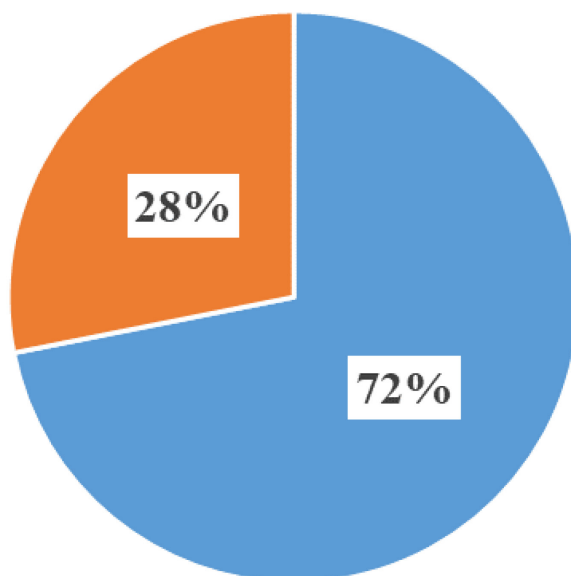
Проведенный анализ показал, что применение общепринятого порогового значения концентрации частиц железа в отработанном масле двигателя позволило бы спрогнозировать лишь 20% отказов двигателей (рисунок 2.2), при этом важно отметить, что 72% случаев выявления превышения 15% железа не сопровождалось отказом двигателя до следующего ТО, что позволяет сделать вывод о

неудовлетворительной прогностической способности данного показателя (рисунок 2.3).



Внезапные выходы двигателей из строя: ■ Не спрогнозированные ■ Спрогнозированные

Рисунок 2.2 – Доля выходов из строя двигателей, прогнозирование которых возможно с использованием общепринятого показателя



Внезапные выходы двигателей из строя: ■ Не зафиксированы ■ Зафиксированы

Рисунок 2.3 – Доля зафиксированных выходов из строя двигателей, после превышения порогового значения 15‰ частиц железа в отработанном масле двигателя



Неудовлетворительная прогностическая способность абсолютной концентрации частиц железа в отработанном масле обусловлена тем, что ее значения учитывают небольшой промежуток функционирования двигателя от ТО до ТО автосамосвала. Проведенный анализ научно-методической базы позволил сделать вывод, что в большинстве исследований учитывают количество частиц металлов в отработанном масле двигателя, накопленного в период между ТО с заменой масла, не учитывая количество частиц металлов, накопленного в прошлые периоды до замены масла. Например, для большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ-7513 и 75306 согласно рекомендациям завода изготовителя ТО проводится через каждые 250 мото-ч, что эквивалентно 13-15 суткам работы этих машин. Каждое однократное измерение концентрации железа не позволяет оценить тенденцию износа элементов двигателя и, как следствие, спрогнозировать оставшийся срок службы двигателя – его остаточный ресурс.

Для формирования возможности прогнозирования остаточного ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов в рамках диссертационного исследования разработан показатель скорости накопления частиц износа в отработанном масле. Скорость накопления частиц износа в отработанном масле двигателя ( $V_{нч}$ ) определяется отношением суммарного накопленного количества частиц износа в масле за весь период его работы до предельного состояния к фактическому ресурсу рассматриваемого двигателя:

$$V_{нч} = \frac{N_{нч}}{P_i}, \quad (2.2)$$

где  $N_{нч}$  – суммарное накопленное количество частиц износа в отработанном масле двигателя за весь период его работы до предельного состояния, мг/кг;

$P_i$  – фактический ресурс двигателя на момент оценки, мото-ч.

Суммарное накопленное количество частиц износа в отработанном масле двигателя за весь период работы ( $N_{нч}$ ) определяется суммой частиц износа, накапливаемых в период его работы между ТО, в которых была проведена замена масла двигателя:

$$N_{\text{нч}} = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (2.3)$$

где  $N_i$  – количество частиц износа во время анализа отработанного масла двигателя на  $i$ -том ТО, мг/кг;

$n$  – количество ТО, за весь период работы двигателя до предельного состояния, в которых была проведена замена масла.

Разработанный показатель скорости накопления частиц износа в настоящем диссертационном исследовании рассматривается в качестве критерия прогнозирования наступления предельного состояния двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, т.к. в отличие от общепринятого показателя, оценивающего значения физико-химических показателей отработанного масла в конкретный момент времени, скорость накопления отражает динамику износа на протяжении любого исследуемого периода в жизненном цикле двигателя (рисунок 2.4).

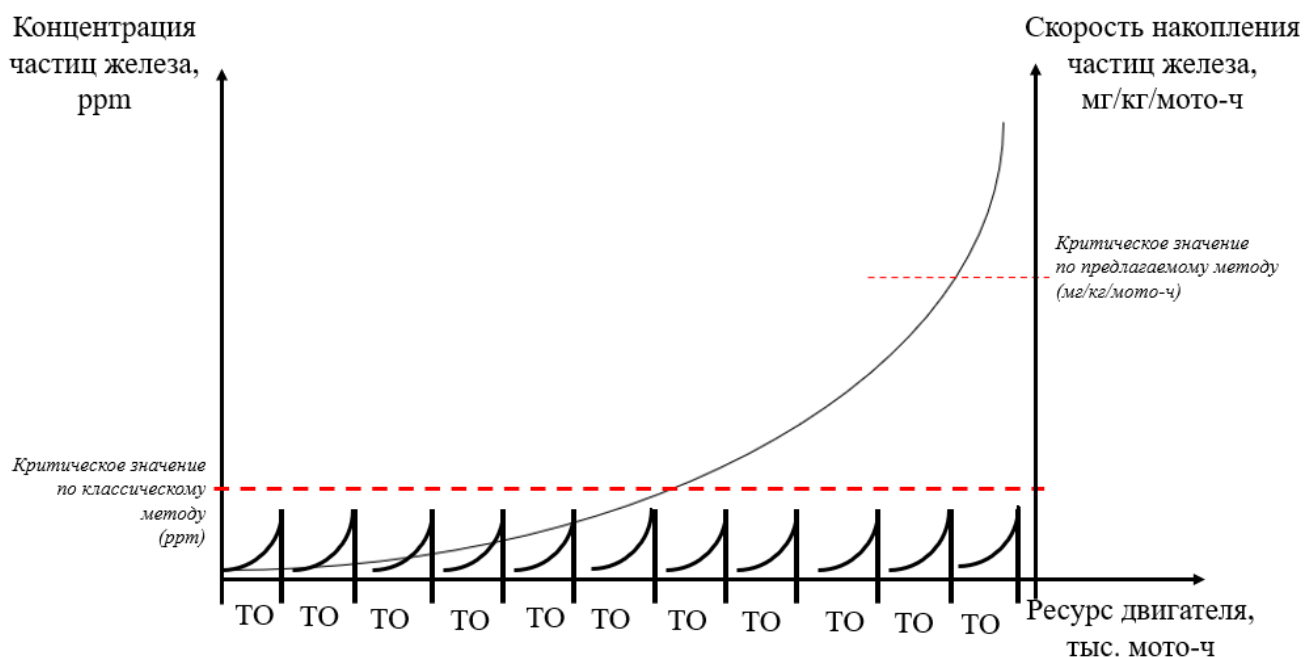


Рисунок 2.4 – Концептуальный график прогнозирования предельного состояния двигателя по традиционному и предлагаемому методам

Таким образом, обоснованы принципиальные преимущества разработанных показателя и критерия полноты использования ресурса двигателей перед общепринятыми показателями. Для оценки практической значимости разработанных показателя и критерия необходимо выявить зависимость между

полнотой использования ресурса двигателей и скоростью накопления частиц износа в масле.

## 2.2. Исследование связи полноты использования ресурса двигателей и скорости накопления частиц металлов в отработанном масле

С использованием разработанных показателя и критерия полноты использования ресурса двигателей, а также базы данных лаборатории спектрального анализа масла двигателя на разрезе «Черногорский», в рамках диссертационного исследования проведен факторный анализ, в результате которого было выявлено 9 зависимостей полноты использования ресурса двигателей QSK-60 от скорости накопления частиц износа в отработанном масле с момента ввода этого двигателя в эксплуатацию. Наиболее высоким корреляционным отношением ( $R = -0,93$ ) характеризуется зависимость полноты использования ресурса двигателей от скорости накопления частиц железа в масле (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Связи полноты использования ресурса двигателей QSK-60 и скорости накопления частиц износа в масле:


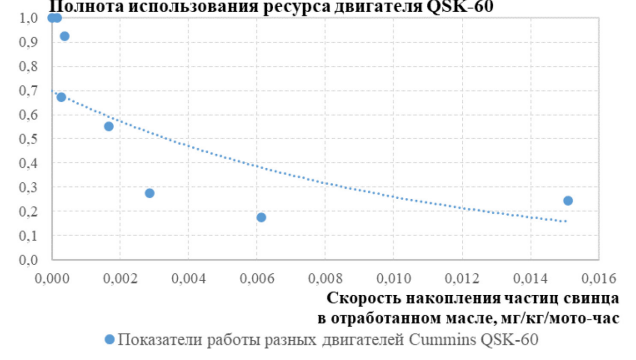
График связи	Характеристика связи
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц железа в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Железо</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = 0,997e^{-17,3x}</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,96</math></p> <p><b>Корреляционное отношение</b> <math>R = -0,93</math></p>
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц свинца в отработанном масле, мг/кг/мото-час</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Свинец</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = 0,6972e^{-98,54x}</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,669</math></p> <p><b>Корреляционное отношение</b> <math>R = -0,69</math></p>

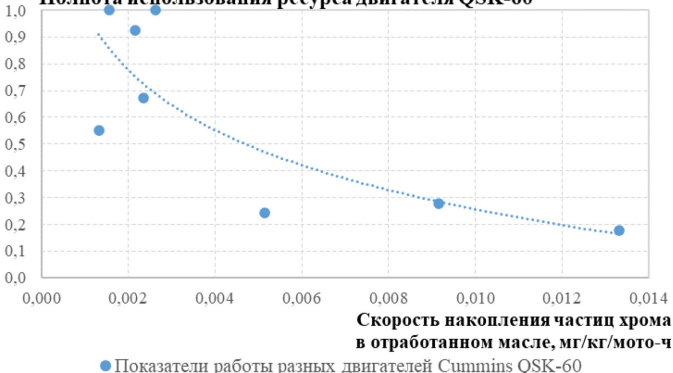
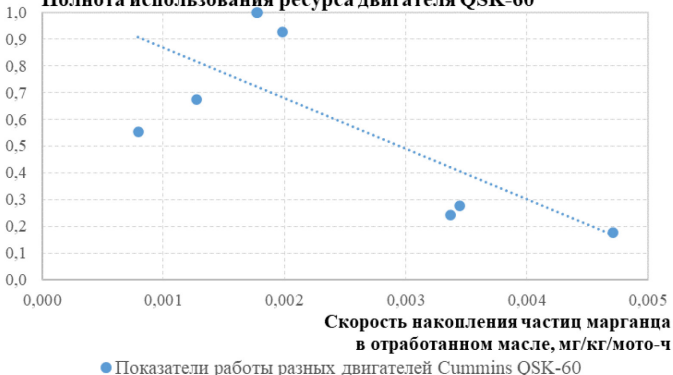



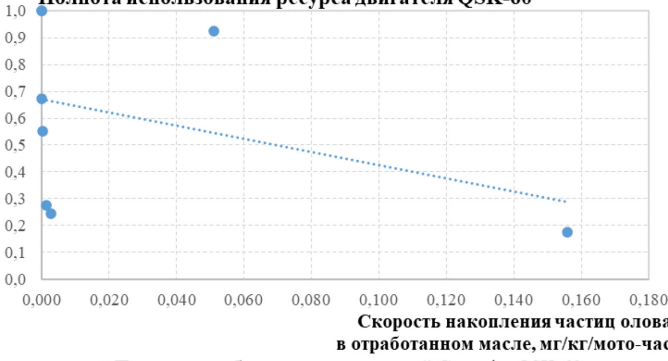
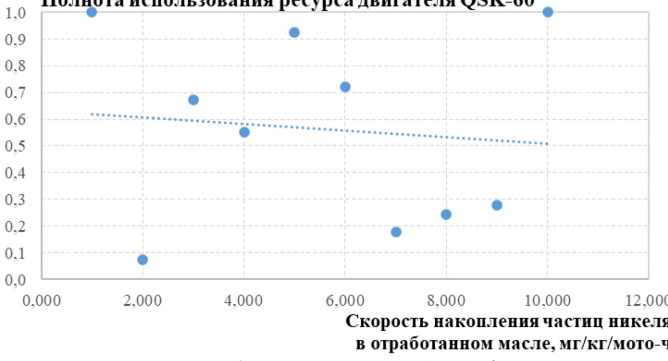
График связи	Характеристика связи
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц хрома в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Хром</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -0,324\ln(x) - 1,2339</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,61</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,79</math></p>
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц марганца в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Марганец</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -189,6x + 1,059</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,52</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,73</math></p>
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц меди в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Медь</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -2,74x + 0,7393</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,50</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,70</math></p>
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц алюминия в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Алюминий</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -31,592x + 0,77</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,44</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,62</math></p>

График связи	Характеристика связи
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц молибдена в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Молибден</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -21,13x + 0,8168</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,19</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,25</math></p>
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц олова в отработанном масле, мг/кг/мото-час</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Олово</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -2,4494x + 0,6709</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,15</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,34</math></p>
<p><b>Полнота использования ресурса двигателя QSK-60</b></p>  <p>Скорость накопления частиц никеля в отработанном масле, мг/кг/мото-ч</p> <p>Показатели работы разных двигателей Cummins QSK-60</p>	<p><b>Металл</b> Никель</p> <p><b>Уравнение регрессии</b> <math>y = -0,0125x + 0,6331</math></p> <p><b>Коэффициент аппроксимации</b> <math>R^2 = 0,01</math></p> <p><b>Коэффициент корреляции</b> <math>R = -0,18</math></p>

С использованием формул расчета показателя и критерия полноты использования ресурса двигателей определено, что скорость накопления частиц железа в отработанном масле варьируется до 12 раз и обуславливает изменение ресурса двигателей до наступления предельного состояния до 20 раз. Это связано с тем, что скорость накопления частиц железа в отработанном масле двигателя отражает собой меру изнашивания трущихся деталей в результате получаемой функциональной нагрузки.

Для определения функции, описывающей распределение экспериментальных точек, была использована программа для работы с электронными таблицам Microsoft Excel. С ее помощью было протестировано шесть уравнений, моделирующих зависимость полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов (Y) от скорости накопления частиц железа в отработанном масле (X):

- экспоненциальный:  $y = 1,1745e^{-30,8x}$ , характеризующийся коэффициентом аппроксимации  $R^2 = 0,93$ ;

- линейный:  $y = -9,5702x + 0,9451$ ,  $R^2 = 0,78$ ;

- логарифмический:  $y = -0,375\ln(x) - 0,8316$ ,  $R^2 = 0,88$ ;

- квадратический:  $y = 138,81x^2 - 25,137x + 1,1319$ ,  $R^2 = 0,89$ ;

- кубический:  $y = -1210,5x^3 + 353,51x^2 - 34,796x + 1,2157$ ,  $R^2 = 0,90$ ;

- степенной:  $y = 0,0054x^{-1,122}$ ,  $R^2 = 0,90$ .

Практика исследования показателей надежности оборудования позволяет сделать вывод, что экспоненциальная функция является наиболее предпочтительной при выборе уравнения функциональной зависимости. Экспоненциальная функция обладает свойством отражать нелинейное лавинообразное изменение показателя Y, при линейном изменении показателя X, что согласуется с ранее установленным фактом: изменение скорости накопления частиц железа обуславливает двадцатикратное изменение полноты использования ресурса. Также в отличие от линейных и полиномиальных функциональных зависимостей, экспоненциальная функция характеризуется асимптотическим характером связи, т.е. при моделировании реальных физических процессов с использованием экспоненциальной функции показатель Y не примет отрицательного значения. Значение  $R^2 = 0,93$  для экспоненциальной функции является статистически значимо более высоким по сравнению с другими моделями, и, следовательно, экспоненциальный график связи объясняет более 93% дисперсии исследуемых данных. Таким образом в диссертационном исследовании зависимость полноты использования ресурса двигателей от скорости накопления частиц железа в отработанном масле описывается экспоненциальной функцией

$y = 1,1745e^{-30,8x}$ . В связи с этим, для определения тесноты связи между исследуемыми показателями была применена формула расчета корреляционного отношения.

При расчете корреляционного отношения был применен принцип сложения дисперсий:

$$\sigma^2 = \bar{\sigma}^2 + \delta^2 \quad (2.4)$$

где дисперсии:  $\sigma^2$  – общая,  $\bar{\sigma}^2$  – средняя из внутригрупповых,  $\delta^2$  – межгрупповая.

Для расчета корреляционного отношения была проведена группировка значений  $Y$  по 4 диапазонам значений  $X$ . Исходные данные для расчета представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Исходные данные для расчета корреляционного отношения с группировкой значений полноты использования ресурса двигателей по 4 диапазонам

№ (n)	Полнота использования ресурса двигателей ( $Y_i$ )	Диапазон скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателя, мг/кг/мото-ч	№ группы точек (N)	Количество точек в группе ( $m$ )
1	0,050	Диапазон 1: $X > 0,05$	1	4
2	0,038			
3	0,143			
4	0,285			
5	0,125	Диапазон 2: $0,02 < X \leq 0,05$	2	1
6	0,515	Диапазон 3: $0,012 < X \leq 0,02$	3	3
7	0,709			
8	1,000			
9	0,626			
10	0,878	Диапазон 4: $X \leq 0,012$	4	13
11	0,841			
12	0,995			
13	0,968			
14	0,993			
15	0,945			
16	0,923			
17	0,779			
18	0,939			
19	0,998			
20	0,816			
21	0,799			

1. Для определения внутригрупповых дисперсий вычисляются математическое ожидание ( $\bar{Y}$ ) полноты использования ресурса двигателей в общей выборке данных и средние значения ( $\bar{Y}_i$ ) полноты использования ресурса двигателей по каждой выделенной группе данных:

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (2.5)$$

$$\bar{Y} = \frac{(0,05 + 0,038 + 0,143 + \dots + 0,998 + 0,816 + 0,799)}{21}$$

$$\bar{Y} = \frac{14,365}{21} = 0,684$$

$$\bar{Y}_i = \frac{\sum_{i=1}^m Y_i}{m} \quad (2.6)$$

$$\bar{Y}_1 = \frac{(0,05 + 0,038 + 0,143 + 0,258)}{4} = 0,128$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{0,125}{1} = 0,125$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{(0,515 + 0,709 + 1)}{3} = 0,741$$

$$\bar{Y}_4 = \frac{(0,626 + 0,878 + 0,841 + \dots + 0,998 + 0,816 + 0,799)}{13} = 0,885$$

2. Внутригрупповые дисперсии рассчитываются по формуле:

$$\sigma_n^2 = \frac{\sum_1^m (Y_i - \bar{Y})^2}{m} \quad (2.7)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{(0,05 - 0,128)^2 + (0,038 - 0,128)^2 + \dots + (0,258 - 0,128)^2}{4} = 0,010$$

$$\sigma_2^2 = \frac{(0,125 - 0,125)^2}{1} = 0$$

$$\sigma_3^2 = \frac{(0,515 - 0,741)^2 + (0,709 - 0,741)^2 + (1 - 0,741)^2}{3} = 0,040$$

$$\sigma_4^2 = \frac{(0,626 - 0,885)^2 + (0,878 - 0,885)^2 + \dots + (0,799 - 0,885)^2}{13} = 0,011$$



3. По формуле расчета средневзвешенных величин определяется средняя из внутригрупповых дисперсий:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{\sum \sigma_i^2 m}{\sum m} \quad (2.8)$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{(0,010 \cdot 4 + 0 \cdot 1 + 0,04 \cdot 3 + 0,011 \cdot 13)}{21}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{0,302}{21} = 0,014$$

4. Вычисляется межгрупповая дисперсия по формуле:

$$\delta^2 = \frac{\sum (\bar{Y}_i - \bar{Y})^2 m}{\sum m} \quad (2.9)$$

$$\delta^2 = \frac{(0,128 - 0,684)^2 \cdot 4 + \dots + (0,885 - 0,684)^2 \cdot 13}{21} = 0,099$$

5. Определяется среднеквадратичное отклонение каждого значения  $Y_i$  от средней величины  $\bar{Y}$  (таблица 2.4):

Таблица 2.4 – Исходные данные для расчета среднеквадратичного отклонения

№ (n)	Полнота использования ресурса двигателей, $Y_i$	Квадрат отклонения, $(Y_i - \bar{Y})^2$
1	0,050	0,402
2	0,038	0,418
3	0,143	0,293
4	0,285	0,159
5	0,125	0,312
6	0,515	0,028
7	0,709	0,001
8	1,000	0,100
9	0,626	0,003
10	0,878	0,038
11	0,841	0,025
12	0,995	0,097
13	0,968	0,081
14	0,993	0,095
15	0,945	0,068
16	0,923	0,057
17	0,779	0,009
18	0,939	0,065
19	0,998	0,099

№ (n)	Полнота использования ресурса двигателей, $Y_i$	Квадрат отклонения, $(Y_i - \bar{Y})^2$
20	0,816	0,018
21	0,799	0,013

6. Рассчитывается общая дисперсия:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \quad (2.10)$$

$$\sigma^2 = \frac{(0,402 + 0,418 + \dots + 0,018 + 0,013)}{21} = 0,113$$

7. Полученный результат проверяется по правилу сложения дисперсий:

$$\sigma^2 = \bar{\sigma}^2 + \delta^2 \quad (2.11)$$

$$0,113 = 0,014 + 0,099$$

Таким образом, общая дисперсия, вычисленная по правилу сложения дисперсий, в точности совпадает по числовому значению с результатом ее вычисления на основе данных по общей совокупности экспериментальных точек.

