

На правах рукописи



Маслюков Сергей Павлович

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

Специальность 2.8.8 Геотехнология, горные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Челябинск – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель: **Леванов Игорь Геннадьевич**
доктор технических наук, заместитель директора по научно-исследовательским разработкам Передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» (г. Челябинск)

Официальные оппоненты: **Глебов Андрей Валерьевич**
доктор технических наук, заместитель директора по научным вопросам ФГБУН Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук (г. Екатеринбург)

Алушкин Тимофей Евгеньевич
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры инновационных технологий в АПК Высшей инженерной школы агробιοтехнологий ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (г. Томск)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский федеральный университет» (г. Красноярск)

Защита состоится 24 апреля 2026 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.321.01 в ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, тел./факс: +7 (3842) 39-69-50, e-mail: markovso@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2026/mas/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан «27» февраля 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент



С.О. Марков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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., Леля 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, вследствие 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 сходимости 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.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы и приложения. Изложена на 133 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц, 34 рисунка, список использованной литературы из 122 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Обобщение и дополнение научно-методической базы результатами исследования влияния режима работы автосамосвалов БелАЗ на полноту использования ресурса двигателей этих машин дали возможность автору обосновать научные положения, позволившие разработать методику повышения полноты использования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов.

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.

Практика показывает, что ресурс однотипных двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ при работе в условиях одного и того же предприятия существенно различается. Так, оценка эксплуатационной надежности двигателей Cummins QSK-60, работающих на автосамосвалах БелАЗ-75306 разреза «Черногорский», за период 2012-2024 гг. выявила, что ресурс новых двигателей до первого капитального ремонта может различаться до 3-х раз, между первым и вторым капитальным ремонтом – более чем в 20 раз, между вторым и третьим – более чем в 30 раз (рисунок 1).

