ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2025;(12-3):100–116
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 621.432; 620.19 DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_100

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ДЕГРАДАЦИИ МОТОРНОГО МАСЛА КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Е. Г. Кузин[1], А. В. Шальков[1]

[1] Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, Прокопьевск, 653039, Россия, kuzinevgen@gmail.com

Аннотация: Рассмотрены основные направления совершенствования технического обслуживания двигателей карьерных самосвалов и актуальность исследования природы деградации моторного масла и упрощения проводимых диагностических процедур. Масло в каждой конкретной машине будет разрушаться своими темпами, учитывающими множество факторов, не всегда поддающихся контролю. Обзор литературных источников показывает, что большинство авторов на первое место по негативному воздействию ставят запыленность дорог, слишком холодные или слишком жаркие условия, и уклоны превышающие 80‰. Рассмотрены методы оценки состояния смазочного масла, большинство из которых стандартизованы. Степень деградации моторного масла достаточно достоверно оценивается по приведенным методикам, однако следует оценивать еще и трибосопряжения двигателя. Следует учитывать, что при смене масла, информация о ранее произошедшем износе будет недоступна. Понимание природы деградации целесообразно начинать с функционального анализа элементов двигателя и его подсистемы смазки. Далее необходимо произвести описание влияющих факторов и их предельных значений. Важно понимать, что в сложной технической системе факторы действуют совместно, усиливая разрушающее воздействие. Для уточнения темпов деградации масла предложены формулы оценки абразивного, коррозионного и адгезионного износа компонентов двигателя, дополнительно к существующим методам. Направлением дальнейших исследований является исследование показателей абразивного, окислительного и адгезионного износа, а также разработка прогностических моделей определения предельного состояния узлов двигателя.

Ключевые слова: карьерный самосвал, двигатель внутреннего сгорания, смазочное масло, деградация, отказ, присадка, техническая диагностика, техническое обслуживание.

Для цитирования: *Кузин Е. Г., Шальков А. В.* Анализ факторов деградации моторного масла карьерных самосвалов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2025. – № 12-3. – С. 100–116. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_100.

Analysis of degradation factors of motor oil in mining dump trucks

E. G. Kuzin[1], A. V. Shalkov[1]

[1] T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Prokopyevsk Branch, Prokopyevsk, 653039, Russia, kuzinevgen@gmail.com

Abstract: The main directions of improving the maintenance of dump truck engines and the relevance of studying the nature of engine oil degradation and simplifying diagnostic procedures

© Е. Г. Кузин, А. В. Шальков. 2025

are considered. The oil in each particular car will break down at its own pace, taking into account many factors that are not always controllable. A review of literary sources shows that most authors prioritize the negative impact of dusty roads, too cold or too hot conditions, and slopes exceeding 80%. Methods for assessing the condition of lubricating oil are considered, most of which are standardized. The degree of degradation of the engine oil is fairly reliably assessed using the above methods, however, the tribo-stresses of the engine should also be assessed. Please note that when changing the oil, information about previous wear will not be available. It is advisable to begin understanding the nature of degradation with a functional analysis of the engine elements and its lubrication subsystem. Next, it is necessary to describe the influencing factors and their limiting values. It is important to understand that in a complex technical system, factors work together to enhance the destructive effect. To clarify the rate of oil degradation, formulas for assessing the abrasive, corrosive and adhesive wear of engine components are proposed, in addition to existing methods. The direction of further research is the study of indicators of abrasive, oxidative and adhesive wear, as well as the development of predictive models for determining the limiting state of engine components.

Key words: mining dump truck, internal combustion engine, lubricating oil, degradation, failure, additive, technical diagnostics, maintenance.

For citation: Kuzin E. G., Shalkov A. V. Analysis of degradation factors of motor oil in mining dump trucks. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2025;(12-3):100—116. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2025_123_0_100.