8. Эмпирическое корреляционное отношение рассчитывается по формуле:

$$\eta = \sqrt{\frac{\delta^2}{\sigma^2}} \quad (2.12)$$

$$\eta = \sqrt{\frac{0,099}{0,113}} = 0,94$$

9. Проверка устойчивости результата (с группировкой на 3 группы).

Для расчета корреляционного отношения была проведена группировка значений  $Y$  по 3 диапазонам значений  $X$ . Исходные данные для расчета представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5 – Исходные данные для расчета корреляционного отношения с группировкой значений полноты использования ресурса двигателей по 5 диапазонам

№ (n)	Полнота использования ресурса двигателей ( $Y_i$ )	Диапазон скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателя, мг/кг/мото-ч	№ группы точек (N)	Количество точек в группе (m)
1	0,050	Диапазон 1: $X > 0,049$	1	4
2	0,038			
3	0,143			
4	0,285			
5	0,125	Диапазон 2: $0,016 < X \leq 0,049$	2	4
6	0,515			
7	0,709			
8	1,000			
9	0,626	Диапазон 2: $0,012 < X \leq 0,049$	3	4
10	0,878			
11	0,841			
12	0,995			
13	0,968	Диапазон 2: $0,01 < X \leq 0,050$	4	4
14	0,993			
15	0,945			
16	0,923			
17	0,779	Диапазон 3: $X \leq 0,01$	5	5
18	0,939			
19	0,998			
20	0,816			
21	0,799			

10. Для определения внутригрупповых дисперсий пересчитываются средние значения ( $\bar{Y}_i$ ) полноты использования ресурса двигателей по каждой выделенной группе данных рассчитывается по формуле 2.6:

$$\bar{Y}_1 = \frac{(0,05 + 0,038 + 0,143 + 0,258)}{4} = 0,128$$

$$\bar{Y}_2 = \frac{(0,125 + 0,515 + 0,709 + 1)}{4} = 0,584$$

$$\bar{Y}_3 = \frac{(0,626 + 0,878 + 0,841 + 0,995)}{4} = 0,835$$

$$\bar{Y}_4 = \frac{(0,968 + 0,993 + 0,945 + 0,923)}{4} = 0,957$$

$$\bar{Y}_5 = \frac{(0,779 + 0,939 + 0,998 + 0,816 + 0,799)}{5} = 0,866$$

11. Внутригрупповые дисперсии рассчитываются по формуле 2.7:

$$\sigma_1^2 = \frac{(0,05 - 0,128)^2 + (0,038 - 0,128)^2 + \dots + (0,258 - 0,128)^2}{4} = 0,010$$

$$\sigma_2^2 = \frac{(0,125 - 0,584)^2 + (0,515 - 0,584)^2 + \dots + (1 - 0,584)^2}{4} = 0,101$$

$$\sigma_3^2 = \frac{(0,626 - 0,835)^2 + (0,878 - 0,835)^2 + \dots + (0,626 - 0,995)^2}{4} = 0,018$$

$$\sigma_4^2 = \frac{(0,968 - 0,957)^2 + (0,993 - 0,957)^2 + \dots + (0,923 - 0,957)^2}{4} = 0,001$$

$$\sigma_5^2 = \frac{(0,779 - 0,866)^2 + (0,939 - 0,866)^2 + \dots + (0,799 - 0,866)^2}{5} = 0,007$$

12. По формуле 2.8 определяется средняя из внутригрупповых дисперсий:

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{(0,010 \cdot 4 + 0,101 \cdot 4 + 0,018 \cdot 4 + 0,001 \cdot 4 + 0,007 \cdot 5)}{21}$$

$$\bar{\sigma}^2 = \frac{0,555}{21} = 0,026$$

13. Вычисляется межгрупповая дисперсия по формуле 2.9:

$$\delta^2 = \frac{(0,128 - 0,684)^2 \cdot 4 + \dots + (0,866 - 0,684)^2 \cdot 5}{21} = 0,086$$

14. Полученный результат проверяется по формуле 2.11:

$$0,113 \approx 0,026 + 0,086$$

Таким образом, общая дисперсия, вычисленная по правилу сложения дисперсий, с незначительным отклонением совпадает по числовому значению с результатом ее вычисления на основе данных по общей совокупности экспериментальных точек.

15. Эмпирическое корреляционное отношение рассчитывается по формуле 2.12:

$$\eta = \sqrt{\frac{0,086}{0,113}} = 0,87$$

Результат расчета эмпирического корреляционного отношения с группировкой значений полноты использования ресурса двигателей по 5 диапазонам соизмерим с аналогичными расчетами, где значения были сгруппированы по 4 диапазонам. Это

подтверждает устойчивость выявленной зависимости полноты использования ресурса двигателей от скорости накопления частиц железа в его отработанном масле.

Оценка величин рассчитанных корреляционных отношений осуществлена с использованием характеристик тесноты связи в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Оценка величины корреляционного отношения

Значение $\Pi$	Характеристика тесноты
0,00	Связь отсутствует
0,00-0,20	Очень слабая связь
0,20-0,30	Слабая связь
0,30-0,50	Умеренная связь
0,50-0,70	Заметная связь
0,70-0,90	Тесная связь
0,90-0,99	Весьма тесная связь
1,00	Функциональная связь

Найденное значение  $\Pi$  позволяет сделать вывод о наличии весьма тесной связи (значение находится в диапазоне 0,90-0,99) между полнотой использования ресурса двигателей и скоростью накопления частиц железа в отработанном масле (рисунок 2.5).

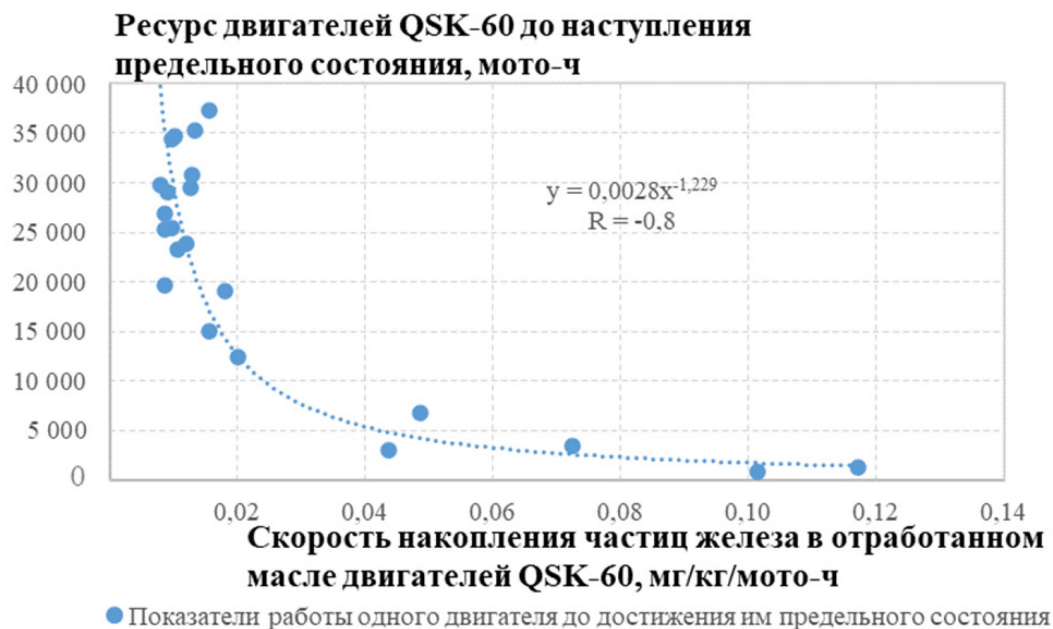


Рисунок 2.5 – Связь ресурса двигателей QSK-60 (22 двигателя) до наступления предельного состояния и скорости накопления частиц железа в отработанном масле автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2021-2024 гг.

Оценка показателей работы двигателей с использованием уравнения регрессии, характеризующего влияние скорости накопления частиц железа в отработанном масле на полноту использования ресурса двигателей, показала, что при снижении скорости накопления частиц железа в масле на 1% полнота использования ресурса двигателей QSK-60 в среднем может быть увеличена на 2% (таблица 2.7).

Таблица 2.7 – Фрагмент расчетной таблицы для моделирования возможностей повышения полноты использования ресурса двигателей QSK-60 при уменьшении скорости накопления частиц железа в отработанном масле

Расчетная полнота использования ресурса двигателей	% изменения полноты использования ресурса двигателей	Скорость накопления частиц железа в масле, мг/кг/мото-ч	% изменения скорости накопления частиц железа в масле
0,160	+2%	0,106	-1%
0,157	+2%	0,107	-1%
0,154	+2%	0,108	-1%
0,151	+2%	0,109	-1%
0,148	+2%	0,110	-1%
0,145	+2%	0,112	-1%
0,142	+2%	0,113	-1%
0,139	+2%	0,114	-1%
0,136	+2%	0,115	-1%
0,133	+2%	0,116	-1%
0,130	+2%	0,118	-1%
0,128	+2%	0,119	-1%
0,125	+2%	0,120	-1%
0,160	+2%	0,106	-1%
0,157	+2%	0,107	-1%
0,154	+2%	0,108	-1%
0,151	+2%	0,109	-1%
0,148	+2%	0,110	-1%
0,145	+2%	0,112	-1%
0,142	+2%	0,113	-1%
0,139	+2%	0,114	-1%
0,136	+2%	0,115	-1%
0,133	+2%	0,116	-1%
0,130	+2%	0,118	-1%
0,128	+2%	0,119	-1%
0,125	0	0,120	0

Таким образом, обосновано что показателем полноты использования ресурса двигателей является соотношение величины фактического его ресурса к

максимально достигаемой величине однотипными двигателями в сопоставимых горно-геологических и климатических условий эксплуатации, а критерием полноты использования ресурса двигателей является скорость накопления частиц железа в отработанном масле.

На основании исследования связи полноты использования ресурса двигателей и продуктов износа в отработанном масле этого двигателя можно сформулировать следующие выводы:

1. Обоснована формула определения полноты использования ресурса двигателей – соотношение величины фактического его ресурса к максимально достигаемой величине однотипными двигателями в сопоставимых горно-геологических и климатических условий эксплуатации.

2. Разработан критерий оценки скорости накопления частиц железа в отработанном масле, рассчитываемый как отношение суммарного накопленного количества частиц железа в масле за весь период его работы до предельного состояния к фактическому ресурсу рассматриваемого двигателя. Выявлено, что скорость накопления частиц железа в отработанном масле варьируется до 12 раз и обуславливает изменение ресурса двигателей до наступления предельного состояния до 20 раз. Эта связь характеризуется экспоненциальной функцией с корреляционным отношением  $-0,9$  и подтверждает наличие значительных внутрипроизводственных резервов для управления ресурсом двигателей посредством контроля и снижения интенсивности износа.

### **2.3. Исследование связи полноты использования ресурса двигателей и режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов**

Для определения факторов, обуславливающих увеличение скорости накопления частиц железа в масле, был проведен анализ данных об удельном расходе дизельного топлива при работе парка автосамосвалов БелАЗ-75306 за период 2021-2023 гг. Использование показателя удельного расхода дизельного топлива позволило обосновать его способностью отражать изменение нагрузки,

оказываемой на двигатель при различных условиях и режимах его эксплуатации. Проведенный анализ ряда научных публикаций позволил определить, что существует несколько подходов к расчету показателя удельного расхода дизельного топлива [87-102]. Преимущественно выделяют расчеты:

- среднесменного расхода ДТ;
- средневзвешенного расхода ДТ;
- медианного расхода ДТ;
- дисперсию сменного расхода ДТ;
- процентильные значения удельного расхода ДТ.

В результате проведенного факторного анализа было выявлено 5 зависимостей скорости накопления частиц железа в отработанном масле с момента ввода этого двигателя в эксплуатацию от удельного расхода ДТ, рассчитанного по каждому выделенному показателю расчета. Наиболее высоким корреляционным отношением ( $R = 0,9$ ) характеризуется зависимость скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателя от удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле (таблица 2.8) [103-110].

Таблица 2.8 – Теснота связи ( $R$ ) скорости накопления частиц железа в масле от значений показателя расчета удельного расхода ДТ.

Показатель расчета удельного расхода ДТ	Теснота связи показателя с величиной полноты использования ресурса двигателей
Среднесменный	-0,35
Средневзвешенный	-0,38
Медианное значение	-0,16
Дисперсия	-0,09
Значение в 95-ом процентиле	0,9

Принципиальным отличием показателя расчета удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле от других показателей расчета заключается в его способности преимущественно учитывать данные о сверхнормативных нагрузках на двигатель, если они возникали в исследуемом периоде. Таким образом, этот показатель возможно применять в качестве индикатора возникновения повышенного износа элементов двигателя и, соответственно, увеличения скорости накопления частиц



железа в масле. Это подтверждается выявленной тесной связью между скоростью накопления частиц железа в отработанном масле и удельным расходом ДТ в 95-ом процентиле (рисунок 2.6).



Рисунок 2.6 – Связь скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателей и удельного расхода ДТ в 95-м процентиле по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2021 2024 гг.

В ходе исследования была сформирована выборка, включающая в себя информацию об удельном расходе ДТ при функционировании автосамосвалов БелАЗ-75306 в течение всей смены на маршрутах с одинаковым плечом транспортирования горной массы и в одинаковых условиях работы. Определено, что расход ДТ автосамосвалами данного типа при работе на одних маршрутах различается от 1,5 до 3,0 раза (рисунок 2.7), расход ДТ водителями при работе на одном и том же автосамосвале и на одном маршруте различается от 1,1 до 3,6 раза (рисунок 2.8). Данные различия свидетельствуют о различной квалификации водителей автосамосвалов и отличающимся отношением к оборудованию.

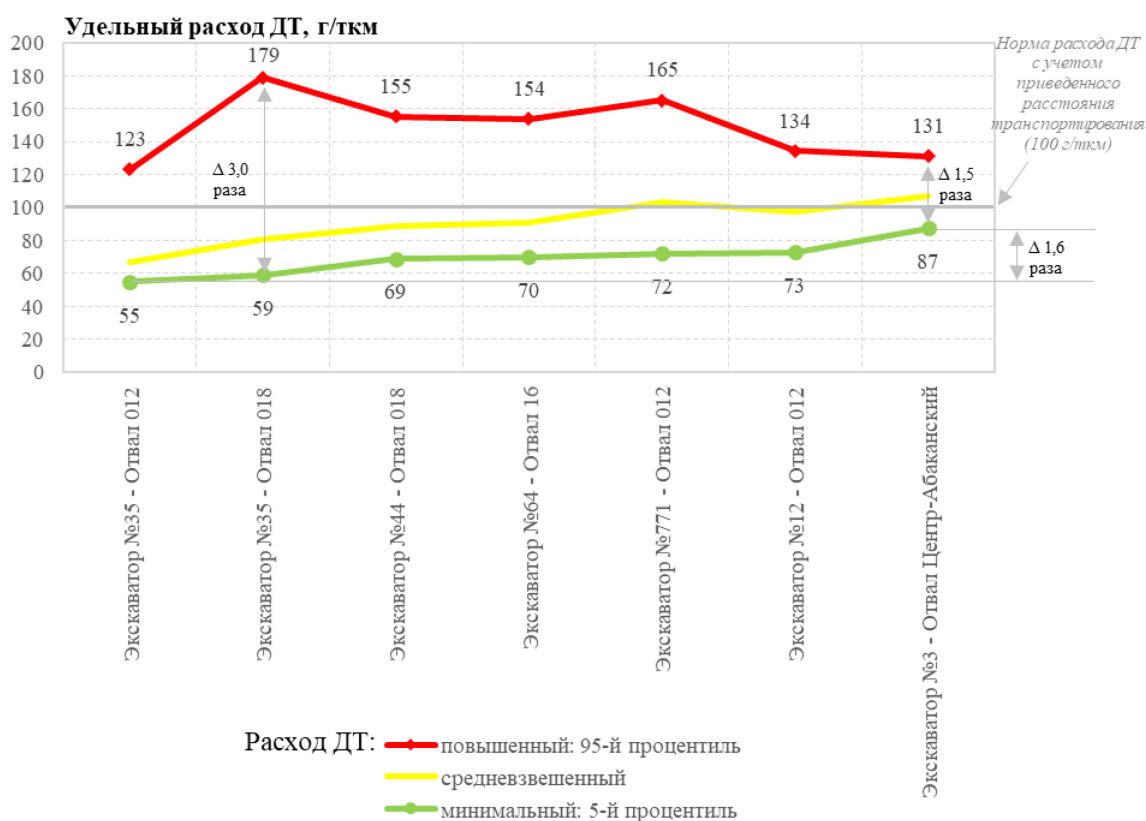


Рисунок 2.7 – Оценка величины расхода ДТ парка автосамосвалов БелАЗ-75306 на разрезе «Черногорский» за 2023 г. (выборка включает 20 тыс. рейсов, выполненных на маршрутах с одинаковым приведенным плечом транспортирования горной массы)

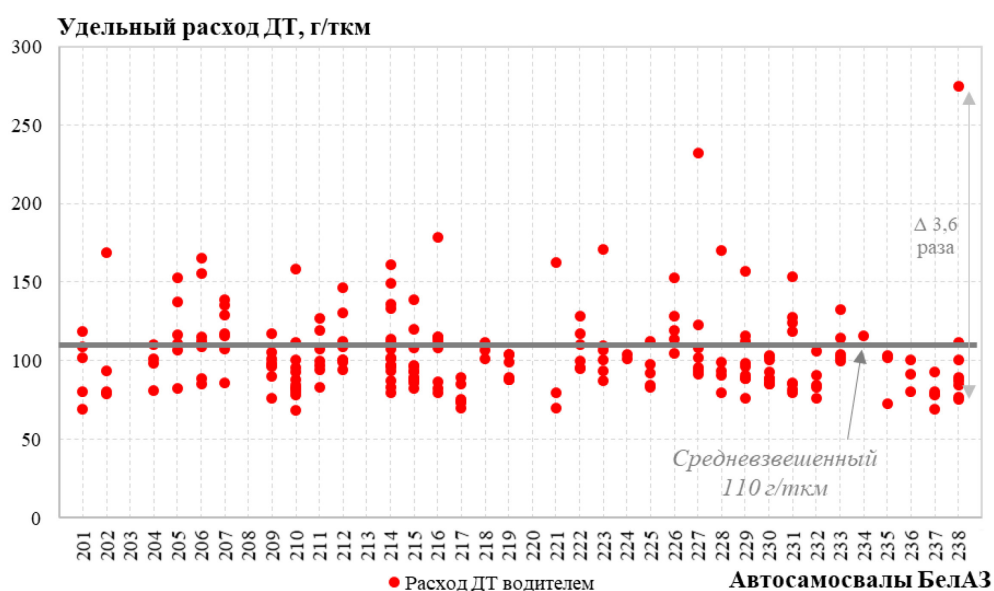


Рисунок 2.8 – Оценка величины расхода ДТ водителями автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за 2023 г. (выборка включает 3 тыс. рейсов, осуществленных на одном маршруте)

Выявленная разница по расходу ДТ предопределила необходимость оценки водителей автосамосвалов БелАЗ-75306 по показателям, характеризующим результативность их работы: удельный расход ДТ и производительность. Производительность оценивалась по выполнению сменной нормы, которая устанавливается с учетом приведенного расстояния транспортирования горной массы. Анализ данных показателей по 174 водителям автосамосвалов БелАЗ-75306 показал, что 74% водителей характеризуются неудовлетворительными значениями исследуемых показателей: 24% характеризуются низкой вероятностью выполнения сменной нормы и повышенным расходом дизельного топлива; 35% – низкой вероятностью выполнения сменной нормы и расходом дизельного топлива, не превышающим норму; 15% – высокой вероятностью выполнения нормы и повышенным расходом дизельного топлива. Только 26% водителей автосамосвалов характеризуются высокой вероятностью выполнения сменной нормы рейсов и расходом дизельного топлива, не превышающим норму (рисунок 2.9).