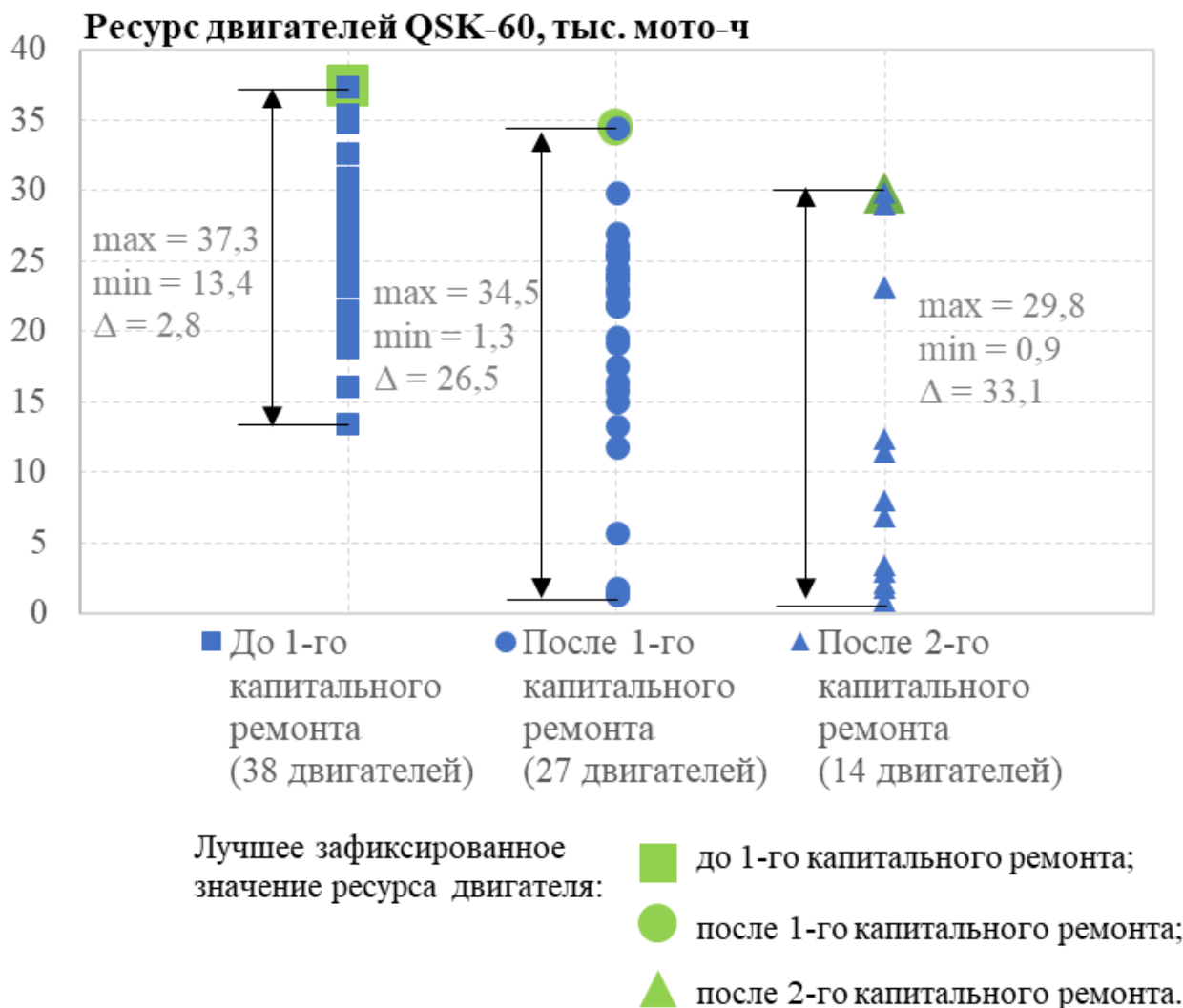


Рисунок 1 – Ресурс двигателей QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2012-2024 гг.

Поскольку ресурсы однотипных двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов БелАЗ существенно различаются, то полноту использования ресурса двигателя возможно оценивать отношением 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:

$$K_{\text{пир}} = \frac{P_i}{P_{\text{max}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{пир}}$ – коэффициент полноты использования ресурса двигателя;

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.

С целью выявления причин варьирования ресурса двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов был проведен анализ рабочей среды эксплуатации этих машин. Генеральная выборка, сформированная для анализа, включала в себя информацию об удельном расходе дизельного топлива (ДТ) автосамосвалов БелАЗ-75306 при выполнении более 900 тыс. рейсов в период 2021-2024гг. В ходе анализа осуществлялась оценка величины расхода ДТ одновременно в 95-ом и 5-ом перцентилях, поскольку они позволяют выявлять характерные экстремумы нагрузки при эксплуатации каждого двигателя. Удельный расход ДТ в 95-ом перцентиле – это средневзвешенный расход ДТ в 5% смен, характеризующихся наибольшим его значением. Удельный расход ДТ в 5-ом перцентиле – средневзвешенный расход ДТ в 5% смен, характеризующихся наименьшим его значением.

Определено, что расход ДТ большегрузными карьерными автосамосвалами при работе на одних и тех же маршрутах различается от 1,5 до 3,0 раз (рисунок 2), расход ДТ водителями при работе на одном и том же большегрузном карьерном автосамосвале и на одном маршруте различается от 1,1 до 3,6 раза (рисунок 3). Эти данные свидетельствуют о влиянии квалификации водителей автосамосвалов на величину расхода ДТ и, соответственно, на нагрузку двигателей этих машин.