Введение

Для обеспечения эффективной работы двигателя моторное масло должно обладать рядом важных свойств. Помимо главной функции — снижения трения за счет смазки, моторное масло должно обеспечивать охлаждение, защиту от коррозии, подавление вибраций и очистку поверхностей от загрязнений, износа и остаточных продуктов сгорания топлива [1]. В тоже время, деградация моторного масла и его несвоевременная замена ускоряет износ и коррозию внутренних компонентов двигателя, что приводит к его отказам и снижению эксплуатационных характеристик. Под деградацией будем понимать естественные процессы старения масла при соблюдении регламентируемых условий эксплуатации. Отклонения от нормативных условий эксплуатации приводят к ускоренным темпам старения и преждевременной потере маслом ряда своих свойств.

Экологические требование систематически ужесточаются, и следование крупнейших горнодобывающих компаний ESG-стратегии предполагают снижение нагрузки на окружающую среду и повышение эффективности в добыче каждой тонны полезного ископаемого.

При этом следует отметить, что тенденция уменьшение габаритных размеров и объема камеры сгорания двигателя, вызванное экологическими требованиями, существенно изменили процессы окисления и разрушения присадок моторного масла [2, 3]. Снижение вредных выбросов по результатам исследований авторов [4], достигается наилучшим образом за счет отключения части цилиндров при работе на холостом ходу и с малыми нагрузками. При этом наблюдается незначительное увеличение расхода топлива. Какие процессы при этом происходят в смазочном масле не рассмотрено. Высокая степень форсировки моторов, применение турбонаддувных систем, использование метано-дизельного топлива, требуют соответственного

учета при оценке состояния характеристик смазочного масла и элементов двигателя. Изменение геометрии камер сгорания, повышение компрессии, отказ от некоторых присадок в угоду экологическим требованиям оказывают влияние на состояние смазочного масла и контактирующие поверхности пар трения. Следует заметить, что практически всегда улучшение в одном месте приводит к ухудшению в другом. Так, вероятная утилизация отработанного масла путем его сжигания, для получения тепловой энергии, вынуждает отказываться от высокоэффективных противоизносных присадок. Тем самым происходит ускоренное разрушение «разрешенных» присадок, что в конечном итоге приводит к сокращению межремонтного периода. Сжигание отработанного масла самый неэффективный способ его утилизации, но эта проблема требует отдельного направления исследования.

В работах авторов [5, 6] рассмотрены актуальные вопросы удаленного мониторинга технического состояния компонентов транспортных систем, связанных с неуклонным развитием и внедрением беспилотной карьерной техники.

На скорость потери маслом своих функциональных характеристик влияют условия эксплуатации автомобиля, при этом значительную роль играют такие факторы, как концентрация пыли во всасываемом воздухе, температура окружающей среды (зимой до — 35 °С, летом +30 °С) и нагрузка. К особенно жестким условиям работы, которые могут ускорить деградацию масла, относятся движение с уклонами свыше 80 ‰, а также совместные действия значительных уклонов и малых радиусов поворотов (близких к минимально допустимым). Отдельным вопросом является исследование и учет влияния на надежность узлов самосвала химической агрессивности реагентов, применяемых для обработки дорожного покрытия [6].

Следующий тренд производителей эксплуатационных материалов — разработка синтетических масел с повышенными сроками эксплуатации направленный на снижение общего уровня затрат на эксплуатацию.

Повышению надежности горных и транспортных машин уделяется особое внимание, включающее методический системный подход и организационные вопросы управления производством, широко внедряемые специалистами Челябинского НИИОГР и Уральского отделения РАН [7, 8].

Актуальность выбранного направления показывают исследования зарубежных авторов. В работе [9], авторы показывают важность планирования интервалов профилактического обслуживания для повышения надежности транспортных машин до 80%. Авторами работы [10] рассматривается эффективность работы самосвалов в условиях горно-обогатительного комбината. Причем, исследователи из разных стран показывают схожие результаты по статистике отказов, где одной из основных причин отказов (порядка 20 — 30%) является двигатель карьерного самосвала [11, 12].