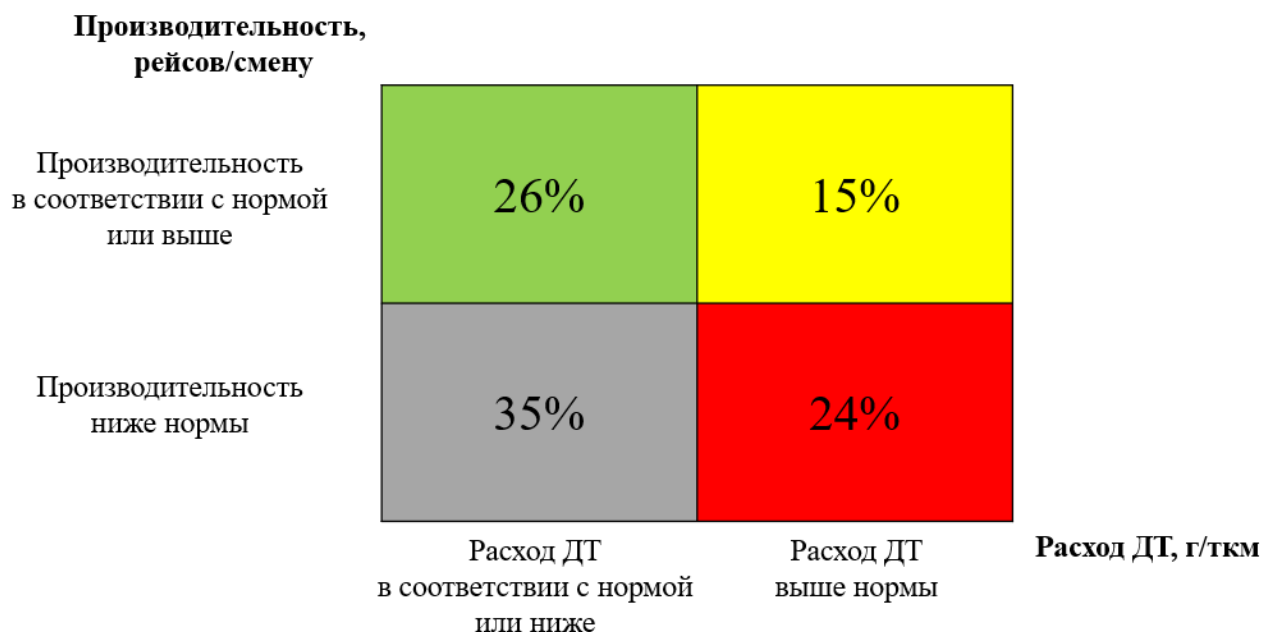


Рисунок 2.9 – Распределение водителей автосамосвала БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» по результатам их работы в 2023 г.

В различных исследованиях определено, что квалификация водителей и качество дорожного покрытия оказывают существенное влияние на величину удельного расхода дизельного топлива, отражающего меру изнашивания трущихся

деталей в результате получаемой эксплуатационной нагрузки [111-121]. Для идентификации существующих режимов работы автосамосвалов БелАЗ проведена оценка влияния различных комбинаций состояний квалификации водителей и качества дорожного покрытия на величину удельного расхода ДТ и, соответственно, на полноту использования ресурса двигателей (рисунок 2.10).

**Квалификация  
водителя**

Высокая	Реактивно-форсированный режим 215-245 г/ткм	Щадящий режим 180-200 г/ткм
	Агрессивный режим 245-290 г/ткм	Активно-форсированный режим 190-230 г/ткм
Низкая		
	Низкое	Высокое
	<b>Качество дорожного покрытия</b>	

Рисунок 2.10 – Удельный расход ДТ в 95-ом процентиле по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» при различных квалификации водителей и качества дорожного покрытия (по данным более 900 тыс. рейсов за период 2021-2024 гг.)

В результате проведенной оценки определено, что величина удельного расхода ДТ, оцениваемая в 95-ом процентиле, может изменяться более чем в 1,5 раза в зависимости от различных комбинаций состояния квалификации водителя и качества дорожного покрытия. Выявленное влияние этих комбинаций на величину удельного расхода ДТ послужило основанием для выделения четырех режимов работы автосамосвалов.

В случае высоких квалификации водителей и качества дорожного покрытия реализуется щадящий режим, характеризующийся удельным расходом ДТ в 95-ом процентиле 180-200 г/ткм. В случае низкой квалификации водителей и высокого качества дорожного покрытия реализуется активно-форсированный режим, характеризующийся повышением удельного расхода ДТ в среднем на 30% по отношению к первому – щадящему режиму. В случае высокой

квалификации водителей и низкого качества дорожного покрытия реализуется реактивно-форсированный режим, характеризующийся повышением удельного расхода ДТ в среднем на 40% по отношению к первому режиму. В случае низких квалификации водителя и качества дорожного покрытия реализуется агрессивный режим, обуславливающий повышение удельного расхода ДТ в среднем на 60% по отношению к первому режиму.

Оценка и анализ режимов работы большегрузных карьерных автосамосвалов позволили выявить их влияние на полноту использования ресурса двигателей, характеризующееся экспоненциальной функцией с корреляционным отношением ( $R = -0,87$ ) (рисунок 2.11).

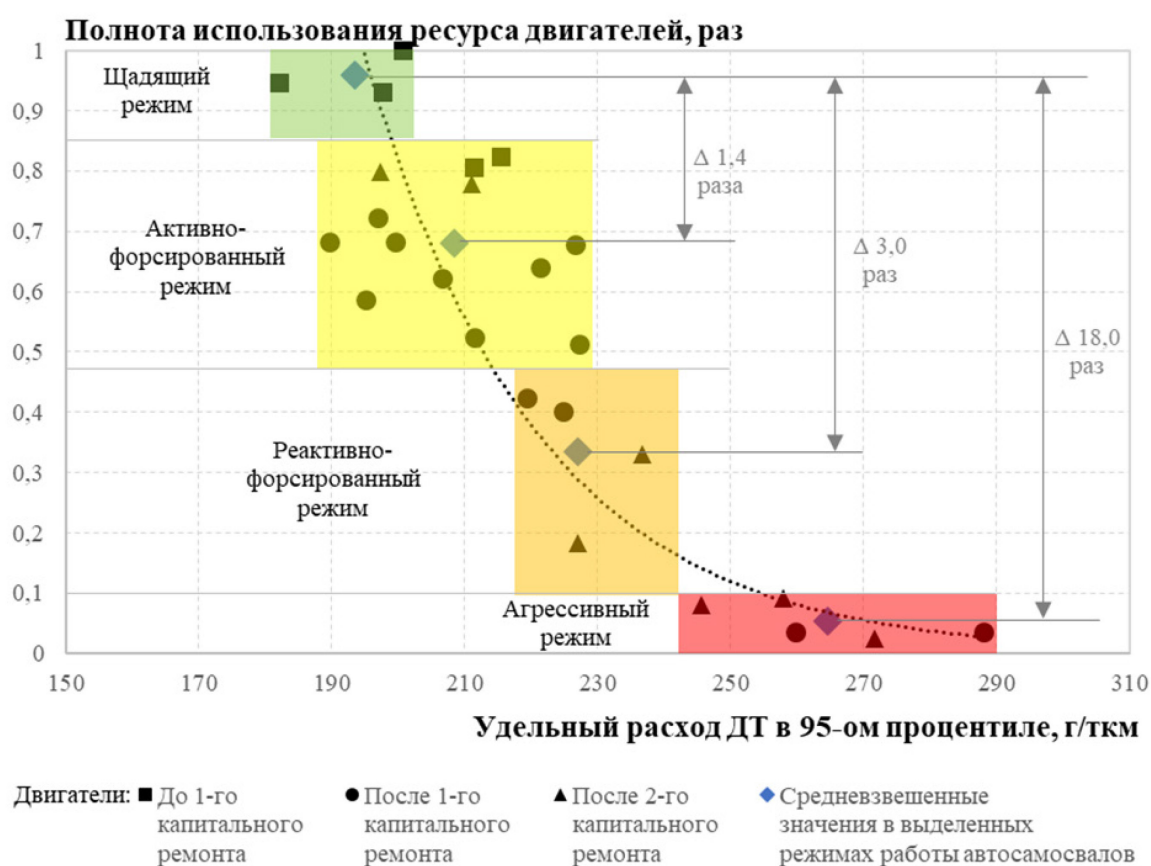


Рисунок 2.11 – Связь полноты использования ресурса двигателей и удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле

по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский»

(по данным о наработке 25 двигателей до предельного состояния и более чем 900 тыс. рейсов автосамосвалов за период 2021-2024 гг.)

На рисунке 2.10 маркерами (квадрат, круг, треугольник) отмечены двигатели, предельное состояние которых наступило до 1-го капитального ремонта, после 1-го капитального ремонта и после 2-го капитального ремонта. Это позволило сделать вывод, что количество проведенных капитальных ремонтов двигателей не существенно отражается на полноте использования его ресурса по сравнению с влиянием режима работы автосамосвалов.

На основании исследования связи полноты использования ресурса двигателей и режимов работы автосамосвалов можно сформулировать следующие выводы:

1. Обосновано, что показатель удельного расхода дизельного топлива в 95-ом процентиле возможно применять в качестве индикатора, отражающего функциональную нагрузку на двигатель. Выявлена тесная связь между этим показателем и скоростью накопления частиц железа в отработанном масле двигателя, что подтверждает возможность его применения для своевременного прогнозирования и контроля срока наступления предельного состояния двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.

2. Определено, что одновременное использование показателя удельного расхода дизельного топлива в 95-ом и 5-ом процентилях, позволяет выявлять факторы, существенно снижающие полноту использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов. С использованием данных показателей определено, что ключевыми факторами, определяющими величину удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле и, как следствие, коэффициента полноты использования ресурса двигателя автосамосвала, являются: организационный фактор – квалификация водителя, и техногенный фактор – качество дорожного покрытия. Корреляционно-регрессионный анализ позволил выявить значительный разброс расхода ДТ в одинаковых горно-геологических и климатических условиях – до 3 раз, что свидетельствует о наличии существенного резерва в снижении удельного расхода ДТ.

3. Методом сравнения техники управления автосамосвалами водителями с лучшими и худшими показателями результативности их работы,

выраженных показателями удельного расхода дизельного топлива в 95-ом и 5-ом процентилях, при их работе на участках различного качества дорожного покрытия определены показатели квалификации водителей и качества дорожного покрытия, обуславливающие ресурс двигателей автосамосвалов.

К показателям квалификации водителей отнесены: полноценность выполнения ежесменного обслуживания; соблюдение скоростного режима; плавность хода движения и остановки автосамосвала; удельное количество торможений; манера вхождения в поворот, подъема на уклонах и объезда препятствий; расположение автосамосвала под погрузку, соблюдение правил использования динамических и механических тормозов. К показателям качества дорожного покрытия отнесены: уклон дороги и виражей; наличие колеи, выбоин, кочек, наледи, пыли и просыпей.

4. На основе комплексного анализа возможных комбинаций состояния «квалификация водителя – качество дорог» предложена классификация из четырех режимов работы автосамосвалов, имеющих количественную оценку влияния на ресурс двигателей:

- щадящий (расход ДТ в 95-ом процентиле 180-200 г/ткм);
- активно-форсированный (расхода ДТ в 95-ом процентиле в 1,3 раза выше по отношению к щадящему режиму);
- реактивно-форсированный (расхода ДТ в 95-ом процентиле в 1,4 раза выше по отношению к щадящему режиму);
- агрессивный (расхода ДТ в 95-ом процентиле в 1,6 раза выше по отношению к щадящему режиму).

4. Таким образом, идентифицированные режимы работы создают методическую основу для перехода от реагирования на внезапные выходы двигателей из строя к проактивному управлению его ресурсом. Практическая реализация заключается в целенаправленном переводе работы оборудования из агрессивных и форсированных режимов в щадящий за счет повышения квалификации водителей автосамосвалов и изменения качества дорожного покрытия.

Научные выводы, сформулированные на основе исследования связи полноты использования ресурса двигателей автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» и режима работы этих машин были верифицированы с использованием данных о работе большегрузных карьерных автосамосвалов на предприятиях РУ «Новошахтинское», АО «Лучегорский угольный разрез», АО «Разрез Тугнуйский». Оценка полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на данных предприятиях подтвердила значительное варьирование данного показателя, соизмеримое с выявленным варьированием на разрезе «Черногорский» (таблица 2.9). Оценка режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов на данных предприятиях с использованием показателя удельного расхода топлива в 95-ом процентиле и оценка полноты использования ресурса двигателей этих машин позволила провести корреляционные анализы, подтвердившие тесную взаимосвязь этих показателей. Таким образом, был подтвержден неслучайный характер выявленных соотношений в полноте использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях и связи данной полноты с режимами работы автосамосвалов.



Таблица 2.9 – Полнота использования ресурса 161 двигателя на четырех угледобывающих предприятиях

Предприятия	Автосамосвалы	Двигатели	Кол-во двиг.	Средняя полнота использования ресурса двигателей			Теснота связи (R) между полнотой использования ресурса двигателей и удельным расходом ДТ в 95-ом процентиле
				До 1-го капитального ремонта	После 1-го капитального ремонта	После 2-го капитального ремонта	
Разрез «Черногорский»	БелАЗ-7513	Cummins KTA-50	19	0,68	0,72	0,37	-0,72
	БелАЗ-75306	Cummins QSK-60	25	0,70	0,56	0,41	-0,89
РУ «Новошахтинское»	БелАЗ-7513	Cummins KTA-50	29	0,66	-	-	-0,78
АО «Лучегорский угольный разрез»	БелАЗ-7513	Cummins KTA-50	4	0,93	-	-	-0,95
		Weichai	3	0,66	-	-	-
АО «Разрез Тугнуйский»	БелАЗ-7513	Cummins KTA-50	19	0,59	0,39	-	-
	БелАЗ-75306	Weichai	21	0,62	-	-	-
		Cummins QSK-60	41	0,80	0,52	-	-

## Вывод по главе 2

На основании проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Оценка практических результатов функционирования лабораторий по спектральному анализу отработанного масла двигателя большегрузных карьерных автосамосвалов, используемых на горнодобывающих предприятиях для выявления предельного состояния двигателей этих машин, показала, что при помощи общепринятого подхода определения только текущей концентрации частиц металла в масле, возможно своевременно предупреждать внезапные выходы из строя двигателей не более чем в 20% от всех случаев. Анализ причин внезапных выходов из строя двигателей, возникновение которых удастся спрогнозировать посредством оценки текущей концентрации частиц металлов, показал, что они обусловлены факторами, негативное влияние которых проявляется быстрой симптоматикой. В связи с этим только такой подход к выявлению предельного состояния двигателей не позволяет выявлять факторы, обуславливающие ресурс двигателей в долгосрочной перспективе и приводящие к 80% всех внезапных выходов их из строя.

2. Факторы, обуславливающие ресурс двигателей в долгосрочной перспективе, характеризуются меньшим проявлением при оценке концентрации металлов в масле двигателя. Экспериментально определено, что влияние таких факторов возможно оценивать с помощью метода расчета нарастающих итогов. При использовании данного метода, в отличие от общепринятого метода, предельное состояние двигателей определяется не в момент наступления критической концентрации металлов в масле, а по предпосылкам на ранних подступах на основе расчета скорости накопления частиц металлов в масле с начала ввода двигателя в эксплуатацию и/или после возобновления его работы вследствие капитального ремонта.

3. Поскольку ресурс однотипных двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов при работе в условиях одного предприятия существенно изменяется, то в качестве показателя, отражающего полноту использования ресурса двигателей, возможно использовать соотношение фактического ресурса двигателя

к максимально достигаемой его величине однотипными двигателями при работе в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях.

4. Доказано, что превалирующее влияние на полноту использования ресурса двигателей оказывают режимы работы автосамосвалов, которые достоверно оцениваются через удельный расход дизельного топлива в 95-ом процентиле. Тесная функциональная связь данного показателя со скоростью накопления частиц железа в отработанном масле двигателя подтверждает возможность его применения в качестве индикатора функциональной нагрузки, определяющей интенсивность износа двигателя.

5. Идентифицированы четыре режима работы карьерных автосамосвалов в условиях угледобывающих предприятий: щадящий, активно-форсированный, реактивно-форсированный и агрессивный. Данные режимы работы характеризуются определенным уровнем удельного расхода топлива, соответствующей скоростью износа двигателя и обуславливаются различной комбинацией квалификации водителя и качества дорожного покрытия.

Выявленные тесные связи между режимом работы автосамосвала, скоростью накопления частиц железа в отработанном масле двигателя и полнотой использования его ресурса подтверждают наличие значительных резервов для сокращения удельных затрат на ремонтное обслуживание двигателей автосамосвалов, а также снижения удельного расхода ДТ и повышения эффективности функционирования угледобывающих предприятий в целом. Практическая ценность результатов исследования заключается в разработанном инструментарии, позволяющем обеспечивать щадящий режим работы автосамосвалов путем изменения качества дорожного покрытия и повышения квалификации водителей, что создает возможность перейти от реагирования на внезапные выходы из строя двигателя к целенаправленному управлению его ресурсом.

## ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА И ОПРОБОВАНИЕ МЕТОДИЧЕСКОГО ИНСТРУМЕНТАРИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ПОЛНОТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕСУРСА ДВИГАТЕЛЕЙ

### 3.1. Разработка методического инструментария по повышению полноты использования ресурса двигателей

На основании проведенных автором исследований влияния режима работы автосамосвала БелАЗ-75306 на полноту использования ресурса его двигателя разработана методика повышения полноты использования ресурса двигателя, представленная в виде алгоритма на рисунке 3.1.

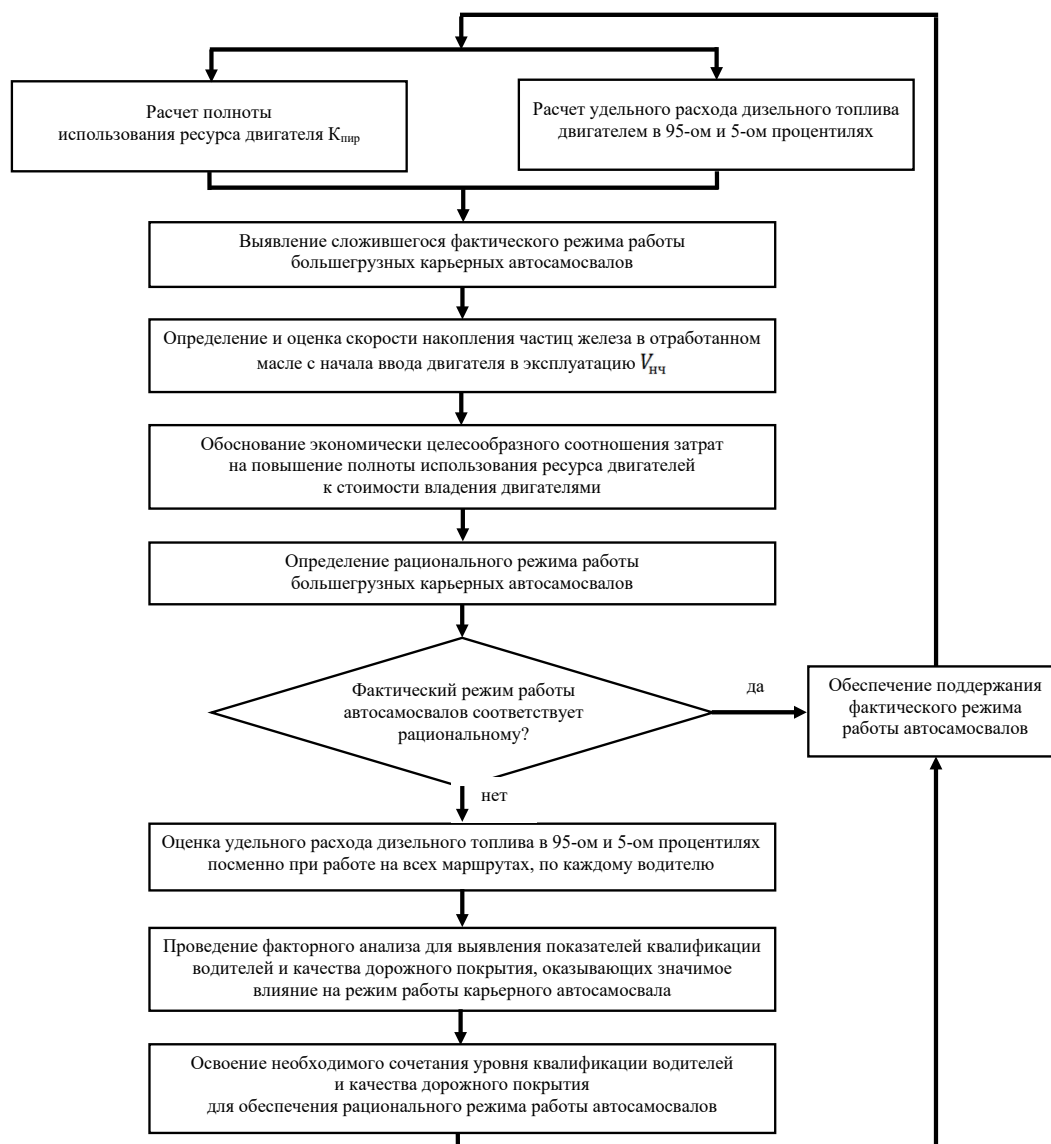


Рисунок 3.1 – Алгоритм методики повышения полноты использования ресурса двигателей

Основные элементы разработанной методики повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, в т.ч. разработанный критерий скорости накопления частиц железа в отработанном масле, способ выявления фактического режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов по полноте использования ресурса их двигателей и по удельному расходу дизельного топлива в 95-ом и 5-ом процентилях, а также подход к обоснованию рационального режима работы автосамосвала представлены в данной диссертации во второй главе. Для освоения рационального режима работы автосамосвалов требуется выполнить оценку и последующее повышение квалификации всех водителей автосамосвалов и качества дорожного покрытия.