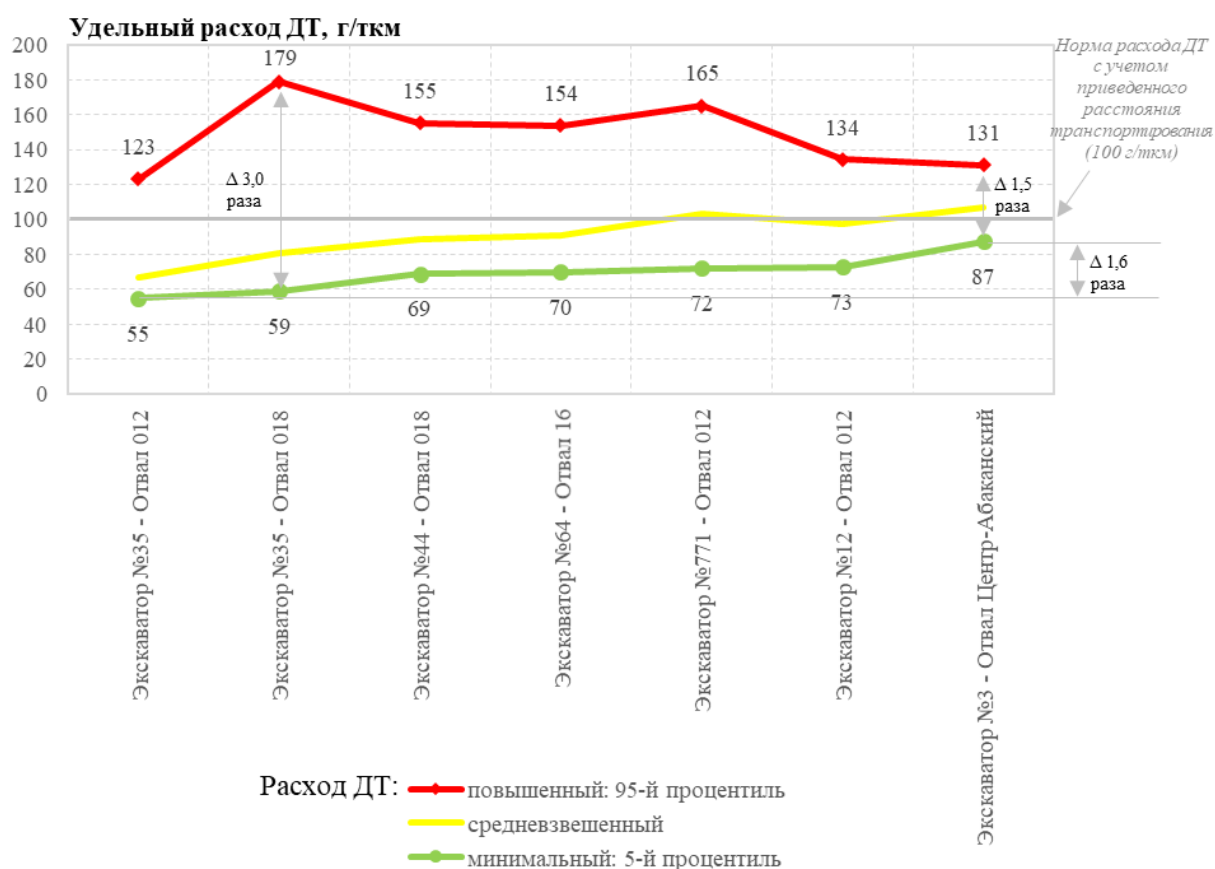


Рисунок 2 – Оценка величины расхода ДТ парка автосамосвалов БелАЗ-75306 на разрезе «Черногорский» за 2023г. (выборка включает 20 тыс. рейсов, выполненных на маршрутах с одинаковым приведенным плечом транспортирования горной массы)

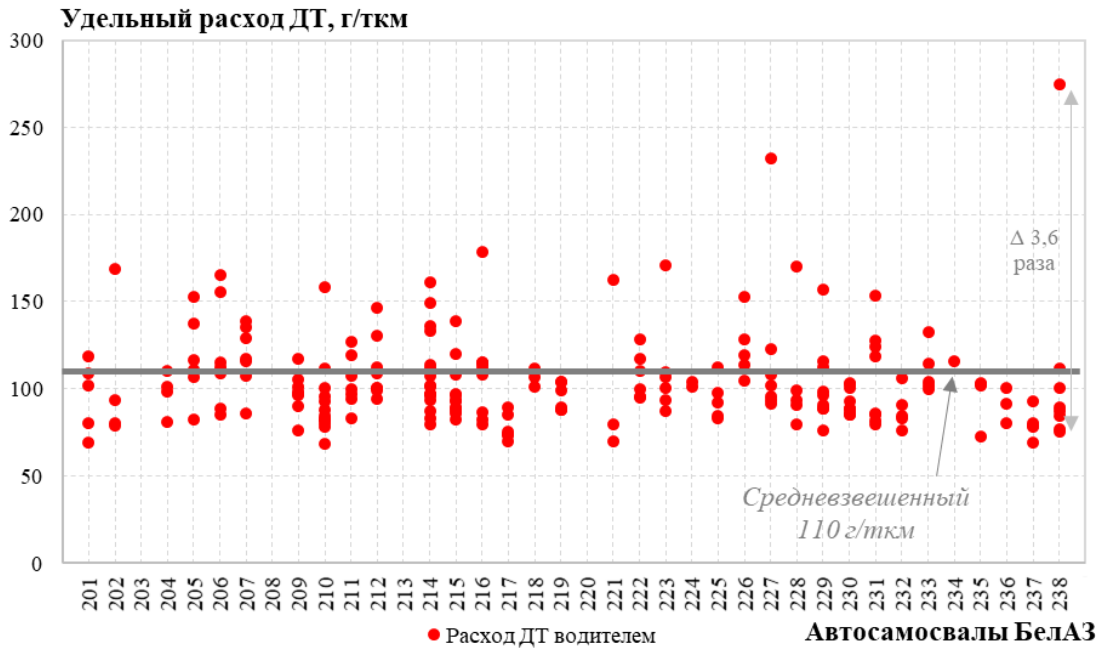


Рисунок 3 – Оценка величины расхода ДТ водителями автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за 2023 г.

(выборка включает 3 тыс. рейсов, осуществленных на одном маршруте)

Методом сравнения техники управления водителями с лучшими и худшими показателями результативности работы определены ключевые показатели их квалификации, влияющие на нагрузку большегрузных карьерных автосамосвалов и полноту использования ресурса двигателей этих машин. К таким показателям отнесены следующие: полноценность выполнения ежесменного обслуживания; соблюдение скоростного режима; плавность начала движения, остановки автосамосвала и количество торможений; особенности вхождения в поворот, подъема на уклонах и объезда препятствий; расположение автосамосвала под погрузку; соблюдение правил использования динамических и механических тормозов. По каждому выделенному показателю обоснованы числовые значения, позволяющие оценивать уровень квалификации водителей и причиняемый ими ущерб предприятию в случае недостаточной квалификации.