Перспективными направлениями повышения надежности горнотранспортных машин, по результатам ряда исследований являются:

– вопросы установки податливых элементов, для демпфирования колебаний [13];

– повышение энергетической эффективности [14], в том числе по результатам технической диагностики [15];

– модифицирование смазочных материалов под систематическим контролем [16, 17].

Повышение надежности горнотранспортной машины за счет повышения энергоэффективности достигается путем уменьшения сил сопротивления движению. Ведь задача любой силовой установки — это преодоление вредных и полезных сил сопротивления движению. Уменьшение сил сопротивления качения и скольжения достигается путем применения качественных смазочных материалов, центровки и балансировки вращающихся узлов, применения соответствующих подшипников, соблюдение рационального температурного режима и т.д. Одна только центровка валов позволяет снизить расход энергии до 7–10% [18].

Огромный спектр вопросов направленных на развитие цифровых технологий, внедрения экспертных моделей на основе узкого искусственного интеллекта для автоматизации оценки технического состояния и последующего назначения работ по техническому обслуживанию предстоит решить ученому сообществу [19, 20]. Разработка моделей предиктивной аналитики, для прогнозирования вероятных сроков наступления отказов и их предотвращения является отдельной веткой в этом направлении [21].

Из всего многообразия направлений в настоящей работе остановимся на исследованиях способов оценки состояния различных свойств смазочного масла, как одной из важнейших подсистем, обеспечивающих надежность и ресурс двигателя карьерного самосвала. Основным постулатом является понимание того, что избыточное техническое обслуживание увеличивает расходы из-за ненужной замены масла, а недостаточное — повышает риск отказов двигателя. Это предопределяет необходимость разработки более эффективных методов обслуживания карьерных автомобилей, которые основаны на фактическом состоянии масла.

Основная часть

Методы исследования оценки характеристик смазочного масла включают проведение отбора проб и последующие лабораторные испытания. Методы стандартизованы в разных странах, основные приведены в табл. 1 [22].

Таблица 1

Стандартизованные методы исследования моторных масел
Standardized methods for the research of motor oils

№	Наименование метода	Обозначение стандартов
1	Кинематическая вязкость при 40°C	ГОСТ 33, ASTM D 2196, ISO 3104
2	Базовое щелочное число (TBN)	ГОСТ 30050-93, ASTM D 4379, ISO 3771-77
3	Определение вспениваемости	ГОСТ 32344-2013, ASTM D 6082
4	Содержание воды К. Фишер	ГОСТ ЕН 12937, ASTM D 6304, ISO 12937
5	Общее кислотное число (AV)	ГОСТ 11362, ASTM D 664
6	Температура вспышки (закрытый тигль)	ГОСТ 6356, ASTM D 93, ISO 2719
7	Спектральный анализ продуктов износа	ГОСТ 20758-90, ASTM D 6595
8	Механические примеси (мембранная фильтрация)	ГОСТ 6370, ГОСТ 10577, ASTM D 4055
9	Класс чистоты	ГОСТ 17216, ISO 4406-2021, NAS 1638, SAE 4059

Кроме того — достаточной информацией обладает капельная хроматография и оценка индекса износа на четырехшариковой машине трения (Данилогорский Д. И. [23]). Большим объемом диагностической информации обладает рентгенофлуорисцентная спектрометрия и оценка формы и размера частиц под микроскопом (Kumbar V. [24], Yicong Xu [25], Субаева А. К. [26]).

Результаты исследований показывают, что на темпы окисления влияет режим работы и качество топлива [27, 28], состав функциональных присадок [29], а также состав пыли образующейся на карьерных автодорогах [30, 31].

Авторами работы [32], обоснованы процессы возникновения разности потенциалов в цилиндро-поршневой группе за счет возникновения микросмещений контактирующих поверхностей (дислокаций) и высвобождения электронов, ускоряющих процессы окисления масла.