Автором диссертации предлагается реализация конкретных 8 этапов оценки и повышения квалификации водителей автосамосвалов.

1 этап. Формирование комиссии для оценки и повышения квалификации водителей автосамосвалов предприятия. Члены комиссии выбираются из наиболее опытных и квалифицированных специалистов предприятия, обладающих практическим опытом управления автосамосвалом. Для их выявления составляется перечень всех водителей предприятия, который ранжируется исходя из их среднесменного удельного расхода ДТ и производительности за период не менее года. Удельный расход ДТ определяется по формуле:

$$P_{уд} = \frac{(V_{ДТ1} - V_{ДТ2}) \cdot \rho_{ДТ}}{Q_{см}}, \quad (3.1)$$

где  $P_{уд}$  – удельный расход дизельного топлива, г/ткм;

$V_{ДТ1}$  и  $V_{ДТ2}$  – объем дизельного топлива в баке в начале и конце рабочей смены соответственно, л;

$\rho_{ДТ}$  – плотность дизельного топлива, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_{см}$  – производительность автосамосвала за смену, ткм.

$$Q_{см} = S_{см} \cdot m_{см} \quad (3.2)$$

где  $S_{см}$  – приведенное расстояние транспортирования горной массы, км;

$m_{см}$  – объем горной массы, который автосамосвал транспортировал за смену, тонн.

По перечню водителей автосамосвалов, характеризующихся минимальным среднесменным удельным расходом ДТ и стабильным выполнением нормы производительности, составляется список водителей, способных выступать в качестве члена комиссии. Из данного списка руководителем подразделения определяются водители в каждой смене, обладающие:

- знаниями отраслевых правил безопасности;
- знаниями внутренних регламентов предприятия;
- умением не только управлять техникой, но и оценивать действия другого человека, выявлять ошибки, давать конструктивную обратную связь;
- опытом в роли наставника или инструктора;
- владением методиками оценки;
- пониманием принципов создания оценочных листов (чек-листов).

2 этап. Составление графика проведения оценки квалификации водителей. Обосновываются требования к количеству оцениваемых у водителей автосамосвалов рабочих циклов (например, хронометражные наблюдения за выполнением не менее 10 рейсов каждым оцениваемым водителем) для формирования репрезентативных данных по водителям. На основании утвержденного списка водителей и требований к продолжительности наблюдений определяется период, в течение которого комиссия будет проводить оценку, и формируется график выполнения оценки.

3 этап. Выявление и формализация показателей оценки квалификации водителей автосамосвалов. На основе сравнения техники управления водителями с лучшими и худшими показателями среднесменного удельного расхода ДТ и производительности определяются различающиеся показатели их квалификации. Данные показатели рассматриваются в качестве независимых переменных при проведении факторного анализа для выявления тех из них, которые оказывают статистически значимое влияние на режим работы большегрузного карьерного автосамосвала. В качестве зависимой переменной рассматривается показатель удельного расхода топлива, оцениваемого одновременно в 95-ом и 5-ом процентилях.

4 этап. Проведение оценки квалификации водителей. Выявленные и формализованные показатели оценки квалификации водителей автосамосвалов оформляются в чек-лист. Пример формы чек-листа представлен в таблице 3.1

Таблица 3.1 – Пример чек-листа с показателями оценки квалификации водителей автосамосвалов

Показатель квалификации	Условия начисления баллов	Оценка члена комиссии
1. Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении превышения скоростного режима от приемлемого для конкретного участка дороги на 2 км/час оценка снижается на 1 балл, далее вплоть до 0 баллов	
2. Соблюдение техники безопасности (правил дорожного движения)	Выставляется 8 баллов при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	
3. Полноценность выполнения ЕО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	
4. Проверка значений уровней рабочих жидкостей	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов при работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы	
5. Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов	
6. Плавность начала хода движения	Обеспечивает плавное начало хода автосамосвала. Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов при резком начале движения автосамосвала	
7. Плавность остановки автосамосвала	Обеспечивает плавную и надежную остановку автосамосвала за время и на длине тормозного пути, установленных правилами дорожного движения. Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов при резкой и ненадежной остановке автосамосвала	
8. Манера вхождения в поворот	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	

Показатель квалификации	Условия начисления баллов	Оценка члена комиссии
9. Манера подъема по уклонам	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов при недостаточном разгоне перед подъемом	
10. Манера объезда препятствий	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов в случае наезда на препятствие при возможности его объехать	
11. Расположение автосамосвала под погрузку	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за расположение автосамосвала под уклоном, на неровностях и в неудобном расположении для его погрузки	
12. Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за некорректное тормозов	

Члены комиссии, осуществляют непосредственное наблюдение за работой оцениваемого водителя. В процессе наблюдения осуществляются хронометражные измерения, визуальный осмотр состояния рабочих площадок, отвалов, технологических автодорог, подъездных путей и автосамосвалов. В результате проведенных наблюдений и измерений выставляются оценки в чек-листах. Обязательно осуществляется фото- и видео-фиксация выявленных отклонений в работе водителей, а также лучших практик их работы

5 этап. Определение результатов проведенной оценки квалификации. Членами комиссии проводится количественный и качественный анализ содержания баллов в чек-листах. По каждому водителю рассчитывается итоговый балл ( $I_B$ ) как сумма баллов по всем показателям квалификации ( $P_K$ ) по формуле:

$$I_B = \sum_{i=1}^N P_K, \quad (3.3)$$

где  $P_K$  – показатель квалификации водителя, балл;

$i$  – номер показателя;  $N$  – максимальное количество показателей.

Результаты оценки квалификации заносятся в сводные таблицы для выявления:



- общих резервов повышения квалификации водителей по каждому показателю;

- наиболее критичных показателей квалификации водителей;

- приоритетов в последовательности обучения водителей в зависимости от их уровня квалификации.

6 этап. Составление программы повышения квалификации водителей. На основе проведенного анализа результатов оценки квалификации водителей членами комиссии формируется программа обучения водителей автосамосвалов в режиме мастер-классов, учитывающая выявленные значения показателей квалификации каждого из оцененных водителей.

7 этап. Организация процесса повышения квалификации водителей. Члены комиссии, проводившие оценку квалификации водителей, в режиме мастер-класса проводят повышение квалификации каждого оцененного водителя. При обучении членами комиссии прорабатываются правильные приемы управления автосамосвалом, особенно по неудовлетворительным показателям обучаемых водителей. В процессе обучения члены комиссии используют данные фото- и видео-фиксации для наглядной демонстрации ошибок обучаемых водителей и примеров эффективной работы.

8 этап. Расчет достигнутого экономического эффекта от проведения оценки и повышения квалификации водителей. По прошествии не менее месяца с момента завершения процесса повышения квалификации водителей проводится расчет экономического эффекта с использованием формулы:

$$\mathcal{E} = (P_{уд2} - P_{уд1}) \cdot S_{сумм} \cdot C_{ДТ} - Z_0 \quad (3.4)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический эффект, руб/мес;

$P_{уд2}$  и  $P_{уд1}$  – удельный расход ДТ соответственно после проведения повышения квалификации водителей и до проведения повышения квалификации водителей, г/ткм;

$S_{сумм}$  – суммарное приведенное расстояние транспортирования горной массы, которое проехали водители автосамосвалов за оцениваемый период времени, после проведения повышения их квалификации, км;

$C_{\text{ДТ}}$  – стоимость 1 литра ДТ, руб;

$З_0$  – затраты, приходящиеся на проведение оценки и повышения квалификации водителей, руб.

$$З_0 = N_{\text{в}} \cdot N_{\text{см}} \cdot З_{\text{см1}} + З_{\text{см2}} \quad (3.5)$$

где  $N_{\text{в}}$  – количество членов комиссии, проводивших оценку и повышение квалификации водителей, чел;

$N_{\text{см}}$  – количество рабочих смен, отработанных членами комиссий для проведения оценки и повышения квалификации водителей, смен;

$З_{\text{см1}}$  – среднесменная заработная плата члена комиссии, проводившего оценку и повышение квалификации водителей, руб;

$З_{\text{см2}}$  – сменная заработная плата водителей, вышедших на смены для транспортирования горной массы вместо членов комиссии, на время проведения оценки и повышения квалификации водителей, руб.

Для оценки качества дорожного покрытия предлагается реализации нижеследующих 7 этапов.

1 этап. Формирование базы данных по всем имеющимся на предприятии маршрутам движения автосамосвалов. Для определения минимально возможного расхода ДТ при транспортировании горной массы по этим маршрутам составляется перечень всех дорог предприятия, который ранжируется исходя из среднесменного удельного расхода ДТ, затрачиваемого каждым водителем во время транспортирования горной массы на этих трассах. Удельный расход ДТ определяется по формуле:

$$P_{\text{уд}} = \frac{V_{\text{ДТ(сумм)}} \cdot \rho_{\text{ДТ}}}{Q_{\text{сумм}}}, \quad (3.6)$$

где  $P_{\text{уд}}$  – удельный расход дизельного топлива, г/ткм;

$V_{\text{ДТ(сумм)}}$  – суммарный объем дизельного топлива, израсходованный водителями при транспортировании горной массы на конкретной трассе за смену, л.

$$V_{\text{ДТ(сумм)}} = V_1 + V_2 + V_3 + V_n, \quad (3.7)$$

где  $V_1 + V_2 + V_3 + V_n$  – объем ДТ 1-го, 2-го, 3-го, n-го водителя, транспортирующих горную массу на конкретной трассе, л;

$\rho_{\text{ДТ}}$  – плотность дизельного топлива, кг/м<sup>3</sup>;

$Q_{\text{сумм}}$  – суммарная производительность автосамосвалов при транспортировании горной массы на конкретной трассе за смену, ткм.

$$Q_{\text{см}} = S_{\text{т}} \cdot m_{\text{сумм}} \quad (3.8)$$

где  $S_{\text{т}}$  – приведенное расстояние трассы от пункта погрузки до пункта разгрузки автосамосвала, км;

$m_{\text{сумм}}$  – суммарный объем горной массы при ее транспортировании на конкретной трассе всеми водителями за смену, тонн.

После расчета удельного расхода ДТ на каждой трассе каждым водителем автосамосвала определяется средневзвешенное значение 5% минимальных значений расхода ДТ из всех анализируемых смен на каждой трассе.

2 этап. Определение состава комиссии для оценки качества дорожного покрытия. В состав комиссии для оценки качества дорожного покрытия включаются руководители и специалисты предприятия, обладающие достаточными опытом и знаниями для проведения данной оценки.

3 этап. Планирование сроков проведения оценки качества дорожного покрытия. При планировании сроков проведения оценки качества дорожного покрытия для членов оценивающей комиссии формируется наиболее рациональный маршрут их движения, учитывающий: грузопоток, время суток, время года, ранжирование трасс по удельному расходу ДТ.

4 этап. Выявление и формализация показателей оценки качества дорожного покрытия. На основе сравнения состояния дорожного покрытия на маршрутах с лучшими и худшими показателями среднесменного удельного расхода ДТ определяются различающиеся показатели их качества. Данные показатели рассматриваются в качестве независимых переменных при проведении факторного анализа для выявления тех из них, которые оказывают статистически значимое влияние на режим работы большегрузного карьерного автосамосвала. В качестве

зависимой переменной рассматривается показатель удельного расхода топлива, оцениваемого одновременно в 95-ом и 5-ом процентилях.

5 этап. Проведение оценки квалификации водителей. Выявленные и формализованные показатели оценки качества дорожного покрытия оформляются в чек-лист. Пример формы чек-листа представлен в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Показатели оценки качества дорожного покрытия

Показатели			Виды карьерных дорог
1 Качество дорог	1.1 Наличие колеи		
	1.2 Наличие льда/пыли		
	1.3 Знаки дорожного движения		
	1.4 Наличие просыпей		
2 Наличие препятствий на участке дороги (выбоины, кочки, прочие неровности)			
3 Технологические параметры	3.1 Высота предохранительного вала		
	3.2 Ширина дороги		
	3.3 Уклон дороги	3.3.1 Продольный	
		3.3.2 Поперечный	
	3.4 Уклон виражей	3.4.1 Продольный	
		3.4.2 Поперечный	
3.5 Освещенность			
4 Состояние КГШ	4.1 Превышение ходимости КГШ относительно нормы		
	4.2 Количество повреждений КГШ относительно отработки, ед/км		
5 Продолжительность простоя автосамосвалов в ремонте по причине ремонта рамы, ч/мес			
6 Нововведения по улучшению качества дорожного покрытия			

Комиссией оцениваются виды карьерных дорог: забойные, траншейные и отвальные по отдельности.

Таблица 3.3 – Правила выставления оценки

Показатель		Комментарий по оценке уровня содержания автодорог	Примечание
1 Качество дорог	1.1 Наличие колеи	Если на оцениваемом типе автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные): • отсутствует «колея» и тем самым обеспечивается благоприятное и безопасное передвижение а/с, то выставляется 3 балла; • присутствует небольшая «колея» (глубиной от 5 см до 20 см), создающая проблемы для передвижения и снижения скорости, то выставляется 0 баллов; • присутствует «колея» (глубиной от 20 см), затрудняющая движение и ухудшающая техническое состояние, то выставляется 3 балла.	
	1.2 Наличие льда/пыли	Если на оцениваемом типе автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные): • отсутствует вода или пыль и тем самым обеспечивается благоприятное и безопасное передвижение, то выставляется 3 балла; • присутствует участок с повышенной пылью, создающий проблемы для передвижения и снижения скорости, то выставляется 0 баллов; • присутствует вода или пыль, что не обеспечивает безопасное передвижение, то выставляется -3 балла.	
	1.3 Знаки дорожного движения	Если на оцениваемом типе автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные): отсутствуют все необходимые знаки дорожного движения или они находятся в неудовлетворительном состоянии, то выставляется 3 балла; за каждый случай выявленных нарушений по эксплуатации знаков дорожного движения (необходимость повышенного внимания), выставляется 0 баллов.	
	1.4 Наличие просыпей	Если на оцениваемом типе автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные): отсутствует проекция горной массы, то выставляется 3 балла; за каждый выявленный случай присутствия проекции на автодороге выставляется 1 балл.	Просыпью считается присутствие на проезжей части автодороги одного либо нескольких кусков горной массы высотой от поверхности более 20 см

## Продолжение таблицы 3.3

Показатель		Комментарий по оценке уровня содержания автодорог	Примечание
2 Наличие препятствий на участке дороги (выбоины, кочки, прочие неровности)		Если оцениваемый тип автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные) покрыт выбоинами или кочками в общей сумме на протяжении: $\leq 5\%$ от всей длины оцениваемого типа автодороги, то выставляется 3 балла; от 5% до 15% от всей длины оцениваемого типа автодороги, то выставляется 3 балла; более 15% от всей длины оцениваемого типа автодороги, то выставляется -3 балла	
3 Технологические параметры	3.1 Высота предохранительного вала	Если высота предохранительного (удерживающего) вала на оцениваемого типа автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные) полностью соответствует проектным параметрам, то выставляется 3 балла. За каждый выявленный случай несоответствия высоты предохранительного (удерживающего) вала от проектных параметров в меньшую сторону: • на 3-15% на протяжении $\geq 1$ метра выставляется 0 баллов; • более 15% на протяжении $\geq 1$ метра выставляется -1 балл	
	3.2 Ширина дороги	Если ширина проезжей части на оцениваемом типе автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные) полностью соответствует проектным параметрам, то выставляется 3 балла. За каждый выявленный случай несоответствия ширины проезжей части от проектных параметров в меньшую сторону: • на 3-15%, выставляется 0 баллов; • более 15%, выставляется -1 балл	
	3.3 Уклон дороги	Если уклон дороги на оцениваемом типе автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные) полностью соответствует проектным параметрам, то выставляется 3 балла. За каждый выявленный случай несоответствия уклона дороги от проектных параметров в меньшую сторону: • на 3-15%, выставляется 0 баллов; • более 15%, выставляется -1 балл.	
	3.4 Уклон виражей	Если уклон внешней части на виражах оцениваемого типа автодорог (поверхностные, траншейные, забойные, отвальные) полностью соответствует проектным параметрам, то выставляется 3 балла. За каждый выявленный случай несоответствия уклона проезжей части на верхних от проектных параметров в меньшую сторону: • на 3-15%, выставляется 0 баллов; • более 15%, выставляется -1 балл.	

## Продолжение таблицы 3.3

Показатель		Комментарий по оценке уровня содержания автодорог	Примечание
4 Состояние КГШ	4.1 Превышение ходимости КГШ относительно нормы	Если удельная ходимость КГШ на оцениваемом структурном подразделении составляет: ≥ 120% от нормы, то выставляется 3 балла; от 100% до 120% от нормы, то выставляется 0 баллов; ≤ 100% от нормы, то выставляется -3 балла	
	4.2 Количество повреждений КГШ относительно отработки, ед/км	Если удельное количество механических повреждений на 1 млн. км. по всему автопарку оцениваемого структурного подразделения, в результате которого требуется ремонт или замена КГШ: составляет 0, то выставляется 3 балла; составляет от 1 до 10, то выставляется 0 баллов; составляет более 10, то выставляется -3 балла;	Удельное количество определяется как отношение количества механических повреждений к количеству автосамосвалов в парке структурного подразделения
5 Продолжительность простоя автосамосвалов в ремонте по причине ремонта рамы, ч/мес		Если удельная продолжительность ремонта рам всего парка автосамосвалов (ч/мес.), оцениваемого структурного подразделения составляет: ≤ 2 ч/мес., то выставляется 3 балла; от 3 до 15 ч/мес., то выставляется 0 баллов; ≥ 15 ч/мес., то выставляется -3 балла;	Удельная продолжительность ремонта рам парка автосамосвалов определяется как отношение общей продолжительности ремонта (час/мес) рам всего парка автосамосвалов к количеству автосамосвалов в парке структурного подразделения
6 Нововведения по улучшению качества дорожного покрытия		Если на оцениваемом структурном подразделении реализовано инновационное решение, нацеленное на повышение уровня содержания автодорог, то выставляется 3 балла; Если инновационное решение находится в стадии апробации, то выставляется 2 балла; Если инновационное решение находится в стадии проектирования, то выставляется 1 балл; Если инновационное решение отсутствует, то выставляется 0 баллов	

6 этап. Оценка качества дорожного покрытия. Члены комиссии, передвигаясь по маршруту, выставляют баллы по каждому показателю в оценочную ведомость (таблица 3.2), согласно правилам выставления оценки (таблица 3.3). По итогам оценки качества дорожного покрытия, члены комиссии рассчитывают количество выставленных баллов по всем показателям состояния дорожного покрытия и определяют итоговый балл. Итоговый балл определяется по формуле:

$$И = \frac{\sum \text{Баллов}}{L_d} \cdot K_{\text{тяжести}} \quad (3.9)$$

где  $\sum \text{баллов}$  – сумма набранных баллов;

$L_d$  – длина оцениваемых маршрутов, км.

$$K_{\text{тяжести}} = \frac{\sum \text{Баллов}}{n_{\text{нарушений}}} \quad (3.10)$$

где  $n_{\text{нарушений}}$  – общее количество выявленных нарушений, ед.

7 этап. Улучшение качества дорожного покрытия. После подведения итогов оценки, все маршруты на предприятии необходимо проранжировать по общим показателям набранных баллов комиссионной оценки. По полученному списку определяются и осваиваются мероприятия, реализация которых необходима для устранения выявленных членами комиссии отклонений в состоянии дорожного покрытия для достижения рационального режима работы автосамосвала.