Оценка величины расхода ДТ (см. рисунок 2) показала, что у высококвалифицированных водителей большегрузных карьерных автосамосвалов расход ДТ различается в 1,6 раза в зависимости от маршрута. Это свидетельствует о влиянии на расход ДТ качества дорожного покрытия. Выявление зависимости между качеством дорожного покрытия маршрутов с минимальными и максимальными величинами расхода ДТ позволило определить ключевые показатели состояния технологических дорог, влияющие на нагрузку большегрузных карьерных автосамосвалов и, следовательно, на полноту использования ресурса двигателей этих машин. К таким показателям отнесены следующие: уклон дороги и виражей, наличие колеи, выбоин, кочек, наледи, пыли и просыпей. По всем показателям были обоснованы их параметры, по которым возможно оценивать состояние дорожного покрытия и рассчитывать

экономические издержки предприятия, обусловленные его неудовлетворительным состоянием.

Для идентификации существующих режимов работы автосамосвалов БелАЗ проведена оценка влияния различных комбинаций уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия на величину удельного расхода ДТ и, соответственно, на полноту использования ресурса двигателей (рисунок 4).

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

Рисунок 4 – Удельный расход ДТ в 95-ом процентиле водителями автосамосвалов БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» при различных уровнях квалификации и качества дорожного покрытия (по данным более 900 тыс. рейсов за период 2021-2024гг.)

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 уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия. Выявленное влияние этих комбинаций на величину удельного расхода ДТ стало основанием для выделения четырех режимов работы большегрузных карьерных автосамосвалов:

– щадящий режим – управление оборудованием, при котором не допускаются его перегрузки и оборудование может работать максимально длительное время в соответствии с заявленным ресурсом. Достигается при высоких уровнях квалификации водителей и качества дорожного покрытия, характеризуется удельным расходом ДТ в 95-ом процентиле 180-200 г/ткм;

– активно-форсированный режим – управление оборудованием, при котором допускаются резкие и кратковременные перегрузки двигателя, приводящие к накоплению необратимых повреждений и умеренному повышению интенсивности изнашивания сопряжений двигателя. Реализуется в случае низкой квалификации водителей и высокого качества дорожного покрытия, удельный расход ДТ в 95-ом процентиле изменяется в диапазоне 190-230 г/ткм;

– реактивно-форсированный режим – управление оборудованием, при котором допускаются резкие и кратковременные перегрузки двигателя, приводящие к накоплению необратимых повреждений и стремительному повышению интенсивности изнашивания сопряжений двигателя. Реализуется в

случае высокой квалификации водителей и низкого качества дорожного покрытия, удельный расход ДТ в 95-ом процентиле изменяется в диапазоне 215-245 г/ткм;

– агрессивный режим – управление оборудованием, при котором оно длительное время работает с пиковыми нагрузками, близкими к пределу прочности деталей, приводящими к мгновенному его выходу из строя или потере свойств без предварительных симптомов. Реализуется в случае низких уровней как квалификации водителей, так и качества дорожного покрытия, удельный расход ДТ в 95-ом процентиле достигает 245-290 г/ткм.

Выявленное влияние уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия технологических дорог на удельный расход ДТ (см. рисунок 2 и 3) создали основу для исследования влияния режимов работы большегрузных карьерных автосамосвалов на полноту использования ресурса двигателей. Режим работы характеризуется качеством управления оборудованием в процессе осуществления им функции в различных условиях работы.

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 и коэффициентом аппроксимации (R^2) 0,83 (рисунок 5).