Разработке математических моделей для прогнозирования деградации смазочных материалов на основе данных отбора проб посвящены исследования Yicong Xu, Guo Zhiwei [25], Malaguti Roney, Lourenco Nuno [33], Emrullah Hakan Kaleli [34].

Описанию типов, причин и мер борьбы с деградацией смазочных материалов крупных двигателей в процессе их эксплуатации посвятили свои труды Утаев С. А. [35], Адгамов И. Ф. [36], Шаталов К. В. [37], Mohammad Maher Kallas [38], С. В. Путинцев, С. П. Деменкова [39].

Анализ различных нагрузок, которые испытывает смазочный материал в двигателе, а также изучение причин разрушения масла в агрессивных условиях работы входит в круг научных интересов В. М. Краснова, Н. Д. Стёпина [40], M. Michal [41].

Несмотря на активный интерес ученых к рассматриваемой проблематике, а также значительное количество публикаций, ряд ключевых моментов все еще требует уточнения и более детального описания. Так, отдельного внимания заслуживает разработка более прогрессивных подходов к прогнозированию свойств моторного масла без необходимости отбора проб на основании простых и надежных датчиков. Не получили еще должного развития вопросы, касающиеся понимания взаимодействия масла и топлива в случаях, когда используются альтернативные виды горючего, например, в синтетические углеводороды, биологические виды топлива, что предопределяет новые механизмы деградации и природа протекания реакции.

Развитие беспилотных систем транспорта на горнодобывающих предприятиях, равно как и беспилотных выемочно-погрузочных машин, вспомогательного оборудования, ставят задачи эффективного управления надежностью и безопасностью указанных систем. Разработка прогнозных моделей износа пар трения, разрушения присадок, окисление базовых компонентов смазочного масла требуют понимания природы деградации (на основе совокупности физических и химических законов). Системный подход позволяет оценить проблему комплексно и учесть всю совокупность факторов влияющих на темпы деградации смазочных материалов и компоненты двигателя.

Таким образом, рассмотрим основные компоненты системы смазки, и оценим вклад каждого компонента на состояние и параметры смазочного моторного масла.

Функциональный анализ системы смазки двигателя

Рассмотрим основные и дополнительные функции системы смазки дви-

гателя карьерного автосамосвала, как одну из подсистем. Анализ компонентов и их функции приведены в табл. 2.

Каждый компонент, выполняя основные и дополнительные функции, вносит определенный вклад в изменение параметров и характеристик смазочного масла. Кроме внутренних факторов системы смазки, на состояние масла оказывают влияние смежные системы и надсистема. Иерархических градаций надсистем может быть несколько, нас же в данном случае интересует все вышестоящие надсистемы, которые мы назовем «Система эксплуатации машины» (СЭМ). В надсистему входят: условия эксплуатации (горнотехнические, климатические и т.п.); качество и полнота технического обслуживания и ремонта (ТОиР); уровень профессионализма эксплуатационного персонала (водители); уровень организации и управления технологическим процессом (от горных мастеров до директора предприятия). Схема влияющих факторов приведена на рис. 1.

Так, сама система смазки вносит накопление продуктов износа, вызванных процессами трения (абразивный, адгезионный и усталостный износ), коррозии (электрохимическая коррозия, фреттинг-коррозия, окисление различными газами), кавитационный износ (в области сопряжения маслоподводных каналов с подшипниками скольжения), эрозионный износ и т.п. При этом негативное воздействие оказывают смежные системы (соседи). Топливная система вносит загрязнение в масла в виде сложных углеводородов. Воздушная система привносит компоненты абразивной пыли (оксиды алюминия и кремния). Система охлаждения (при наличии неплотностей) добавляет в масло этиленгликоль. Неполадки в выхлопной (газоудалительной) системе привносят сажу (сложные углеводороды).