Таким образом, разработана методика повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, включающая в себя разработанный критерий скорости накопления частиц железа в отработанном масле, способ выявления фактического режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов по полноте использования ресурса их двигателей и по удельному расходу дизельного топлива в 95-ом и 5-ом перцентилях, а также подход к обоснованию рационального режима работы автосамосвала. Разработанная методика позволяет определять приоритетные направления для освоение рационального режима работы автосамосвалов, обеспечивающего снижение расхода дизельного топлива и скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателей, и, как следствие, повышение полноты использования ресурса их двигателей.



### 3.2. Опробование методического инструментария по повышению полноты использования ресурса двигателей

Методический инструментарий оценки и повышения квалификации водителей автосамосвалов, а также оценки качества дорожного покрытия были опробованы на разрезе «Черногорский» ООО «СУЭК-Хакасия».

Так, например, методика оценки и повышения квалификации водителей автосамосвалов была опробована во втором полугодии 2024 г. с использованием результатов проведенного ранжирования водителей автосамосвалов БелАЗ-75306 по показателям удельного расхода дизельного топлива и выполняемости сменной нормы.

В октябре 2024 г. был сформирован список из 127 водителей, характеризующихся неудовлетворительными значениями по удельному расходу дизельного топлива и выполняемости сменной нормы. С целью сохранения конфиденциальности фамилии и имена участников проведенной работы на разглашаются. Было определено, что оценку квалификации 127 водителей автосамосвалов будет проводить комиссия, включающая в себя 4 наиболее квалифицированных водителя автосамосвалов разреза «Черногорский» (по 1 водителю в каждой смене), а председателем данной комиссии будет начальник ГТЦ данного разреза:

- начальник ГТЦ (председатель комиссии);
- водитель автосамосвала БелАЗ-7513 (инструктор 1);
- водитель автосамосвала БелАЗ-75306 (инструктор 2);
- водитель автосамосвала БелАЗ-75306 (инструктор 3);
- водитель автосамосвала БелАЗ-75306 (инструктор 4).

В результате работы комиссии в установленный период времени по всем 127 оцениваемым водителям было выставлено 1677 балльных оценок (Приложение А), анализ которых осуществлялся на базе MS Excel с использованием формулы:

$$I_M = \sum_{i=1}^9 P_K, \quad (3.11)$$

где  $P_k$  – показатель квалификации водителя (рисунок 3.2), балл;

$i$  – номер показателя (рисунок 3.2);

9 – максимальное количество показателей.

Дата проведения оценки		26.1. Октября 2024	
ФИО оцениваемого водителя		[Redacted]	
Гаражный номер автосамосвала БелАЗ		217	

№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов	5
5	Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения	1
		Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке	1
		Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	2
		Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки	0
		Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие	1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещению по отвалу) вплоть до 0 баллов	2
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуации тормозов	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
Итого баллов			

Оценку произвели:		
ФИО	Должность	Подпись

Рисунок 3.2 – Пример заполнения чек-листа для оценки квалификации водителей большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ-75306 (лицевая сторона)

**Вспомогательный лист**

**Показатели оценки техники безопасности**

№ п/п	За что снимаются баллы
1	Не установлены противооткатные упоры во время остановки автосамосвала
2	Полное, либо частичное отсутствие СИЗ у водителя
3	Огнетушители неисправны, либо истек срок годности
4	Не используется ремень безопасности во время движения
5	Неисправны поворотные сигналы

**Примечания/дополнения/замечания/пояснения**

УОТР Яблоницкий: Дорога из под экскаватора 678 имеет заужение, до отвала дорога так же имеет заужения крутые повороты и подъемы, отвал имеет не соответствующий уклон.

Рисунок 3.3 – Пример заполнения чек-листа для оценки квалификации водителей большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ-75306 (тыльная сторона)

Усреднение комиссионных оценок позволило выделить наиболее критичные показатели квалификации, обуславливающие повышенный удельный расход дизельного топлива и невыполнение требуемой сменной производительности. Так, например, было выявлено, что:

– наибольшей долей набранных баллов (более 90%) характеризуются следующие показатели: соблюдение правил дорожного движения (93%),

соблюдение техники безопасности (94%), плавность вхождения в поворот (95%), ежесменное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала (96%), объезд препятствий (97%), плавность остановки (98%), плавность начала движения (98%), расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу (99%), соблюдение правил использования тормозов (100%) (рисунок 3.4);

– приемлемой долей набранных баллов (от 80 до 90%) характеризуются: полноценность выполнения ежесменного технического осмотра (87%) и соблюдение скоростного режима (88%) (рисунок 3.4);

– неудовлетворительной долей набранных баллов (менее 80%) характеризуются: прохождение подъема (51%). (рисунок 3.4).

Таким образом было определено, что в 2024 г. на разрезе «Черногорский» наиболее критичными показателями квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306, обуславливающими повышенный удельный расход дизельного топлива, а, как следствие, и высокой скоростью накопления частиц железа в отработанном масле двигателей, и невыполнение требуемой сменной производительности, являются: прохождение подъема, соблюдение скоростного режима, полноценность выполнения ЕТО. Также в результате проделанной работы членами комиссии осуществлялась фотофиксация выявляемых отклонений в рабочем процессе водителей автосамосвалов БелАЗ-75306 с целью детального разбора с сотрудниками разреза «Черногорский» этих отклонений и формирования рекомендаций по повышению качества процессов транспортирования горной массы. Примеры результатов фотофиксации представлены на рисунках 3.5-3.7. С использованием результатов деятельности комиссии было организовано повышение квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский».



Рисунок 3.4 – Доля набранных баллов водителями автосамосвалов БелАЗ-75306  
разреза «Черногорский» из 100% возможных





Рисунок 3.5 – Перегруз автосамосвала



Рисунок 3.6 – Негабарит в кузове автосамосвала





Рисунок 3.7 – Просыпи на отдельных участках дороги

В период ноябрь-декабрь 2024 г. членами комиссии в режиме мастер-класса было проведено обучение водителей автосамосвалов БелАЗ-75306 правильным приемам управления автосамосвалом для достижения требуемых показателей в части удельного расхода дизельного топлива и выполняемости сменной нормы.

Первым инструктором было проведено обучение 24 водителей, характеризующихся неудовлетворительной квалификацией в части соблюдения техники безопасности, полноценности выполнения ЕТО, соблюдения скоростного режима, плавности вхождения в поворот, предоставления информации о техническом состоянии автосамосвала (таблица 3.4).



Таблица 3.4 – Список водителей, прошедших повышение квалификации под руководством первого инструктора

Условный номер водителя	Показатели квалификации, по которым было проведено обучение водителя					
водитель 1	Соблюдение техники безопасности					
водитель 2	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 3	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 4	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 5	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 6	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 7	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 8	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 9	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 10	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 11	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 12	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 13	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 14	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 15	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 16	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 17	Полноценность выполнения ЕТО					
водитель 18	Полноценность выполнения ЕТО			Соблюдение техники безопасности		
водитель 19	Полноценность выполнения ЕТО			Соблюдение техники безопасности		
водитель 20	Полноценность выполнения ЕТО			Соблюдение техники безопасности		
водитель 21	Полноценность выполнения ЕТО			Соблюдение техники безопасности		
водитель 22	Полноценность выполнения ЕТО			Ежесменное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала		
водитель 23	Полноценность выполнения ЕТО		Соблюдение скоростного режима		Плавность вхождения в поворот	
водитель 24	Полноценность выполнения ЕТО	Соблюдение скоростного режима	Соблюдение правил дорожного движения	Плавность остановки	Плавность вхождения в поворот	Соблюдение техники безопасности

Вторым инструктором было проведено обучение 28 водителей, характеризующихся неудовлетворительной квалификацией в части соблюдения правил дорожного движения, соблюдения скоростного режима, плавности вхождения в поворот, соблюдения техники безопасности, прохождения подъема (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – Список водителей, прошедших повышение квалификации под руководством второго инструктора

Условный номер водителя	Показатели квалификации, по которым было проведено обучение водителя	
водитель 25	Соблюдение скоростного режима	
водитель 26	Соблюдение скоростного режима	
водитель 27	Соблюдение правил дорожного движения	
водитель 28	Плавность вхождения в поворот	
водитель 29	Соблюдение техники безопасности	
водитель 30	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 31	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 32	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 33	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 34	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 35	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 36	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 37	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 38	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 39	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 40	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 41	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 42	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 43	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 44	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 45	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 46	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 47	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 48	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 49	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 50	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 51	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема
водитель 52	Соблюдение правил дорожного движения	Прохождение подъема

Третьим инструктором было проведено обучение 11 водителей, характеризующихся неудовлетворительной квалификацией в части плавности вхождения в поворот, полноценности выполнения ЕТО, прохождения подъема, объезда препятствий, расположения автосамосвала под погрузку и движение к отвалу, соблюдения скоростного режима, плавности начала движения и остановки (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Список водителей, прошедших повышение квалификации под руководством третьего инструктора

Условный номер водителя	Показатели квалификации, по которым было проведено обучение водителя					
водитель 53	Плавность вхождения в поворот					
водитель 54	Плавность вхождения в поворот					
водитель 55	Полноценность выполнения ЕТО			Плавность вхождения в поворот		
водитель 56	Прохождение подъема					
водитель 57	Объездах препятствий					
водитель 58	Объездах препятствий					
водитель 59	Прохождение подъема			Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу		
водитель 60	Прохождение подъема			Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу		
водитель 61	Прохождение подъема			Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу		
водитель 62	Соблюдение скоростного режима		Плавность начала движения	Плавность остановки	Прохождение подъема	Объезд препятствий
водитель 63	Соблюдение скоростного режима	Плавность начала движения	Плавность остановки	Плавность вхождения в поворот	Прохождение подъема	Объезд препятствий

Четвертым инструктором было проведено обучение 34 водителей, характеризующихся неудовлетворительной квалификацией в части плавности вхождения в поворот, полноценности выполнения ЕТО, прохождения подъема, объезда препятствий, расположения автосамосвала под погрузку и движение к отвалу, соблюдения скоростного режима, плавности начала движения и остановки, предоставлении информации о техническом стоянии автосамосвала (таблица 3.7).

Таблица 3.7 – Список водителей, прошедших повышение квалификации под руководством четвертого инструктора

Условный номер водителя	Показатели квалификации, по которым было проведено обучение водителя	
водитель 64	Соблюдение скоростного режима	
водитель 65	Соблюдение скоростного режима	Прохождение подъема
водитель 66	Соблюдение скоростного режима	Прохождение подъема
водитель 67	Соблюдение скоростного режима	Прохождение подъема

Условный номер водителя	Показатели квалификации, по которым было проведено обучение водителя			
водитель 68	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 69	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 70	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 71	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 72	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 73	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 74	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 75	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 76	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 77	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	
водитель 78	Соблюдение скоростного режима	Ежесменное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Плавность вхождения в поворот	Соблюдение техники безопасности
водитель 79	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности
водитель 80	Соблюдение скоростного режима		Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности
водитель 81	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Ежесменное предоставление информации о техническом состоянии автосамосвала	Соблюдение техники безопасности
водитель 82	Соблюдение скоростного режима		Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема
водитель 83	Соблюдение скоростного режима		Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема
водитель 84	Соблюдение скоростного режима		Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема
водитель 85	Соблюдение скоростного режима		Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема
водитель 86	Соблюдение скоростного режима		Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема
водитель 87	Соблюдение скоростного режима		Полноценность выполнения ЕТО	Ежесменное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала

Условный номер водителя	Показатели квалификации, по которым было проведено обучение водителя				
водитель 88	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности	
водитель 89	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности	
водитель 90	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности	
водитель 91	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности	
водитель 92	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Ежесменное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Соблюдение техники безопасности	
водитель 93	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Плавность вхождения в поворот	Прохождение подъема	
водитель 94	Соблюдение скоростного режима		Ежесменное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Прохождение подъема	
водитель 95	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Плавность вхождения в поворот	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности
водитель 96	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Плавность вхождения в поворот	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности
водитель 97	Соблюдение скоростного режима	Полноценность выполнения ЕТО	Плавность вхождения в поворот	Прохождение подъема	Соблюдение техники безопасности

На основе результатов ранжирования водителей по показателям удельного расхода дизельного топлива и выполняемости сменной нормы определено, что в результате повышения квалификации водителей автосамосвалов было достигнуто

сокращение величины удельного расхода дизельного топлива по парку автосамосвалов БелАЗ-75306 на 5%. Учитывая, что закупочная цена дизельного топлива разреза «Черногорский» в 2025 г. вставляла 60 руб/л – то за 1 полугодие 2025 г. ежемесячная экономия составила 16 млн. руб., а повышение полноты использования ресурса двигателей Cummins QSK-60 составило 20%.

Аналогичная комиссиянная работа по повышению качества дорожного покрытия была проведена на разрезе «Черногорский» в 2021 г. С использованием разработанного членами комиссии чек-листа в ходе комиссиянной оценки было определено существующее качество дорожного покрытия по следующим показателям:

1. Качество дорог.

1.1. Наличие колеи:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

1.2. Наличие льда/пыли:

- Траншейные автодороги – **1** балл (присутствуют участки с пылью, требующие повышенную внимательность и снижение скорости передвижения автосамосвалов);

- Забойные автодороги – **2** балла (присутствует пыль и тем самым не обеспечивается безопасное передвижение автосамосвалов);

- Отвальные автодороги – **1** балл (присутствуют участки с пылью, требующие повышенную внимательность и снижение скорости передвижения автосамосвалов).

1.3. Знаки дорожного движения:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **1** балл (1 нарушение – не читаемый знак «Схема подъезда автосамосвала под погрузку» в забое экскаватора);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

1.4. Наличие просыпей:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

2. Наличие препятствий на участке дороги (выбоины, кочки, прочие неровности):

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **1** балл (рабочая площадка экскаватора РС-4000 №34 покрыта кочками до 15% от всей площади участка);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

### 3. Технологические параметры.

#### 3.1. Высота предохранительного вала:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **6** баллов (выявлено 3 нарушения, с отклонением высоты предохранительного вала от проектных параметров более 15%);
- Отвальные автодороги – **1** балл (выявлено 1 нарушение, с отклонением высоты предохранительного вала от проектных параметров менее 15%).

#### 3.2. Ширина дороги:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **2** балла (выявлено 2 нарушения, с отклонением ширины проезжей части от проектных параметров менее 15%);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

#### 3.3. Уклон дороги.

##### 3.3.1. Продольный уклон (проектные параметры не более 8%):

- Траншейные автодороги – **1** балл (выявлено 1 нарушение, с отклонением продольного уклона от проектных параметров менее 15%);
- Забойные автодороги – **3** балла (выявлено 2 нарушения, из них с отклонением продольного уклона от проектных параметров более 15% - 1, с отклонением от проектных параметров продольного уклона менее 15% - 1);
- Отвальные автодороги – **2** балла (1 нарушение с отклонением от проектных параметров более 15%).

### 3.3.2. Поперечный уклон:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

### 3.4. Уклон виражей:

#### 3.4.1. Продольный уклон (проектные параметры не более 6%):

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **2** балла (1 нарушение с отклонением от проектных параметров продольного уклона виража более 15%);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

#### 3.4.2. Поперечный уклон:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

### 3.5. Освещенность:

- Траншейные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Забойные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено);
- Отвальные автодороги – **0** баллов (нарушений не выявлено).

## 4. Состояние КГШ.

4.1. Превышение ходимости КГШ относительно нормы – **0** баллов, средняя ходимость шин по предприятию составляет 101,4 %.

4.2. Количество повреждений КГШ относительно отработки, ед/км. – **0** баллов, удельное количество повреждений по разрезу «Черногорский» составляет 2.

5. Продолжительность простоя автосамосвалов в ремонте по причине ремонта рамы, ч/мес, 9,5 ч/мес – **0** баллов.

6. Нововведения по улучшению качества дорожного покрытия – **0** баллов, инновационное решение отсутствует.

### Примечание:

1. Длина оцениваемого участка дорог составляет **17** км.
2. Количество нарушений – **17**.



3. На момент проверки не был предоставлен акт освещенности рабочих мест.

В результате организации ежемесячной оценки состояния дорожного покрытия по разработанной методике была выявлена связь удельного расхода дизельного топлива автосамосвалов БелАЗ-75306 и качества дорожного покрытия забойных дорог на разрезе «Черногорский» (рисунок 3.8). Выявленная связь послужила основанием для обоснования экономически целесообразных инвестиций для развития дорожно-строительного участка разреза (далее ДСУ). Было обосновано, что экономически целесообразно увеличить количество единиц техники и работников ДСУ, применять более ресурсо-затратную технологию формирования и поддержания качества дорог для перевода поэтапного перевода автосамосвалов, в режимы их работы, обеспечивающие повышение полноты использования ресурса двигателей.

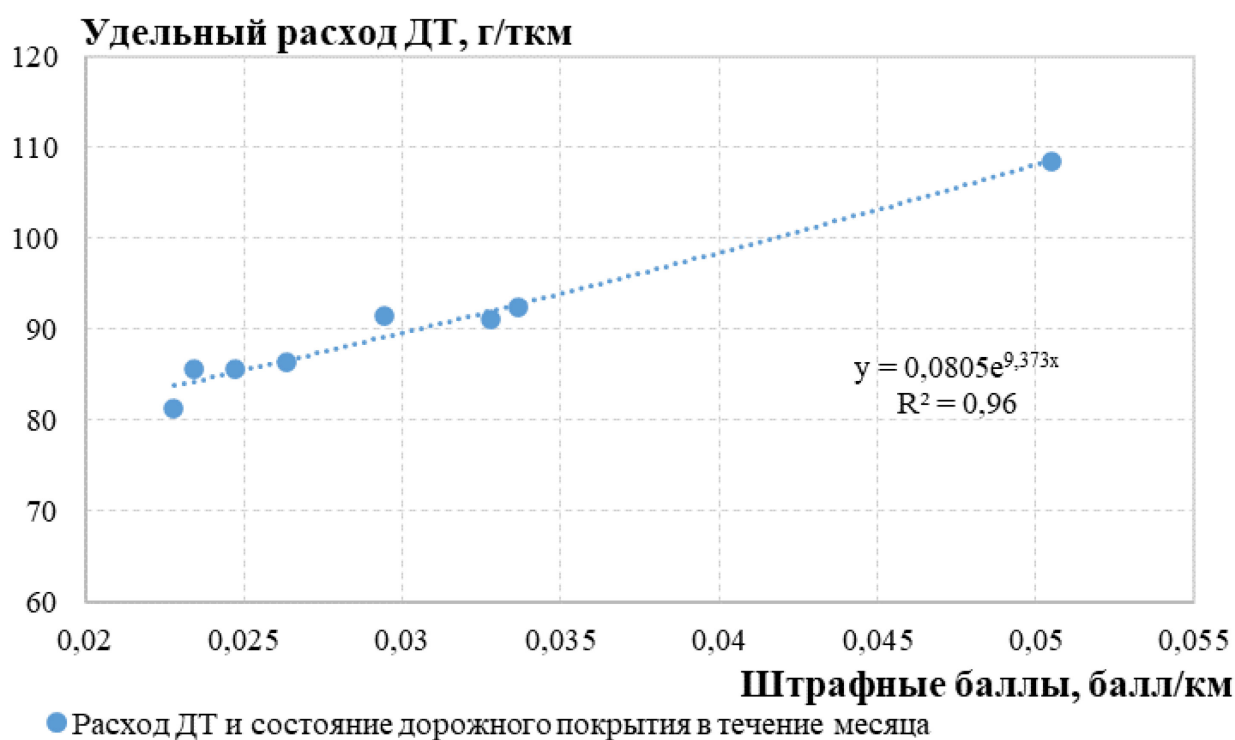


Рисунок 3.8 – Связь удельного расхода дизельного топлива автосамосвалов БелАЗ-75306 и качества дорожного покрытия забойных дорог на разрезе «Черногорский»

В результате деятельности ДСУ по повышению качества дорожного покрытия объем материала, затрачиваемый на поддержание и ремонт

технологических и забойных дорог, увеличился более чем в 1,4 раза. Организованный повышенный контроль функционирования ДСУ позволил снизить более чем в 2 раза штрафных баллов, характеризующих неудовлетворительное состояние дорог. Вместе с уменьшением расхода удельного расхода дизельного топлива на разрезе был увеличен фактический пробег крупногабаритных шин автосамосвалов в среднем на 20% [122]. Оценка экономической результативности улучшения качества дорожного покрытия дорог показала, что произведенные инвестиции окупались менее чем за год.

Таким образом, опробование методики повышения полноты использования ресурса двигателей позволило определить, что уровень квалификации водителей и качества дорожного покрытия обуславливали работу автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» в агрессивном режиме. Экономическое обоснование рационального режима работы автосамосвалов БелАЗ на разрезе «Черногорский» показало, что с учетом окупаемости инвестиций и внешней политической ситуации целесообразно планомерное освоение щадящего режима их работы. К концу первого полугодия 2025 г. работниками данного предприятия посредством оценки и повышения квалификации водителей и качества дорожного покрытия освоен реактивно-форсированный режим, что позволило повысить полноту использования ресурса двигателей этих машин и обеспечить сокращение издержек производства в размере 30 млн. руб., что подтверждается актом внедрения (Приложение Б).