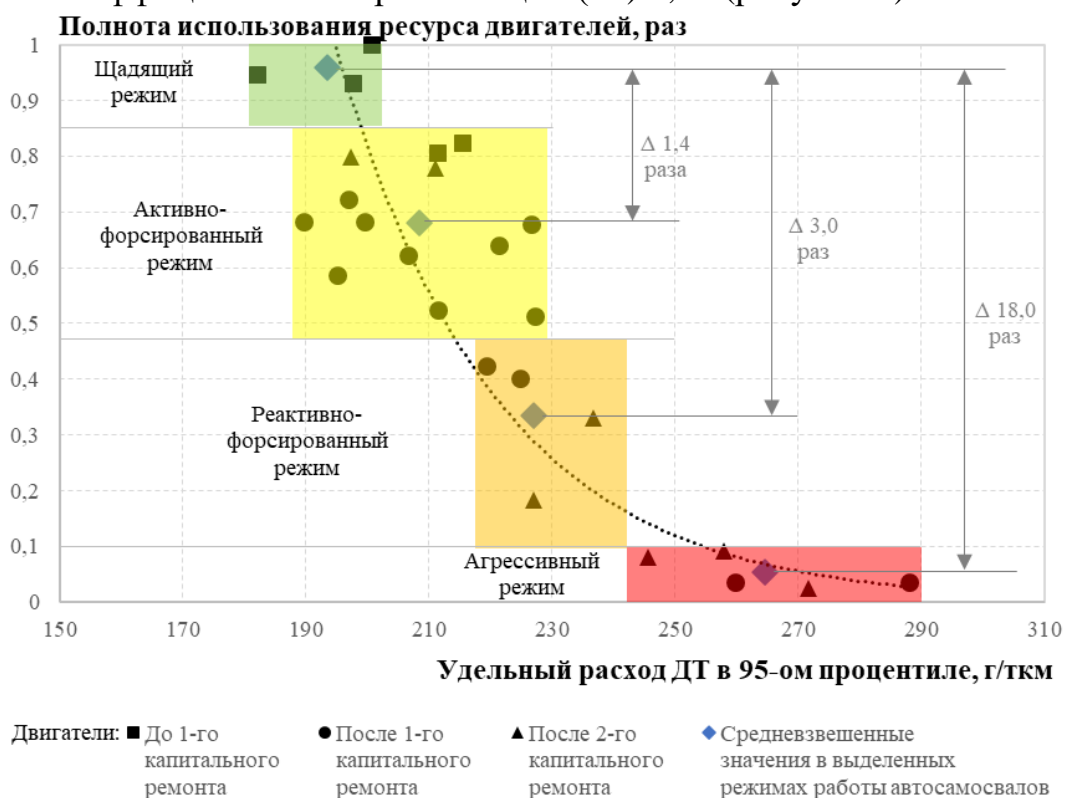


Рисунок 5 – Связь полноты использования ресурса двигателей и удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» (по данным о наработке 25 двигателей до предельного состояния и более чем 900 тыс. рейсов автосамосвалов за период 2021-2024 гг.)

На рисунке 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 капитальных ремонтов несущественно влияет на полноту использования ресурса двигателей по сравнению с влиянием режима работы автосамосвалов.

Выявлено, что при работе автосамосвала в активно-форсированном режиме полнота использования ресурса двигателя по отношению к полноте его использования в щадящем режиме меньше в 1,4 раза, при работе в реактивно-форсированном режиме – в 3,0 раза, при работе в агрессивном режиме – в 18,0 раз (см. рисунок 5).

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, вследствие 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.

С целью выявления факторов, снижающих полноту использования ресурса двигателей, на предприятиях применяется метод спектрального анализа отработанного масла двигателя. На базе данных специализированных лабораторий специалистами предприятий оценивается количество частиц железа в отработанном масле двигателей, накопленное в период между техническими обслуживаниями (ТО) автосамосвалов. Из химмотологических показателей отработанного масла двигателя количество частиц железа, попавшего в смазочную систему, наиболее полно характеризует условия эксплуатации двигателя. Это связано с тем, что изменение количества частиц железа происходит в несколько раз быстрее, чем изменение величин других химмотологических показателей отработанного масла, в результате чего данный показатель обладает большей информативностью.

Оценка функционирования лабораторий на ряде угледобывающих предприятий показала, что, основываясь на их результатах, можно выявлять и впоследствии локализовывать факторы, негативное влияние которых на техническое состояние двигателя проявляется быстрой симптоматикой. К таким факторам относятся следующие: работа автосамосвала с загрузкой, существенно превышающей его номинальную грузоподъемность; сверхнормативная запыленность рабочей среды; использование некачественного масла и т.п. Вместе с тем исследование влияния этих факторов на величину ресурса двигателей показало, что их воздействие является значительным, но не определяющим. Поэтому только такой способ контроля технического состояния двигателей, заключающийся в оценке количества частиц железа в масле, накапливаемого между ТО, позволяет не более чем в 20% случаев прогнозировать приближение предельного состояния двигателя и снижать тяжесть последствий этого события. Факторы, обуславливающие ресурс двигателя,

характеризуются меньшим проявлением в краткосрочном периоде, поэтому их идентификация осуществлялась с помощью метода расчета нарастающего итога. Данный метод применен для исследования связи полноты использования ресурса двигателей и скорости накопления частиц железа в отработанном масле с начала ввода двигателя в эксплуатацию и/или возобновления его работы после капитального ремонта до наступления предельного состояния. Скорость накопления частиц железа в отработанном масле двигателя характеризует степень изнашивания трущихся деталей под воздействием эксплуатационных нагрузок и позволяет оценивать динамику их состояния, а также прогнозировать остаточный ресурс в долгосрочной перспективе.