Кроме этого система контроля и управления двигателем, включая датчики температуры, давления, различные регулировки и прочее также оказывают косвенное влияние на темпы

Таблица 2

Основные функциональные компоненты подсистемы смазки двигателя
The main functional components of the engine lubrication subsystem

Подсистема системы смазки ДВС	Основные компоненты	Основная функция	Дополнительные функции
Система циркуляции	Масляный насос, маслопроводы, каналы, клапаны, датчик давления	Создание избыточного давления в системе и подача масла к парам трения	Удаление продуктов износа, охлаждение, компенсация зазоров клапанов, работа натяжителей цепей
Система фильтрации	Масляный фильтр, каналы, клапаны	Очистка масла от примесей и продуктов износа	—
Система охлаждения/подогрева	Масляный радиатор, каналы, клапаны, датчик температуры	Стабилизация свойств масла	—
Система вентиляции картера	Фильтр-сетка, каналы, клапаны	Удаление избыточных газов и паров	Дожигание отработанных газов

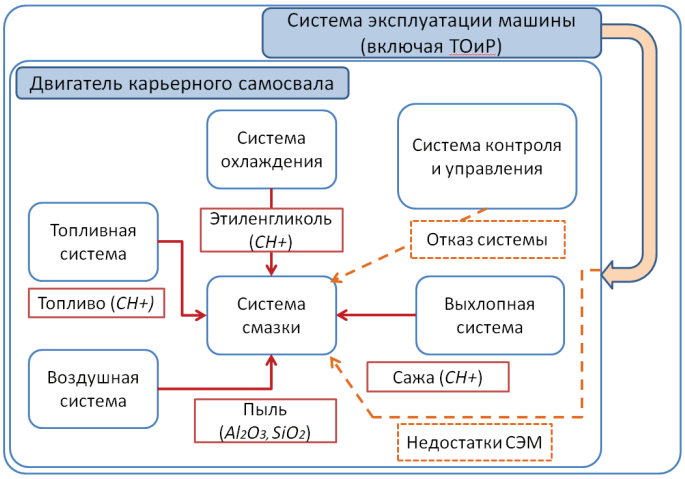

Рис. 1. Влияние систем двигателя и надсистемы на систему смазки и параметры масла
Fig. 1. The influence of adjacent engine and supersystem systems on the lubrication system and oil parameters

деградации масла и физическое разрушение компонентов двигателя.

Внешняя система эксплуатации карьерной техники, также оказывает косвенное влияние на процессы износа всех узлов машины, при этом данная надсистема является и управляющим фактором (т.е. может улучшать состояние машины путем правильного технического сервиса).

Модель оценки параметров масла по характеру износа

Существует множество факторов (переменных), влияющих на деградацию моторного масла, поэтому в каждом конкретном случае потеря функциональных характеристик будет происходить по-разному, и конечный эффект также будет отличаться. На рис. 2 приведены основные виды процессов разрушения элементов двигателя, приводящие в конечном итоге к отказам. Понимая, что многие виды износа действуют совместно, вклад некоторых, например для цилиндропоршневой группы, практически соизмерим. В работе [42] приводятся данные по анализу отказов подшипников коленчатого вала, где абразивный износ существенно преобладает.

В то же время систематический анализ содержания частиц и химических элементов в смазочном масле позволяет оценивать остаточный ресурс деталей и прогнозировать сроки наступления отказов [43].

Принято считать, что деградация масла и отказы двигателя в целом — относятся к категории сложных процессов, поэтому их точное моделирование для прогнозирования случаев отказа является крайне затруднительным. При этом, используя системный подход, с некоторой долей упрощения, рассмотрим имитационную модель оценки состояния масла в структуре системы технического обслуживания и ремонта учитывающую природу деградации и диагностические признаки моторного масла.