### **3.3. Формирование практических рекомендаций по обеспечению результативного освоения методического инструментария**

Опробование методики повышения полноты использования ресурса двигателей автосамосвалов позволило сформировать три практические рекомендации ее результативного освоения.

1. В результате оценки результативности функционирования лабораторий по спектральному анализу отработанного масла двигателя выявлены следующие недостатки:

- основные подразделения, организующие работу автосамосвалов на линии, зачастую не знакомятся с большинством результатов проб масла, поскольку ключевым их результатом, поощряемый значительной денежной премией, является выполнения плана по перевозке горной массы;

- пробы масла берутся по наработке 500 мото-часов. За это время происходят доливы масла ( $\approx 25\%$  общего объема масла), что может исказить информацию о состоянии двигателя;

- специалисты цеха ремонта по ремонту двигателей не вправе останавливать автосамосвалы, находящиеся на линии, даже при обнаружении критического отклонения в работе двигателя;

- отсутствует алгоритм действий персонала при обнаружении предотказного состояния двигателя.

В связи с этим целесообразно:

- вменить ответственность за техническое состояние двигателя работникам подразделений, организующих работу автосамосвалов на линии;

- организовать пробу масла при наработке двигателей 250 мото-часов;

- наделить специалистов цеха по ремонту двигателей полномочиями останавливать автосамосвалы, находящихся на линии, при обнаружении критического состояния двигателя;

- разработать алгоритм действий персонала при обнаружении предотказного состояния двигателя, позволяющего не допускать снижение полноты использования его ресурса.

2. Оценка результативности ремонтных подразделений, осуществляющих восстановление работоспособности двигателей автосамосвалов, на ряде горнодобывающих предприятий позволила выявить особенности осуществления этого процесса, а также «отрицательные» и «положительные» стороны этих особенностей (таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Оценка результативности процесса восстановления работоспособности двигателей автосамосвалов

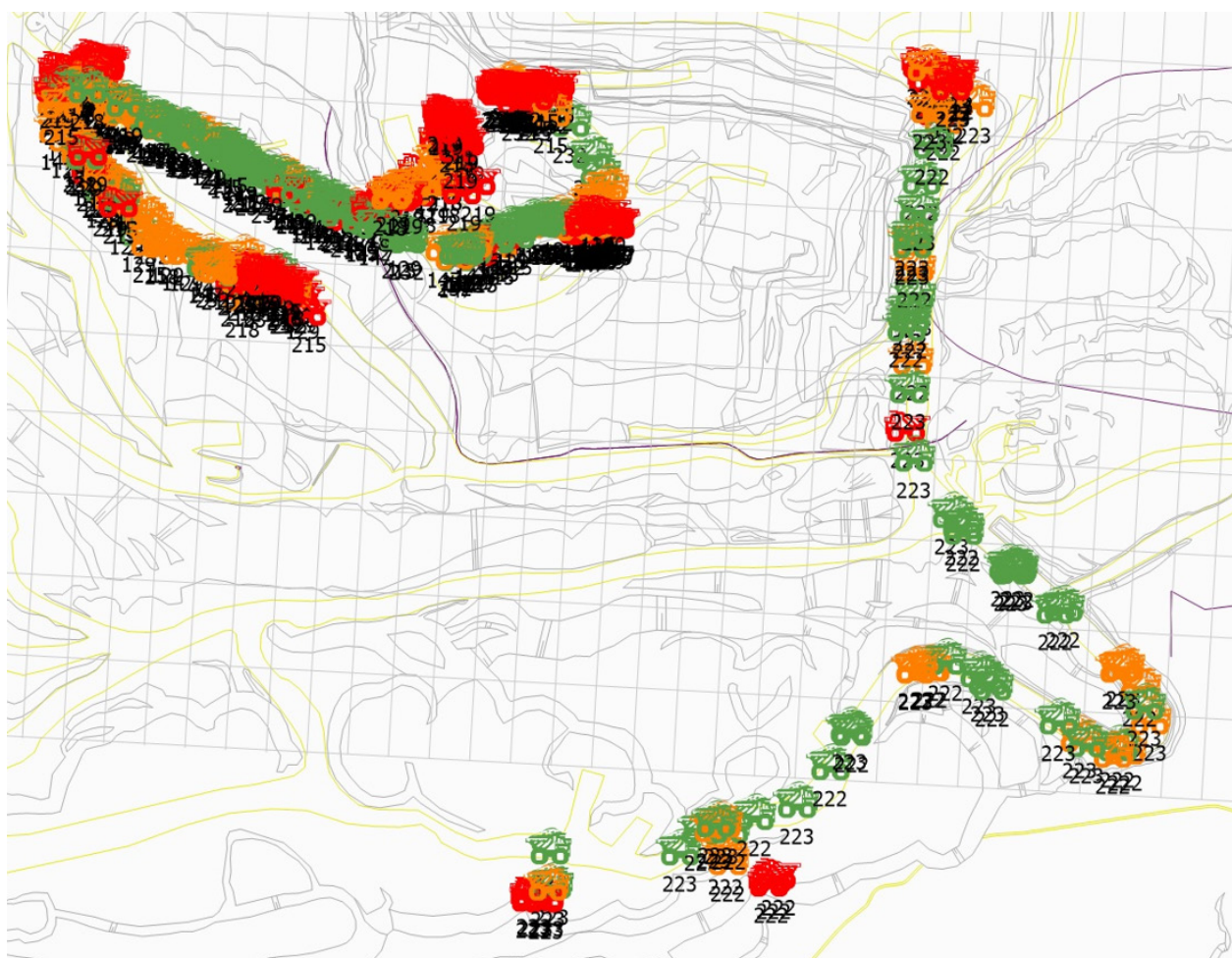
«Отрицательная» сторона	Особенность	«Положительная» сторона
Специалисты ЦРТА не несут ответственность за выход из строя двигателя	Демонтаж двигателя осуществляется специалистами ЦРТА	Высокая скорость демонтажа и монтажа двигателя
-	Ремонт двигателя осуществляется по результатам дефектовки	Более точное информирование о фактическом техническом состоянии двигателя после работы на линии
-	Замена гильз и поршней на новые без замера	Снижение риска выхода из строя двигателя по причине неисправности гильз и поршней
-	При обкатке двигателя заправляется моторным маслом, которое сдается в лабораторию	Более точное информирование о фактическом техническом состоянии двигателя после обкатки на стенде
Недостаточная первоначальная приработка деталей отремонтированного двигателя перед монтажом на автосамосвал	Обкатка двигателя длится 2 дня (без нагрузки и при ступенчатом нагружении)	Минимальная продолжительность обкатки готового к работе двигателя
Перенапряжение отремонтированного двигателя на стадии приработки во время эксплуатации	Не происходит отслеживание работы двигателя на стадии приработки	

Проработка возможностей улучшения процесса восстановления работоспособности двигателей автосамосвалов с учетом выявленных «отрицательных» и «положительных» сторон особенностей осуществления этого процесса позволила определить целесообразность формирования системы учета и оплаты труда заработной платы специалистов, занятых ремонтами двигателей, основанную на реальной функциональной взаимосвязи между результатами их работы и величиной заработной платы. Система учета и оплаты результатов труда работников предприятия, основанная на реальной функциональной взаимосвязи

между результатами их работы и величиной заработной платы, является одним из ключевых инструментов, позволяющих эффективно использовать оборудование предприятия.

3. Организация осуществления оценки качества дорожного покрытия по разработанной методике на нескольких предприятиях показала, что этот процесс довольно трудозатратный и требует вмешательства в производственный процесс. В связи с этим рекомендуется с использованием специализированного программного обеспечения организовать оценку качества дорожного покрытия посредством непрерывного определения скорости движения автосамосвалов на всех участках дорог. На рисунках 3.9 а, б представлен пример такой оценки, где представлены участки дорог неудовлетворительного качества – выделены красным цветом, участки с приемлемым качеством – желтый цвет и участки с удовлетворительным качеством – зеленый цвет.

а) Абаканский разрез





## б) разрез «Черногорский»

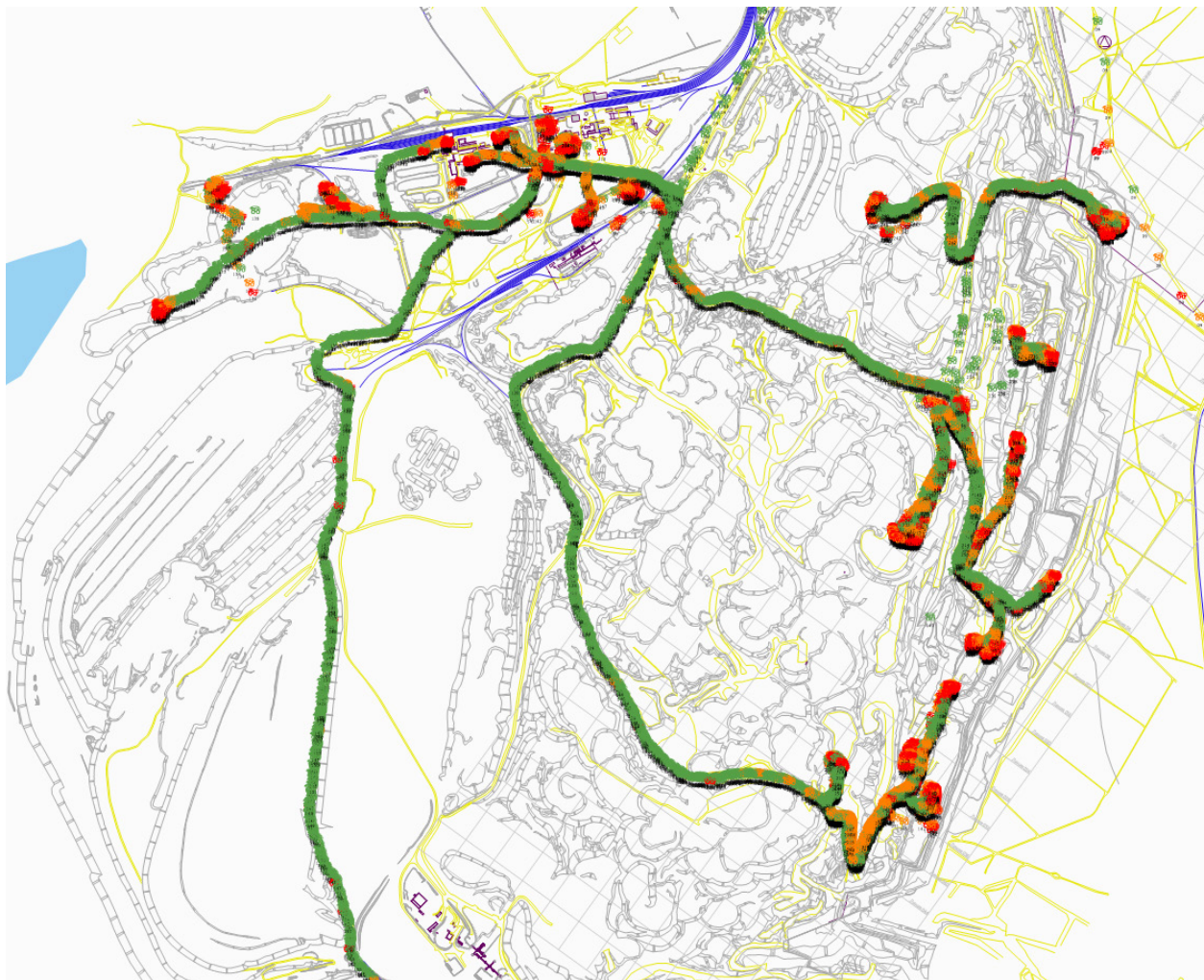


Рисунок 3.9 а, б – Оценка качества дорожного покрытия посредством определения скорости движения автосамосвалов

Таким образом, предложены три практических рекомендации по обеспечению результативного освоения разработанной методики повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, которые направлены на: организацию более оперативного реагирования на результаты спектрального анализа масла двигателей при обнаружении предпосылок его разрушения; улучшение результативности персонала, занятого восстановлением работоспособности двигателей; обеспечение непрерывной оценки качества дорожного покрытия.

### **Вывод по главе 3**

На основании проведенного исследования можно сформулировать следующие выводы:

1. Разработана методика повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, включающая в себя разработанный критерий скорости накопления частиц железа в отработанном масле, способ выявления фактического режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов по полноте использования ресурса их двигателей и по удельному расходу дизельного топлива в 95-ом и 5-ом процентилях, а также подход к обоснованию рационального режима работы автосамосвала.

2. Опробование разработанной методики подтвердило ее результативность высокой сходимостью теоретических и практических результатов, а также положительным изменением в производственной деятельности на разрезе «Черногорский», что позволило повысить полноту использования ресурса двигателей автосамосвалов БелАЗ-75306 и обеспечить сокращение издержек производства в размере 30 млн. руб., что подтверждается актом внедрения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертации, являющейся научно-квалификационной работой, изложены новые научно обоснованные технологические и организационные решения повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов на основе совершенствования режима их работы, что имеет существенное значение для развития горнодобывающей отрасли страны.

**Основные выводы, научные и практические результаты работы, полученные лично автором, заключаются в следующем:**

1. Эксплуатация большегрузных карьерных автосамосвалов на угледобывающих предприятиях России характеризуется тем, что в условиях одного предприятия при едином стандарте проведения технического обслуживания и сопоставимом качестве горюче-смазочных материалов ресурс однотипных двигателей до первого капитального ремонта различается до 3 раз, между первым и вторым капитальными ремонтами – более чем в 20 раз, между вторым и третьим – более чем в 30 раз. В связи с этим проведение исследования влияния эксплуатационных факторов на величину ресурса двигателей автосамосвалов явилось необходимым и своевременным.

2. Определены четыре режима работы большегрузных карьерных автосамосвалов, обусловленные определенным сочетанием уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия. Для каждого режима работы автосамосвала выявлены характерные значения удельного расхода топлива в 95-ом процентиле: при щадящем режиме расход превышает нормативное значение в среднем в 1,8-2,0 раза, при активно-форсированном – 1,9-2,3 раза, при реактивно-форсированном – 2,2-2,5 раза, при агрессивном – 2,5-2,9 раза. Выявлена связь между полнотой использования ресурса двигателей и режимами работы большегрузных карьерных автосамосвалов, характеризующаяся экспоненциальной функцией с корреляционным отношением -0,87.

3. Обобщение результатов факторного анализа химмотологических показателей отработанного масла двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, проведенного на ряде угледобывающих предприятий, и



исследования выявленной связи между полнотой использования ресурса двигателей и режимами работы автосамосвалов позволило обосновать, что прогнозирование наступления предельного состояния двигателей необходимо осуществлять с помощью разработанного критерия скорости накопления частиц железа в отработанном масле.

4. Применение критерия скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателей показало, что при работе автосамосвалов в сопоставимых горно-геологических и климатических условиях рабочей среды величина скорости накопления может варьироваться до 12 раз и обуславливать изменение ресурса двигателей до наступления предельного состояния до 20 раз.

5. Разработана методика повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов, основанная на обосновании рационального режима работы этих машин, определении целевого удельного расхода топлива одновременно в 95-ом и 5-ом процентилях и освоении необходимого сочетания уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия.

6. Апробация разработанной методики на угледобывающих предприятиях показала, что рациональный режим работы автосамосвалов определяется горно-геологическими и климатическими условиями рабочей среды, экономикой и стратегией развития предприятия и обосновывается экономически целесообразным соотношением затрат на повышение полноты использования ресурса двигателей к стоимости владения двигателями.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Coal 2023. Analysis and forecast to 2026. – Paris : International Energy Agency, 2023. – 151 p.
2. Statistical Review of World Energy 2020. 69th edition. – London : BP plc, 2020. – 66 p.
3. Об отрасли [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации. – URL: <https://minenergo.gov.ru/industries/coal/about> (дата обращения: 28.03.2024).
4. Сальникова Е. Б. Угольная промышленность России в условиях ориентации на углеродно-нейтральную экономику / Е. Б. Сальникова, М. Н. Гринева // Universum: экономика и юриспруденция. – 2022. – № 1(88). – С. 16–19. – EDN CUMTOF.
5. «ПОРОЖНЯК НЕ ГОНИМ». Экспертное резюме / N. TRANS LAB. – 2024. – 63 с.
6. Троицкая Р. А. Управление экономическими показателями горнодобывающих предприятий (на примере ОП "Шахта "Северная") // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, Москва, 23–24 ноября 2017 года. – Москва: Перо, 2017. – С. 222–226. – EDN SNBUBN.
7. Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 23-24 ноября 2017 года. – Москва: Перо, 2017. – 584 с. – ISBN 978-5-00122-095-4. – EDN VPGJRP.
8. Красная А. С. Методические подходы к экономическому обоснованию стратегических показателей горнодобывающих предприятий в структуре горно-металлургических компаний // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S2-6. – С. 14–23. – EDN SCHKCZ.
9. Гумилевский А. С. Методические подходы к экономическому обоснованию стратегических показателей горнодобывающих предприятий в

структуре горно-металлургических компаний / А. С. Гумилевский, А. В. Полуторный // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1. – С. 173–179. – EDN TJLJKL.

10. Стрекалов С. В. О влиянии факторов внешней среды на деятельность угледобывающих предприятий / С. В. Стрекалов, Т. В. Петрова // Актуальные проблемы экономики и управления в XXI веке: сб. науч. ст. II междунар. науч.-практ. конф., Новокузнецк, 30–31 марта 2016 года. Том. Часть 1. – Новокузнецк: СибГИУ, 2016. – С. 42–48. – EDN XDKNEV.

11. Самаруха В. И. Особенности выбора стратегии развития угледобывающих предприятий в условиях неопределенности / В. И. Самаруха, Т. Г. Краснова, А. Н. Дулесов // Экономика и предпринимательство. – 2022. – № 11(148). – С. 1335–1340. – DOI 10.34925/EIP.2022.148.11.265. – EDN OBYRHW.

12. Белозерцев О. В. Методический подход к стратегическому управлению угледобывающими предприятиями // Экономика. Менеджмент. Инновации. – 2016. – № 4(4). – С. 43–54. – EDN DDHOYT.

13. Елсукова К. С. Управление рисками для повышения экономического потенциала предприятия / К. С. Елсукова, О. П. Черникова // Теория и практика современной науки. – 2016. – № 12(18). – С. 411–415. – EDN XWVZNF.

14. Плаkitкина Л. С. Современные тренды и прогнозы развития добычи и экспорта угля в мире и России в условиях трансформации мировой экономики / Л. С. Плаkitкина, Ю. А. Плаkitкин, К. И. Дьяченко. – Москва: ИНЭИ РАН, 2025. – 98 с. – ISBN 978-5-91438-043-1. – EDN RPZQTG.

15. Динамика добычи угля в России в 2023 году [Электронный ресурс] // Tadviser. – 2023. – URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Добыча\\_угля\\_в\\_России](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Добыча_угля_в_России) (дата обращения: 17.04.2025).

16. Росстат: «Сальдированный убыток российских угольщиков в 2024 году составил Р112,6 млрд»: новость [Электронный ресурс] // Переток.ру. – 2024. – URL: <https://peretok.ru/news/tek/28627/> (дата обращения: 15.09.2025).

17. Хажиев, В. А. Методический подход к оценке эффективности системы эксплуатации оборудования технологического комплекса горного предприятия / В. А. Хажиев // Горное оборудование и электромеханика. – 2022. – № 2(160). – С. 14–21. – DOI 10.26730/1816-4528-2022-2-14-21. – EDN GYGVGD.
18. Задорожная Е. А. Обзор структуры внезапных выходов из строя узлов трения автосамосвалов "БЕЛАЗ" на разрезе "Черногорский" / Е. А. Задорожная, С. П. Маслюков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. – 2022. – Т. 22, № 2. – С. 64–73. – DOI 10.14529/engin220206. – EDN KLQWDO.
19. Сухарьков, И. Н. Формирование конкурентоспособного технического сервиса обеспечения работоспособности горнотранспортного оборудования : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Москва, 2018. – 139 с.
20. Совещание руководителей автотранспортных подразделений АО "СУЭК" / А. Б. Исайченков, А. С. Довженок, А. А. Степанов [и др.] // Уголь. – 2020. – № 3(1128). – С. 38–42. – DOI 10.18796/0041-5790-2020-3-38-42. – EDN ZXYUQY.
21. Жунда, С. В. Организация обеспечения безопасности производственных процессов угольного разреза в условиях увеличения мощности горнотранспортного оборудования : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Екатеринбург, 2019. – 192 с.
22. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1990-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – 35 с.
23. Проскорякова Ю. А. Анализ факторов, влияющих на срок службы строительных и дорожных машин / Ю. А. Проскорякова, А. Е. Хачкина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2024. – № 12. – С. 614–617. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-12-614-615. – EDN IKNTSQ.
24. Методический подход к повышению эффективности использования ресурса двигателя Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 на примере разреза "Черногорский" / С. В. Канзычаков, В. А. Азев, В. А. Хажиев [и др.] // Уголь. – 2024. – № 11(1186). – С. 87–93. – DOI 10.18796/0041-5790-2024-11-87-93. – EDN OHJCEP.