Скорость накопления частиц железа в отработанном масле рассматриваемого двигателя ($V_{нч}$) определяется отношением суммарного накопленного количества частиц железа в масле с начала его ввода в эксплуатацию и/или возобновления работы после капитального ремонта к фактическому ресурсу этого двигателя на момент проведения оценки:

$$V_{нч} = \frac{N_{нч}}{P_i}, \quad (2)$$

где P_i – фактический ресурс двигателя на момент оценки, мото-ч;

$N_{нч}$ – суммарное накопленное количество частиц железа в отработанном масле двигателя с начала его ввода в эксплуатацию и/или возобновления работы после капитального ремонта, мг/кг.

Суммарное накопленное количество частиц железа в отработанном масле двигателя с начала его ввода в эксплуатацию и/или возобновления работы после капитального ремонта ($N_{нч}$) определяется суммой частиц железа, накапливаемых в период его работы между ТО, в которых была проведена замена масла:

$$N_{нч} = \sum_{i=1}^n N_i, \quad (3)$$

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

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

В качестве объектов для исследования влияния скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателя на его ресурс рассмотрены результаты работы двадцати одного двигателя QSK-60, ресурс которых до предельного состояния был выработан в условиях работы одного и того же предприятия – разреза «Черногорский». С использованием формул 1 и 2 определено, что скорость накопления частиц железа в отработанном масле двигателей варьируется до 12 раз и обуславливает изменение ресурса двигателей до наступления предельного состояния до 20 раз. Эта связь характеризуется экспоненциальной функцией с корреляционным отношением -0,8 (рисунок 6).

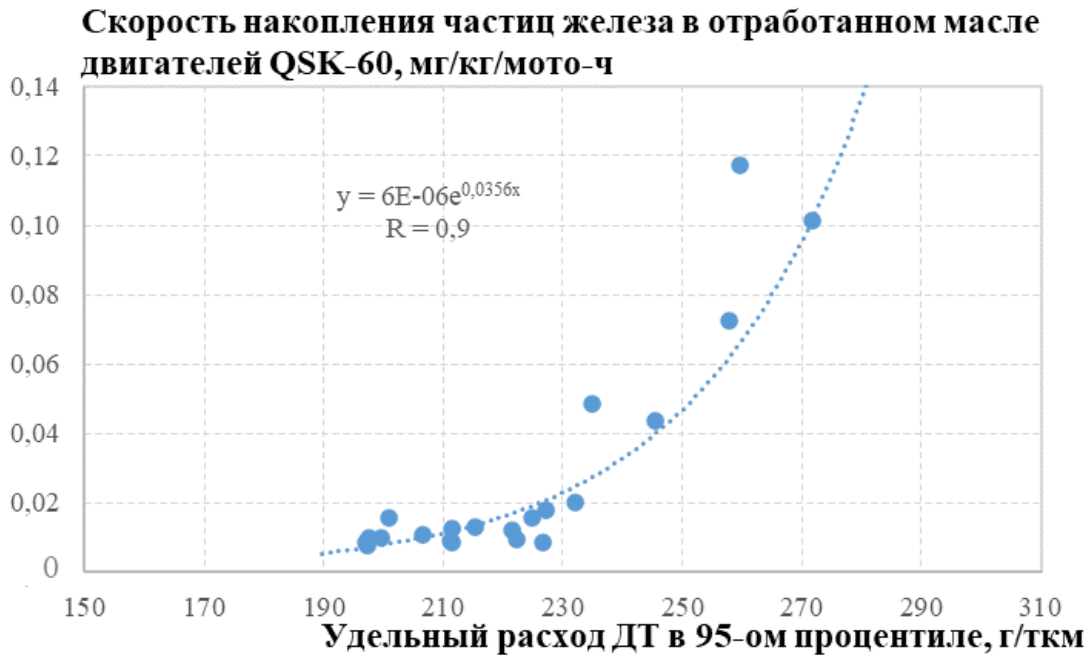


Рисунок 7 – Связь скорости накопления частиц железа в отработанном масле двигателей и удельного расхода ДТ в 95-м процентиле по автосамосвалам БелАЗ-75306 разреза «Черногорский» за период 2021-2024 гг.

Рассмотрение расхода ДТ в качестве показателя нагрузки на двигатель позволило выявить, что величина удельного расхода ДТ в 95-ом процентиле существенно влияет на скорость накопления частиц железа в отработанном масле и характеризуется экспоненциальной функцией с корреляционным отношением 0,9. В результате данного влияния 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 (рисунок 5).

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.

В результате проведенного автором исследования влияния режимов работы большегрузных карьерных автосамосвалов на полноту использования ресурса их двигателей разработана методика повышения полноты использования ресурса большегрузных карьерных автосамосвалов, базирующаяся 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.