25. Хазин, М. Л. Обоснование и выбор конструктивно-технологических параметров электронной аппаратуры управления в горной промышленности : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.07, 05.13.05. – Екатеринбург, 2000. – 40 с. – EDN NJNGCL.
26. Фефелов, Е. В. Обоснование критерия эффективности эксплуатации силовых установок автосамосвалов на глубоких карьерах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22. – Екатеринбург, 2012. – 23 с. – EDN QIDJCL.
27. Довженок, А. С. Развитие теории и методов управления автотранспортной системой горнодобывающего предприятия : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01. – Санкт-Петербург, 2002. – 229 с. – EDN QDWEJF.
28. Кузнецов, С. Р. Обоснование рациональной скорости движения карьерных автосамосвалов в режиме топливной экономичности на основе оптимизации тягово-скоростных характеристик двигателя : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Санкт-Петербург, 2014. – 20 с. – EDN ZPMAQV.
29. Гомбожав, М. Повышение эффективности применения моторных масел для дизельных двигателей карьерных автосамосвалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.17.07. – Москва, 2003. – 25 с. – EDN NHKAXL.
30. Кудреватых, А. В. Обоснование методов и параметров диагностирования редукторов экскаваторно-автомобильных комплексов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Кемерово, 2010. – 17 с. – EDN QHCFIL.
31. Галкин, В. А. Исследование коммуникаций для автомобильного транспорта вскрышных пород на карьерах цветной металлургии : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.03. – Свердловск, 1979. – 25 с.
32. Вохмин, Д. М. Влияние режимов работы автомобилей на надежность топливной аппаратуры дизельных двигателей : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. – Тюмень, 2005. – 212 с. – EDN NNPКСВ.
33. Паначев И. А. Предельно-допускаемые параметры условий эксплуатации большегрузных автосамосвалов по критерию эффективности работы двигателя / И. А. Паначев, И. В. Кузнецов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2015. – № 1(107). – С. 34–38. – EDN YJUUSX.

34. Глебов А. В. О необходимости совершенствования методики выбора оборудования экскаваторно-автомобильных комплексов в условиях повышенной конкуренции // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2025. – № 1. – С. 365–378. – EDN DKITNI.
35. Глебов А. В. Оценка влияния конструктивных параметров кузова самосвала на эффективность бульдозерных работ на отвале // Горный журнал. – 2024. – № 4. – С. 63–69. – DOI 10.17580/gzh.2024.04.09. – EDN TPQFSI.
36. Глебов А. В. Некоторые аспекты методологии адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы карьера // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 1-1. – С. 158–172. – DOI 10.46689/2218-5194-2023-1-1-158-172. – EDN WSZDYM.
37. Глебов А. В. Управление процессом адаптации автомобильно-конвейерного транспорта к развивающемуся карьерному пространству // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2023. – № 4. – С. 387–399. – EDN SOMITA.
38. Глебов А. В. К вопросу импортонезависимости на примере производства шарнирно-сочлененных самосвалов для освоения месторождений твердых полезных ископаемых // Проблемы недропользования. – 2023. – № 3(38). – С. 68–78. – DOI 10.25635/2313-1586.2023.03.068. – EDN ERZZRB.
39. Глебов А. В. Концепция методологии взаимной адаптации автомобильно-конвейерного транспорта и развивающейся горнотехнической системы карьера // Горная промышленность. – 2022. – № S1. – С. 78–85. – DOI 10.30686/1609-9192-2022-1S-78-85. – EDN NFUMJP.
40. Савин, Л. О. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта двигателей автомобильного транспорта при эксплуатации : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10. – 2022. – 155 с. – EDN JORCPS.
41. Дадонов М. В. К вопросу применения принципов бережливого производства в процессе ремонта двигателей карьерных автосамосвалов на базе ООО "Белтранс" / М. В. Дадонов, А. В. Кудреватых, А. С. Ащеулов // Вестник

Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 2(144). – С. 18–22. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-2-18-22. – EDN NYXPMV.

42. Хажиев, В. А. Методологические основы развития системы эксплуатации комплекса технологического горного оборудования предприятия с открытым способом разработки месторождения : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.06. – 2023. – 368 с. – EDN HZRAXV.

43. Выявление причины разрушения двухкомпонентного поршня двигателя газодизельного карьерного автосамосвала / Г. М. Дубов, А. Р. Богомолов, Е. Ю. Темникова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2022. – № 6. – С. 53–63. – DOI 10.21440/0536-1028-2022-6-53-63. – EDN KGZVLT.

44. Федин, Н. А. Надежность и прогнозирование ресурса двигателей по диагностической информации : [депонированная рукопись] / Н. А. Федин, Т. Г. Федина. – М. : ВИНТИ РАН, 2010. – 145 с.

45. Оценка изменения вязкости моторного масла в процессе эксплуатации дизелей / В. В. Остриков, С. Н. Сазонов, В. В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь. – 2019. – Т. 14, № 4(92). – С. 480–489. – DOI 10.26088/INOV.2019.92.30217. – EDN CZWJGM.

46. Интегральные параметры для оценки технического состояния авиационных двигателей по результатам сцинтилляционного анализа проб масла / Г. В. Берестевич, В. Г. Дроков, А. Е. Калошин [и др.] // Контроль. Диагностика. – 2008. – № 6. – С. 62–73. – EDN JTDYZT.

47. Моторные масла // Большая Советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М. : Сов. энциклопедия, 1974. – Т. XVII. – С. 63–64.

48. Ревякин М. М. Реализация назначенного ресурса двигателя путем контроля условий эксплуатации по параметру удельного химмотологического показателя моторного масла // Агротехника и энергообеспечение. – 2017. – № 2(15). – С. 62–67. – EDN ZFNETX.

49. Исследование и анализ морфологии и состава продуктов износа в работающем моторном масле судовых дизелей / М. Е. Старченко, А. В. Надежкин,

И. В. Соколова, А. В. Голенищев // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 4-3(54). – С. 86–92. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.093. – EDN MLGXJG.

50. Керученко Л. С. Использование статистических методов для оценки предельного содержания продуктов износа в моторных маслах / Л. С. Керученко, Е. И. Мальцева // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2016. – № 1(21). – С. 255–260. – EDN VVQHVX.

51. Глущенко А. А. Диагностирование двигателя по содержанию продуктов износа в картерном масле / А. А. Глущенко, Р. А. Зейнетдинов, И. С. Вайчик // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 41. – С. 241–244. – EDN VVCWNF.

52. Гладцын А. Ю. Влияние отбора проб на точность диагностирования двигателя по маслу // Вестник НГИЭИ. – 2014. – № 6(37). – С. 45–50. – EDN SUDQED.

53. Власов Ю.А. Стенд для испытания работоспособности системы смазки силовых агрегатов транспортных и самоходных машин / Ю. А. Власов, Т. Е. Алушкин, М. Ю. Мещеряков // Научные основы развития АПК : Сборник научных трудов по материалам XXII Всероссийской (национальной) научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Томск, 15 мая – 15 2020 года. – Томск: Издательский центр "Золотой колос", 2020. – С. 88-91. – EDN UCZGVM.

54. Повышение эффективности использования машинно-тракторных агрегатов путём применения водной инъекции во впускной коллектор двигателя / А. В. Старцев, С. В. Романов, И. И. Сторожев, Т. Е. Алушкин // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2021. – № 2(88). – С. 109-113. – EDN IFOOJY.

55. Алушкин, Т. Е. Прибор для оценки технического состояния системы смазки силовых агрегатов машин / Т. Е. Алушкин, А. В. Зубрицкий, М. Ю. Мещеряков // Машиностроение: новые концепции и технологии : Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 22 октября 2021 года. – Красноярск: Федеральное государственное



бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 10-14. – EDN VBDLWZ.

56. Алушкин, Т. Е. Результаты технического диагностирования системы фильтрации масла тракторного двигателя / Т. Е. Алушкин, М. Ю. Мещеряков // Аграрная наука - сельскому хозяйству : Сборник материалов XVIII Международной научно-практической конференции. В 2-х книгах, Барнаул, 09 февраля 2023 года – 10 2023 года. Том Книга 1. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2023. – С. 103-105. – EDN PXYOHY.

57. Гладнев, М. Д. Результаты определения коэффициента наплавки при восстановлении деталей / М. Д. Гладнев, Т. Е. Алушкин // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике : Материалы XXI Международной научно-практической конференции, Кемерово, 07–08 декабря 2022 года. – Кемерово: Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 2022. – С. 587-591. – EDN YAWYLE.

58. Мещеряков, М. Ю. Результаты стендовых испытаний двигателя д-144 с модернизированной топливной аппаратурой / М. Ю. Мещеряков, Т. Е. Алушкин // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования : Материалы XV международной научно-практической конференции, посвященной памяти доцента М.А. Анфиногенова, Новосибирск, 09–11 ноября 2023 года. – Новосибирск: Издательский центр НГАУ "Золотой колос", 2023. – С. 119-122. – EDN QZBKKZ.

59. Алушкин, Т. Е. Обеспечение работоспособного состояния тракторного парка внедрением системы анализа данных по безотказности и долговечности / Т. Е. Алушкин, М. Ю. Мещеряков // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03–04 октября 2024 года. – Иркутский: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 13-18. – EDN YFWCZG.

60. Анализ причин возникновения аварийных отказов дизельных силовых установок карьерных самосвалов БЕЛАЗ / А. В. Зубрицкий, Т. Е. Алушкин, З. А. Абдуллаева [и др.] // Современные проблемы машиностроения : Сборник статей XVII Международной научно-технической конференции, Томск, 25–29 ноября 2024 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 525-527. – EDN MUXFBL.

61. Власов, Ю. А. Методы диагностики двигателей тракторов и самоходных машин по параметрам картерных газов / Ю. А. Власов, Е. Н. Спирин, Т. Е. Алушкин // Современные проблемы машиностроения : Сборник статей XVII Международной научно-технической конференции, Томск, 25–29 ноября 2024 года. – Томск: Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2024. – С. 528-529. – EDN ITMEVL.

62. Грядунов, К. И. Метод обеспечения достоверности диагностирования авиационных двигателей по содержанию металлов в маслах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.14. – Москва, 2016. – 22 с. – EDN ZPYXHT.

63. Стенина, Н. А. Влияние условий эксплуатации на температурный режим редукторов мотор-колес карьерных автосамосвалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Кемерово, 2013. – 18 с. – EDN SVHGVV.

64. Задорожная, Е. А. Динамика и смазка неньютоновскими жидкостями сложнонагруженных трибосопряжений поршневых и роторных машин : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Задорожная Елена Анатольевна, 2013. – 358 с. – EDN LDLYCR.

65. Маслюков С. П. Оценка режима работы автосамосвалов БелАЗ по критерию эффективности использования ресурса их двигателя внутреннего // Горное оборудование и электромеханика. – 2025. – № 3(179). – С. 91–96. – DOI 10.26730/1816-4528-2025-3-91-96. – EDN WYJNOI.

66. Оценка равномерности постановки на техническое обслуживание автосамосвалов БелАЗ разреза «Черногорский» / Е. А. Вакулин, В. А. Ивашкевич, Е. И. Гнищак, В. С. Байкин, С. П. Маслюков // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № 12

(специальный выпуск 64). – С. 127–133. – DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-64-127-133. – EDN ZCLEPJ.

67. Байкин В. С. Возможности совершенствования систем учета технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий с использованием расчетов безотказности оборудования (на примере автосамосвалов разреза «Черногорский») / В. С. Байкин, В. Ю. Натейкин, С. П. Маслюков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение». – 2023. – Т. 23, № 3. – С. 17–26. – DOI 10.14529/engin230302. – EDN JWEPU.

68. Мониторинг и совершенствование организации ремонтного обслуживания карьерных автосамосвалов БелАЗ-7513 и БелАЗ-75306 на разрезе «Черногорский» / В. А. Хажиев, В. С. Байкин, В. А. Хакимьянов, С. П. Маслюков // Современные проблемы транспортного комплекса России. – 2020. – Т. 10, № 1. – С. 25–31.

69. Меджидов, М. А. Зависимость внеплановых ремонтов от периодичности проведения ТО и ремонта карьерных автосамосвалов / М. А. Меджидов, В. А. Васильев // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (государственного технического университета). – 2007. – № 3(10). – С. 22-26. – EDN JVFAH.

70. Квагинидзе, В. С. Эффективность системы технических обслуживаний и ремонтов большегрузных карьерных автосамосвалов, эксплуатирующихся в условиях Севера / В. С. Квагинидзе, Н. А. Корецкая // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № S5. – С. 198-217. – EDN ONBWCH.

71. Способ и устройство для экспресс-анализа состояния и качества моторных масел / А. Е. Ломовских, И. С. Армянинов, О. Е. Прилепин, Т. Р. Маматказин // Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 24–25 ноября 2020 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2020. – С. 85-89. – EDN RIPJQW.

72. Мяло О. В. Экспериментальное исследование вида нейтрализатора щелочности при диагностике высокощелочных моторных масел способом «капельной пробы» / О. В. Мяло, Е. К. Колосович // Каталог научных и инновационных исследований ФГБОУ ВО Омский ГАУ: сб. материалов по итогам науч.-исслед. деятельности. – Омск: Омский ГАУ, 2022. – С. 768–771. – EDN DHNSAO.

73. Козлов Д. А. Диагностика двигателей по состоянию масла, как способ повышения надежности военной автомобильной техники // Мавлютовские чтения: материалы XVIII Всерос. молодёж. науч. конф.: в 9 т. Уфа, 25–29 ноября 2024 года. – Уфа: УУНиТ, 2024. – С. 92–99. – EDN YSEEDD.

74. Панфилов Д. Д. Современные способы снижения трения кинематических парах ДВС оценка их эффективности / Д. Д. Панфилов, А. А. Павлов // Шестьдесят девятая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сб. материалов конф. Электронное издание. Ярославль, 20 апреля 2016 года. – Ярославль: ЯГТУ, 2016. – С. 1249–1253. – EDN WFWVEZ.

75. Результаты исследований по комплексному повышению эффективности очистки моторного масла в судовых форсированных дизелях / Л. А. Семенюк, Г. П. Кича, М. И. Тарасов, Н. С. Молоков // Проблемы транспорта Дальнего Востока. Доклады научно-практической конференции. – 2019. – Т. 1. – С. 135–137. – EDN FJADQE.

76. Некрасов Ю. Г. Некоторые аспекты комплексной технологии упрочнения поверхности элементов газораспределительного механизма двигателя / Ю. Г. Некрасов, Н. В. Шмаков, О. А. Елисеева // Механики XXI века. – 2016. – № 15. – С. 244–247. – EDN WBEQXN.

77. Контроль технического состояния двигателя по давлению в системе смазки автомобилей КАМАЗ / В. В. Лянденбургский, А. Т. Кулаков, К. З. Кухмазов, В. В. Коновалов // Нива Поволжья. – 2022. – № 4(64). – С. 3001. – DOI 10.36461/NP.2022.64.4.003. – EDN CSRVKP.

78. Белик А. А. Математическая модель выбора моторного масла по текущему техническому состоянию двигателя, определяемого по спектральному анализу работающего масла / А. А. Белик, В. Б. Ломухин, И. В. Лаптева // Национальная Ассоциация Ученых. – 2016. – № 8(24). – С. 35–37. – EDN XCRIDB.

79. Минаков В. А. Анализ работоспособности деталей КШМ и ЦПГ по результатам спектрального анализа масла методом теории нейронных сетей / В. А. Минаков, А. В. Ардашев // Повышение эффективности использования и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов: межвуз. темат. сб. науч. трудов. – Омск: ОмГУПС, 2014. – С. 77–81. – EDN SHZLTJ.

80. Анализ эксплуатационных испытаний системы диагностирования тепловозных дизелей по результатам спектрального анализа картерного масла / С. М. Овчаренко, Е. И. Сковородников, В. В. Стрекопытов [и др.] // Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов: межвуз. темат. сб. науч. трудов. – Омск: ОмГАПС, 1994. – С. 26–29. – EDN XSIFYD.

81. Филина О. А. Спектральный анализ масла / О. А. Филина, Д. Р. Галиуллин, А. Р. Гараева // ИННОВАЦИИ, ТЕХНОЛОГИИ, НАУКА: сб. ст. междунар. науч.-практ. конф.: в 4 ч. Пермь, 25 января 2017 года. Том. Часть 3. – Пермь: Аэтерна, 2017. – С. 187–188. – EDN XRGURL.

82. Методика диагностики технического состояния редуктора мотор-колеса автосамосвалов БЕЛАЗ / Ю. А. Плютов, В. Р. Воронин, Н. А. Цимбалюк, В. И. Деннер // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 02–03 апреля 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2020. – С. 359–360. – EDN QAPQLS.

83. Борисенко, А. Н. К вопросу о совершенствовании регламентов технического обслуживания и планово-предупредительных ремонтов карьерных автосамосвалов в ООО "СУЭК-Хакасия" / А. Н. Борисенко, А. В. Олейников, М. Н.

Семенов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 6. – С. 104-119. – DOI 10.25018/0236\_1493\_2021\_6\_0\_104. – EDN OLPSHD.

84. Овчаренко, С. М. Совершенствование технологии оценки технического состояния тепловозных дизелей с использованием результатов спектрального анализа картерного масла : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07. – Омск, 1991. – 25 с. – EDN VDSFJX.

85. Синявский Н. Я. Анализ частиц продуктов износа в отработанных судовых моторных маслах / Н. Я. Синявский, А. М. Иванов, Н. А. Кострикова // Морские интеллектуальные технологии. – 2021. – № 4-4(54). – С. 44–48. – DOI 10.37220/MIT.2021.54.4.005. – EDN TCJBCK.

86. Корректирование сроков замены моторных масел при эксплуатации техники в условиях холодного климата на ОАО "Сургутнефтегаз" / С. В. Корнеев, Н. В. Дорошенко, И. И. Ширлин [и др.] // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2009. – № 1(11). – С. 17–21. – EDN PBOIKL.

87. Бочкарев Ю. С. Оценка безотказности автосамосвалов БЕЛАЗ-7540 при освоении запасов россыпных месторождений Севера / Ю. С. Бочкарев, М. М. Бояров // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – № 1(147). – С. 10–15. – DOI 10.26730/1816-4528-2020-1-10-15. – EDN YGHZHT.

88. Арефьев, С. А. Оценка и обоснование рациональных дорожных условий эксплуатации карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.22. – Екатеринбург, 2015. – 179 с.

89. Захаров Н. С. Факторы, влияющие на надежность автомобилей-самосвалов при работе в условиях Западной Сибири / Н. С. Захаров, А. Акжол Уулу, С. А. Теньковская // Транспортное дело России. – 2018. – № 4. – С. 130–132.

90. Анистратов К. Ю. Исследование закономерностей изменения показателей работы карьерных самосвалов в течение срока их эксплуатации / К. Ю. Анистратов, М. С. Градусов, В. Я. Стремилев, М. В. Тетерин // Горная Промышленность. – 2006. – № 2. – С. 68–71.

91. Энергетический метод оценки и систематизации условий эксплуатации карьерного автотранспорта / Ю. И. Лель, И. А. Глебов, О. В. Мусихина [и др.] // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2020. – № 8. – С. 14–25. – DOI 10.21440/0536-1028-2020-8-14-25.
92. Александров В. И. Эффективная мощность и скорость движения карьерных автосамосвалов в режиме топливной экономичности / В. И. Александров, М. А. Васильева, В. Ю. Коптев // Записки Горного института. – 2019. – Т. 239. – С. 556–563. – DOI 10.31897/PMI.2019.5.556.
93. Методика нормирования периодичности ремонта основных узлов карьерных самосвалов по расходу топлива / И. В. Зырянов, Г. К. Золотухин, А. П. Кондратюк, С. В. Решетников, А. И. Цымбалова // Горный журнал. – 2012. – № 12. – С. 48–51.
94. Котович, С. В. Двигатели специальных транспортных средств. Часть I: учебное пособие. – М. : МАДИ (ГТУ), 2008. – 161 с.
95. Ушаков Ю. Ю. Исследование эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов / Ю. Ю. Ушаков, Л. И. Андреева // Известия Уральского государственного горного университета. – 2016. – № 3(43). – С. 74–77.
96. Глебов А. В. Определение предельных сроков эксплуатации карьерных самосвалов / А. В. Глебов, Г. Д. Кармаев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 1. – С. 50–61.
97. Андреева Л. И. Подход к оценке эффективности системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов / Л. И. Андреева, Ю. Ю. Ушаков // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. – 2018. – № 1(1417). – С. 97–102.
98. Ушаков, Ю. Ю. Обоснование параметров системы технического обслуживания и ремонта карьерных автосамосвалов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.05.06. – Екатеринбург, 2017. – 19 с.
99. Александров В. И. Оптимизация удельного расхода топлива карьерных автосамосвалов на основе геотехнологических условий / В. И. Александров, С. Р.

Кузнецов // Естественные и технические науки. – 2013. – № 6(68). – С. 250–255. – EDN RRRELX.

100. Методика статистического анализа удельного расхода дизельного топлива в процессе транспортирования горной массы автосамосвалами на предприятиях открытого способа добычи угля / А. А. Гартман, Ю. Г. Андреев, А. Ю. Горбунов, С. И. Захаров // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2022. – № 5(153). – С. 72–80. – DOI 10.26730/1999-4125-2022-5-72-80. – EDN OERBKO.

101. Расчет удельных норм расхода дизельного топлива технологическими автосамосвалами в карьере / Н. В. Мартынов, Д. Х. Ильбульдин, А. Ганзориг, Д. А. Шлохин // Уральская горная школа - регионам: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 11–12 апреля 2016 года. – Екатеринбург: УГГУ, 2016. – С. 415–416. – EDN XBVBJT.

102. Совершенствование нормирования расхода топлива карьерными автосамосвалами на основе горизонтальных эквивалентов вертикального перемещения горной массы / Ю. И. Лель, Р. Г. Салахияев, С. А. Арефьев, И. Н. Сандригайло // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2014. – № 2. – С. 107–115. – EDN RYJFHR.

103. Борбаць Н. М. Процедура подбора кривой из системы Джонсона методами процентиля и максимального правдоподобия - наименьших квадратов в R / Н. М. Борбаць, Т. В. Школина // System Analysis and Mathematical Modeling. – 2023. – Т. 5, № 4. – С. 476–493. – DOI 10.17150/2713-1734.2023.5(4).476-493. – EDN AGZLFU.

104. Еременко Т. В. Сравнительный анализ научного потенциала региональных вузов по метрике "процентиль" РИНЦ // Актуальные проблемы совершенствования высшего образования: тезисы докл. XVI Всерос. науч.-метод. конф., Ярославль, 28–29 марта 2024 года. – Ярославль: Филигрань, 2024. – С. 153–155. – EDN VMDFAT.

105. Моллаева С. А. Применение метода процентиля и графического метода корреляции физических и медицинских показателей при выявлении



контрольных параметров в процессе подготовки атлетов соревновательного уровня / С. А. Моллаева, П. А. Николенко // RESEARCH FORUM 2023: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Петрозаводск, 25 апреля 2023 года. – Петрозаводск: МЦНП «Новая Наука», 2023. – С. 71–77. – EDN IQIDHZ.

106. Королев В. А. Анализ процентиля по ядру российского индекса научного цитирования как качественного показателя для оценки научной деятельности ученых-анестезиологов-реаниматологов // Высшая школа: научные исследования: материалы Межвуз. междунар. конгресса, Москва, 12 мая 2023 года. – Москва: Инфинити, 2023. – С. 126–132. – EDN SOSZUC.

107. Пармакли Д. М. Некоторые методические особенности оценки итогов операционной деятельности сельскохозяйственных предприятий // Вестник НГИЭИ. – 2023. – № 3(142). – С. 94–103. – DOI 10.24412/2227-9407-2023-3-94-103. – EDN TUTZCX.

108. Еременко Т. В. Педагогические исследования феномена академической нечестности в современном отечественном научном дискурсе // Психолого-педагогический поиск. – 2023. – № 3(67). – С. 7–15. – DOI 10.37724/RSU.2023.67.3.001. – EDN AHOOGWG.

109. Исследование влияния периодичности замеров на расчетное значение скорости передачи, определяемой по методу 95-го процентиля / Р. А. Дунайцев, О. В. Корженевский, У. Б. Курбанов, А. В. Светова // Подготовка профессиональных кадров в магистратуре для цифровой экономики (ПКМ-2023): Всерос. науч.-техн. и науч.-метод. конф. магистрантов и их руководителей. Сб. лучших докл.: в 2-х томах. Санкт-Петербург, 05–07 декабря 2023 года. – СПб. : СПбГУТ, 2024. – С. 224–228. – EDN SDBHOQ.

110. Гадолина И. В. Разработка метода построения доверительных интервалов для процентиля случайной выборки прочности композитов с применением бутстреп-моделирования / И. В. Гадолина, Н. Г. Лисаченко // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2017. – Т. 83, № 11. – С. 73–77. – DOI 10.26896/1028-6861-2017-83-11-73-77. – EDN ZQZYRR.

111. А. с. 69583 A1 СССР, МПК C25D 3/04, C25D 5/12, C25D 5/34. Способ пористого хромирования цилиндров, поршневых колец и других трущихся деталей двигателей / Я. Н. Бирман, К. С. Гончаренко, Г. И. Тупицин. – № 9616; заявл. 20.12.1944; опубл. 01.01.1947. – EDN WLFVRVK.

112. Обоснование повышения ресурса двигателя за счет снижения температуры в зоне контакта трущихся поверхностей деталей / В. В. Сафонов, А. С. Азаров, С. А. Шишурин, К. В. Сафонов // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 47–51. – EDN UMLNXP.

113. Марьин Д. М. Формирование модели повышения трибологических характеристик цилиндропоршневой группы / Д. М. Марьин, А. А. Глущенко, И. Р. Салахутдинов // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2018. – № 2. – С. 80–87. – DOI 10.15593/24111678/2018.02.09. – EDN XSHXFR.

114. Курицын С. Ю. Повышение стойкости деталей цилиндропоршневой группы судовых дизелей к водородному изнашиванию / С. Ю. Курицын, Ю. И. Матвеев // Развитие энергетики водного транспорта, информационных и энергосберегающих технологий: сб. материалов II Всерос. конф., Казань, 09–10 декабря 2024 года. – Казань: ВГУВТ, 2024. – С. 40–45. – EDN OHKIXF.

115. Богданович П. Н. Изнашивание полиуретана незакрепленными абразивными частицами / П. Н. Богданович, В. М. Станкевич, М. Ю. Коднянко // Горная механика и машиностроение. – 2021. – № 2. – С. 98–103. – EDN VIVXMS.

116. Морин, А. С. О гидравлическом пылеподавлении на карьерных автодорогах / А. С. Морин, Т. А. Бровина // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности : сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады, Екатеринбург, 02–03 апреля 2020 года. – Екатеринбург: Уральский государственный горный университет, 2020. – С. 355–358. – EDN QRTXWW.

117. Климов, Д. К. Расчеты параметров карьерной дороги при равномерном движении автосамосвала / Д. К. Климов, Н. Е. Королев, Д. В. Скосырев // Проспект Свободный - 2024 : материалы юбилейной XX Международной научной

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 частях, Красноярск, 15–20 апреля 2024 года. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2024. – С. 109-112. – EDN KJTYMN.

118. Кузнецов, Д. В. К вопросу выбора экономического критерия для обоснования технологических комплексов горнотранспортного оборудования рудных карьеров / Д. В. Кузнецов // Современные тенденции и инновации в науке и производстве : Материалы XIII международной научно-технической конференции, Междуреченск, 24 апреля 2024 года. – Междуреченск: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2024. – EDN MJDQUQ.

119. Сидоров, В. В. О необходимости оптимизации параметров технологических схем открытой разработки Черногорского каменноугольного месторождения / В. В. Сидоров, А. И. Косолапов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2021. – № 1. – С. 68-77. – DOI 10.25018/0236-1493-2021-1-0-68-77. – EDN VOAUQT.

120. Исследование показателей парка горных и транспортных машин в карьерах по добыче нерудных полезных ископаемых на территории России / И. В. Зеньков, Е. В. Черепанов, К. Ф. Терехина, Б. Н. Нефедов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2024. – № 10. – С. 132-137. – EDN GVRVYVQ.

121. Исследование показателей карьерных машин по добыче цементного сырья на территории России / И. В. Зеньков, Е. В. Черепанов, К. Ф. Терехина, Б. Н. Нефедов // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2024. – № 10. – С. 137-142. – EDN TLZMZT.

122. Шаповаленко Г. Н. Улучшение состояния технологических автодорог разреза "Черногорский" / Г. Н. Шаповаленко, С. Н. Радионов, В. А. Петров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № S39. – С. 83–88. – DOI 10.25018/0236-1493-2017-12-39-83-88. – EDN YWRSKT.

Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвалов БАЗ-75306			
Дата проведения оценки		2021.12.22	
ФИО оцениваемого водителя		Александр Николаевич Гаврилов	
Гаражный номер автосамосвала БАЗ43		АБ-225	
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении претензий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	4
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонений от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов.	5
5	Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При неполноте предоставления информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов. Выставляется 1 балл при плановом начале движения. Выставляется 0 баллов при резком начале движения. Выставляется 1 балл при плановой остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке. Выставляется 2 балла при плановом вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки. Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие.	1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов.	2
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуации тормозов.	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	
Итого баллов			
Оценку произвел:			
ФИО		Должность	Подпись
Александр А. С.			Иван

Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвала БелАЗ-75306			
Дата проведения оценки		24.10.2024	
ФИО оцениваемого водителя		Бусине Михаил Илья Николаевич	
Гарантийный номер автосамосвала БелАЗ		№ 243 РБ - 44	
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	2
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 балла оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3
4	Полнота выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый несомненный уzel/аргумент во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов	5
5	Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый уzel/аргумент вплоть до 0 баллов	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения	1
		Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке	1
		Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	2
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки	0
		Выставляется 1 балл при обездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие	1
		Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов	1
8	Соблюдение правил использования динамических механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
Итого баллов			

Оценку произвели:	ФИО	Должность	Подпись
	Нерасов А.С.		Ильин

### Рисунок А.1 – Результаты оценки квалификации



Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306

Дата проведения оценки			
ФИО оцениваемого водителя			
Гаражный номер автосамосвала БелАЗ			
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	4
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	4
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый несмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов.	5
5	Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов.	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения. Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки. Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие.	1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов.	2
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов.	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
Итого баллов			

Оценку проводил:

ФИО	Должность	Подпись
Искраков А.С.		Искраков А.С.

Вспомогательный лист

Показатели оценки техники безопасности

№ п/п	За что снимаются баллы
1	Не установлены противооткатные упоры во время остановки автосамосвала
2	Полное, либо частичное отсутствие СИЗ у водителя
3	Отсутствуют неисправности, либо истек срок годности
4	Не используется ремни безопасности во время движения
5	Неисправны поворотные сигналы

Примечания/дополнения/замечания/пояснения

18 переминок дороса давида, автогрейдер  
1.516. не справился в забое РС-44  
лапидные промисси каменни Будилов  
в 38, один на 4 экзактири, не успеет!

Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306

Дата проведения оценки			
ФИО оцениваемого водителя			
Гаражный номер автосамосвала БелАЗ			
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	2
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый несмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов.	5
5	Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов.	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения. Выставляется 1 балл при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. Выставляется 2 балла при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки. Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие.	1 1 2 0 1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов.	1
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов.	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
Итого баллов			

Оценку проводил:

ФИО	Должность	Подпись
Искраков А.С.		Искраков А.С.

Рисунок А.2 – Результаты оценки квалификации

**Вспомогательный лист**

**Показатели оценки техники безопасности**

№ п/п	За что снимаются баллы
1	Не установлены противооткатные упоры во время остановки автомобиля
2	Полное, либо частичное отсутствие СИЗ у водителя
3	Отсутствуют неисправности, либо истек срок годности
4	Не используется режим безопасности во время движения
5	Неисправны поворотные сигналы

**Примечания/дополнения/замечания/поиснения**

Отсутствия дорог на входе из за  
Отсутствия авто грейдера, ~~Бензин~~

**Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306**

Дата проведения оценки: 1 / 2024

ФИО оцениваемого водителя: Федосов Михаил Владимирович

Гаражный номер автосамосвала БелАЗ: Б-2249

№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	4
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов	5
5	Ежемесячное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие	1 1 2 1 1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов	2
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
Итого баллов			

Оценку произвел:

ФИО	Должность	Подпись
<u>Метелев А.С.</u>		<u>М.С.</u>

**Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306**

Дата проведения оценки: 24 / 2024

ФИО оцениваемого водителя: Метелев Андрей Александрович

Гаражный номер автосамосвала БелАЗ: Б-2249

№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	2
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов	5
5	Ежемесячное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резкой остановке Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие	1 1 2 0 1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов	1
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5
Итого баллов			

Оценку произвел:

ФИО	Должность	Подпись
<u>Метелев А.С.</u>		<u>М.С.</u>

Рисунок А.3 – Результаты оценки квалификации



Вспомогательный лист	
№ п/п	Показатели оценки техники безопасности
1	Не установлены противоткатные упоры во время остановки автосамосвала
2	Полное, либо частичное отсутствие СИЗ у водителя
3	Огни сигнальные неисправны, либо истек срок годности
4	Не используется ремень безопасности во время движения
5	Неисправны поворотные сигналы

**Примечания/дополнения/замечания/поиснения**

18. Передача груза сзади, спуск очень крутой, пневматический тормоз не удерживает самосвал.

Чек-лист оценки квалификации водителей автосамосвалов БелАЗ-75306			
Дата проведения оценки: 29.10.2024			
ФИО оцениваемого водителя: Кондратов Андрей Викторович			
Гаражный номер автосамосвала БелАЗ: 2883			
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	2
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с несоответствующим отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов.	5
5	Ежемесячное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл на каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов.	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения. Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке. Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки. Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие.	1 1 2 0 1
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов.	2
8	Соблюдение правил использования динамических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов.	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
Итого баллов			

Оценку произвели: ФИО \_\_\_\_\_ Должность \_\_\_\_\_ Подпись \_\_\_\_\_

Дата проведения оценки: 29.10.2024			
ФИО оцениваемого водителя: Кондратов Андрей Викторович			
Гаражный номер автосамосвала БелАЗ: 2883			
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	4
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	4
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	3
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с несоответствующим отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов.	5
5	Ежемесячное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автосамосвала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автосамосвала оценка снижается на 1 балл на каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов.	2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения. Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке. Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки. Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие.	2
7	Расположение автосамосвала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов.	2
8	Соблюдение правил использования динамических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов.	1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов.	5
Итого баллов			

Оценку произвели: ФИО \_\_\_\_\_ Должность \_\_\_\_\_ Подпись \_\_\_\_\_

Итого баллов: 28

Рисунок А.4 – Результаты оценки квалификации

Показатели оценки техники безопасности	
за что ставятся баллы	
1	Не установлены противоткатные упоры во время остановки автосамосвала
2	Полное, либо частичное отсутствие СИЗ у водителя
3	Огнегасители неисправны, либо истек срок годности
4	Не используется ремень безопасности во время движения
5	Неисправны поворотные сигналы

**Примечания/дополнения/замечания/пояснения**

18. Перемишки позиционные просили  
кляксенки - будувозер не успевают, крутан  
спуск с перемишки л 18. Можеть на  
"0" отвал крутан всё счититез с кузовом.  
Примечание бивает, у бивоз при спуске  
с перемишки л 18, так как спуск крутан  
у некоторых бивоз значительный турвиз  
тихо держат.

Чек-лист оценки квалификации водителей автотомасовал Балл 75306				
Дата проведения оценки		25.10.2024		
ФИО оцениваемого водителя		Анатолий Сергеевич		
Гарантийный номер автотомасовала Балл 3		58 246 PC-34		
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов		Начислено баллов
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов		3
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов		5
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов		3
4	Полнота выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый неосмотренный узел/агрегат во время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов		5
5	Бесприкосновенное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автотомасовала	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автотомасовала оценка снижается на 1 балл за каждый узел/агрегат вплоть до 0 баллов		2
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения		1
		Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке		1
		Выставляется 2 балла при плавном вхождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком вхождении в поворот или при вхождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов		2
		Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки		1
7	Расположение автотомасовала под погрузку и движение по отвалу согласно утвержденной схеме	Выставляется 1 балл при объездах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие		0
		Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или перемещении по отвалу) вплоть до 0 баллов		2
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов		1
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов		5
Итого баллов				
Оценку произвел:				
ФИО		Должность		Подпись
Л.А.Александров А.С.				Л.А.Александров

Чек-лист оценки водителей автомобилей БелаЗ-75306				
Дата проведения оценки		25.10.2024		
ФИО оцениваемого водителя		Васильев Владимир		
Гарантийный номер автомобиля БелаЗ		224 Д-С-34		
№ п/п	Показатели	Условия начисления баллов	Начислено баллов	
1	Состояние дорожного покрытия	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении препятствий оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3	
2	Соблюдение скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении отклонения от скоростного режима, приемлемого для конкретного участка дороги, на 2 км/час оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5	
3	Соблюдение правил дорожного движения	Выставляется 3 балла при отсутствии замечаний. За каждое нарушение правил дорожного движения оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	3	
4	Полноценность выполнения ЕТО	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. За каждый несомтретый узел/деталь ко время ЕТО оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов. При работе с недопустимым отклонением уровней рабочих жидкостей от нормы выставляется 0 баллов	5	
5	Ежедневное предоставление информации о фактическом техническом состоянии автомобиля	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. При непредоставлении информации о выявленных отклонениях в работе автомобиля оценка снижается на 1 балл за каждый узел/деталь вплоть до 0 баллов	2	
6	Манера вождения	Выставляется 1 балл при плавном начале движения, выставляется 0 баллов при резком начале движения	1	
		Выставляется 1 балл при плавной остановке, выставляется 0 баллов при резкой остановке	1	
		Выставляется 2 балла при плавном хождении в поворот с приемлемой скоростью. При резком хождении в поворот или при хождении в поворот с высокой скоростью оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	1	
		Выставляется 1 балл при прохождении подъема без затруднений, выставляется 0 баллов при прохождении подъема с превышением нагрузки	1	
		Выставляется 1 балл при обходах препятствий, выставляется 0 баллов даже при однократном наезде на препятствие	1	
7	Расположение автомобиля под погрузку и движение по отвалу в соответствии с утвержденной схемой	Выставляется 2 балла при отсутствии замечаний. Оценка снижается на 1 балл за каждое нарушение схемы (при погрузке или переменою по отвалу) вплоть до 0 баллов	2	
8	Соблюдение правил использования динамических и механических тормозов	Выставляется 1 балл при отсутствии замечаний. Выставляется 0 баллов за использование несоответствующих ситуаций тормозов	1	
9	Соблюдение техники безопасности	Выставляется 5 баллов при отсутствии замечаний. При выявлении нарушения техники безопасности оценка снижается на 1 балл вплоть до 0 баллов	5	
			Итого баллов	
Оценку произвел:				
ФИО		Должность	Подпись	
Иванов А.С.			И.И.	

### Рисунок А.5 – Результаты оценки квалификации



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б (справочное)



УТВЕРЖДАЮ:  
Генеральный директор  
ООО «СУЭК-Хакасия», к.т.н.  
С.В. Канзычаков  
202\_\_г.



### Акт о внедрении результатов диссертационной работы Маслюкова Сергея Павловича на соискание ученой степени кандидата технических наук

Комиссия в составе:

Председатель: технический директор ООО «СУЭК-Хакасия», д.т.н. Азев В.А.

Члены комиссии:

Директор по экономике и финансам ООО «СУЭК-Хакасия» Козлова М.А.

Главный механик ООО «СУЭК-Хакасия» Беклемешев В.А.

Заместитель технического директора (по перспективному планированию) ООО «СУЭК-Хакасия» Арикулов В.И.

Руководитель проектов, техническая дирекция ООО «СУЭК-Хакасия» Сенаторов Д.С.

Заместитель технического директора (по операционным улучшениям) ООО «СУЭК-Хакасия» Руденко Я.С.

Настоящим актом подтверждается, что результаты диссертационной работы, посвященной исследованию влияния условий и режимов работы автотранспорта на надежность этих машин, представленной Маслюковым С.П. на соискание ученой степени кандидата технических наук, были использованы в период с 2021 по 2024 гг. при оценке возможностей повышения эффективности эксплуатации автосамосвалов БелАЗ разреза «Черногорский». С использованием результатов диссертационного исследования выявлены резервы повышения эффективности использования ресурса ДВС этих машин до 40% и сокращения расхода дизельного топлива до 15%. На основании этого было запланировано и реализовано 3 технико-технологических и организационных мероприятия на разрезе «Черногорский»:

- повышение качества диагностирования технического состояния ДВС парка автосамосвалов БелАЗ;
- организация улучшения качества технологических дорог;
- организация контроля за режимом функционирования автосамосвалов БелАЗ.

Данные мероприятия позволили повысить производительность оборудования технологического комплекса, сократить количество его внезапных отказов и совокупную стоимость владения. Общий экономический эффект от внедрения разработок автора составил 30 млн руб.

Председатель:

Азев В.А.