Рациональный режим работы большегрузных карьерных автосамосвалов определяется и обосновывается экономически целесообразным соотношением затрат на повышение полноты использования ресурса двигателей к стоимости владения двигателями. Затраты на повышение полноты использования ресурса двигателей включают в себя расходы на повышение квалификации водителей автосамосвалов, на увеличение заработной платы высококвалифицированных водителей, на повышение и поддержание необходимого качества дорожного полотна. Стоимость владения двигателями содержит в себе все расходы с момента их приобретения до утилизации. Экономическая целесообразность достигается, если экономическая эффективность от повышения полноты использования ресурса двигателей превышает затраты на изменение режима эксплуатации автосамосвалов.

На основе определения целевого удельного расхода топлива одновременно в 95-ом и 5-ом перцентилях задаются требуемые для рационального режима работы автосамосвалов экстремумы величины удельного расхода топлива. Это позволяет выявлять сочетание параметров квалификации водителей автосамосвалов и качества дорожного полотна, освоение которых необходимо для достижения и поддержания рационального режима работы этих машин. Необходимые значения показателей квалификации водителей выявляются посредством оценки знаний, умений и навыков водителей, стабильно обеспечивающих целевой удельный расход топлива. Требуемые значения показателей качества дорожного покрытия выявляются на основе оценки параметров участков дорог, на которых стабильно достигается целевой удельный расход топлива.

Освоение необходимого сочетания уровня квалификации водителей и качества дорожного покрытия может потребовать изменения должностных обязанностей руководителей и специалистов предприятия для организации процессов обучения водителей и повышения качества дорожного покрытия.

Апробация разработанной методики на угледобывающих предприятиях показала, что рациональный режим работы автосамосвалов определяется исходя из горно-геологических и климатических условий рабочей среды, экономики и стратегии развития предприятий.

Методика повышения полноты использования ресурса двигателей представлена в расширенном виде в тексте диссертации и в обобщенном виде на рисунке 8.

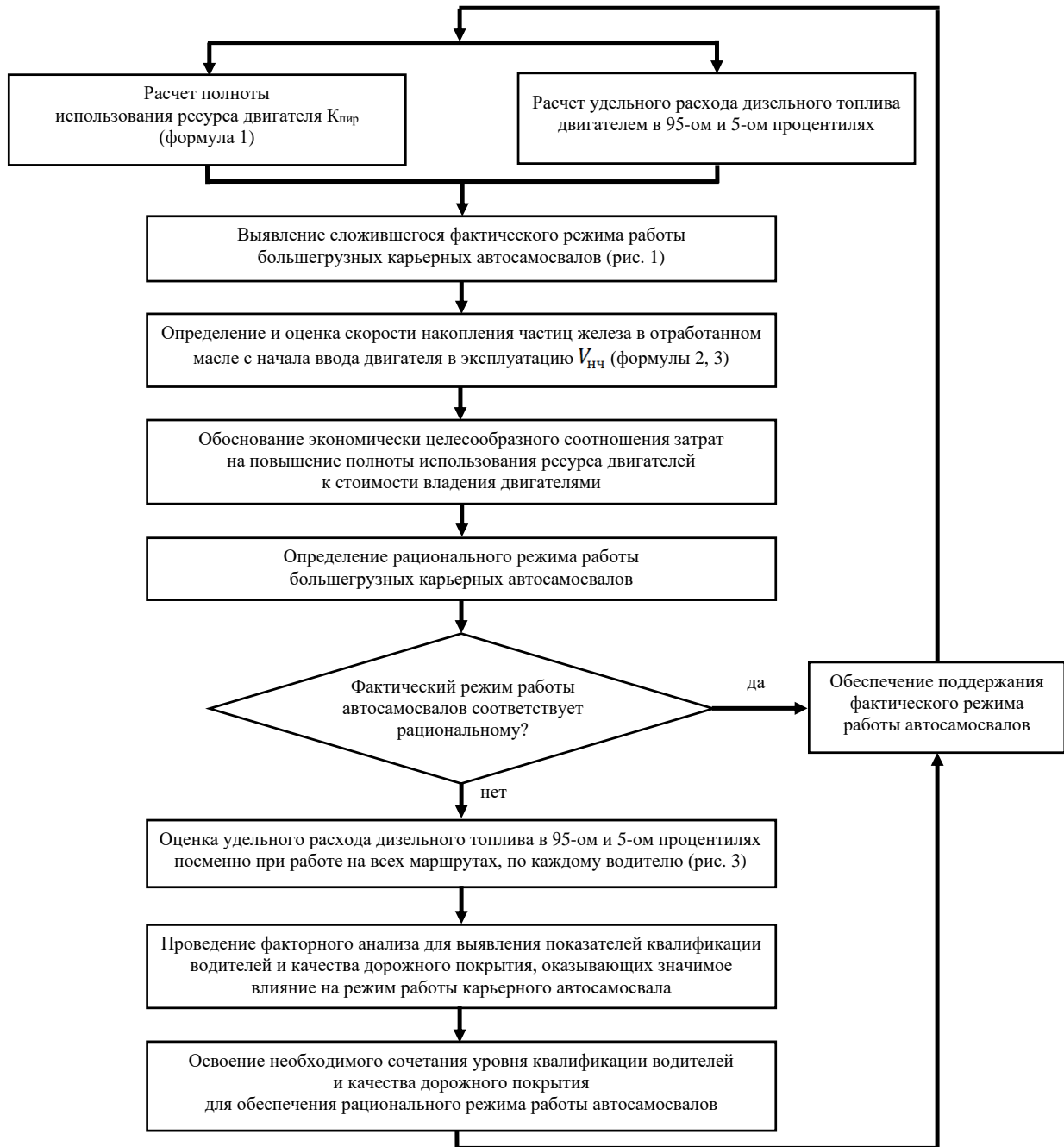


Рисунок 8 – Алгоритм методики повышения полноты использования ресурса двигателей

Совершенствование режимов работы автосамосвалов БелАЗ на предприятиях ООО «СУЭК-Хакасия» с применением результатов данного исследования позволило существенно повысить полноту использования ресурса двигателей этих машин и обеспечить сокращение издержек производства в размере 30 млн. руб., что подтверждается актом внедрения. Опробование разработанной методики на предприятиях «Разрез Тугнуйский», разрезуправление «Новошахтинское», «Лучегорский угольный разрез» по 117 двигателям Cummins KTA-50, Cummins QSK-60, Weichai автосамосвалов БелАЗ БелАЗ-7513 и БелАЗ-75306 подтвердило сходимость теоретических выводов с фактическими результатами.

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-х 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 перцентилях 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.

Направления дальнейших исследований автора:

- совершенствование системы эксплуатации комплекса технологического горного оборудования на основе повышения полноты использования ресурса их основных агрегатов;
- развитие научной концепции формирования адаптивной системы изменения режима работы комплекса технологического горного оборудования.

Основные научные результаты диссертации опубликованы в следующих изданиях:

Статьи в научных изданиях, рекомендуемых ВАК РФ:

1. Вакулин Е.А. Оценка равномерности постановки на техническое обслуживание автосамосвалов БелАЗ разреза «Черногорский» / Вакулин Е.А., Ивашкевич В.А., Гнищак Е.И., Байкин В.С., **Маслюков С.П.** // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2018. № 12 (специальный выпуск 64). – М.: Издательство «Горная книга» – С. 127-133. DOI 10.25018/0236-1493-2018-12-64-127-133. – EDN ZCLEPJ.

2. Канзычаков С.В. Методический подход к повышению эффективности использования ресурса двигателя внутреннего сгорания Cummins QSK-60 автосамосвалов БелАЗ-75306 на примере разреза «Черногорский» / Канзычаков С.В., Азев В.А., Хажиев В.А., Леванов И.Г., **Маслюков С.П.** // Уголь – 2024. №11. С. 87-93. DOI 10.18796/0041-5790-2024-11-87-93. – EDN ОНJСЕР.

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

Статьи в научных сборниках, журналах и других изданиях:

4. Хажиев В.А. Мониторинг и совершенствование организации ремонтного обслуживания карьерных автосамосвалов БелАЗ-7513 и БелАЗ-75306 на разрезе

«Черногорский» / Хажиев В.А., Байкин В.С., Хакимьянов В.А., **Маслюков С.П.** // Современные проблемы транспортного комплекса России – 2020. Т.10. №1. С. 25-31. DOI 10.18503/2222-9396-2020-10-1-25-31. – EDN CVENXV.

5. Задорожная Е.А. Обзор структуры внезапных выходов из строя узлов трения автосамосвалов «БелАЗ» на разрезе «Черногорский» / Задорожная Е.А., **Маслюков С.П.** // Вестник ЮУрГУ. Серия «Машиностроение» – 2022. Т. 22, № 2. С. 64-73. DOI 10.14529/engin220206. – EDN KLQWDO.

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

Личный вклад автора в работах, опубликованных в соавторстве, заключается в следующем:

[1], [4], [5] – обоснование критерия и показателей полноты использования ресурса двигателей автосамосвалов;

[6] – исследование влияния режимов работы автосамосвалов на полноту использования ресурса двигателя;

[2] – разработка методического подхода к идентификации режимов работы автосамосвалов.



**Ссылка на бланк согласия на обработку
персональных данных лица, предоставляющего
отзыв на автореферат диссертации:**

<https://cloud.mail.ru/public/vDhz/6ivLWmTr7>

Подписано в печать 17.02.26.
Формат 60 × 84 ¹/₁₆. Усл. печ. л. 1,0.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman суг.
Печать лазерная. Тираж 100 экз. Заказ № 3050/26.

Отпечатано в ПЦ «ПРИНТМЕД» (ИП Шарифулин Р. Г.)
454080, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 25а. Тел. +7 351 230-67-37.
E-mail: rinmed@mail.ru