Схематическое изображение модели представлено на рис. 3. При этом главной функцией системы технического обслуживания и ремонта является обеспечение эффективности работы авто-

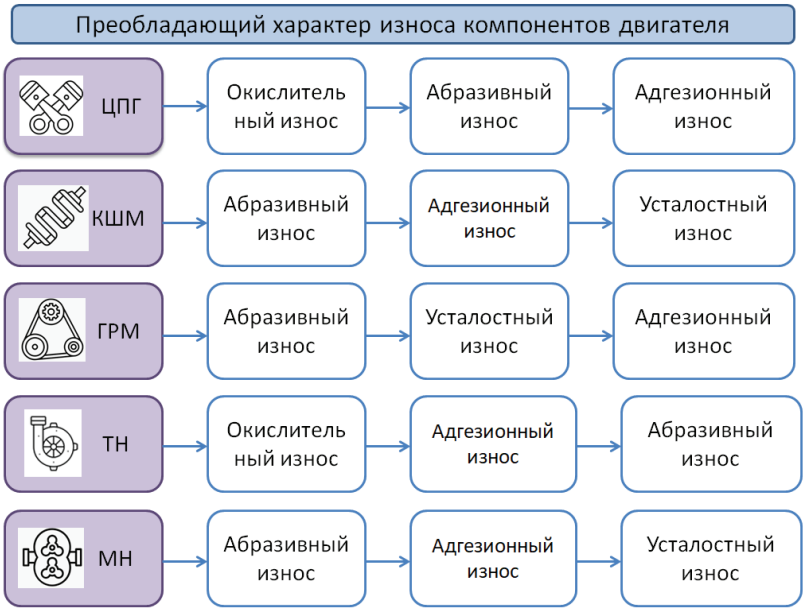

Рис. 2. Преобладающий характер износа компонентов дизельного двигателя карьерного самосвала по мере убывания значимости слева — направо: ЦПГ — цилиндро-поршневая группа, КШМ — кривошипно-шатунный механизм, ГРМ — газо-распределительный механизм, ТН — турбонагнетатель, МН — масляный насос

Fig. 2. The predominant wear pattern of diesel engine components mining dump truck as the significance decreases from left to right: CPG — cylinder-piston group, CCRM — crank-connecting rod mechanism, GDM — timing belt — gas distribution mechanism, TN — turbocharger, OP — oil pump

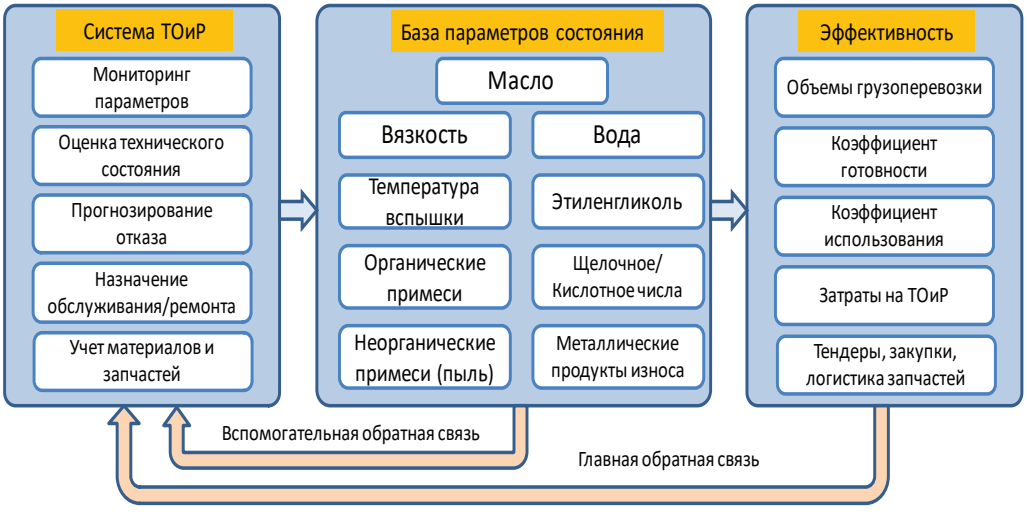

Рис. 3. Модель оценки параметров состояния масла в системе управления эффективностью производства

Fig. 3. A model for estimating oil condition parameters in a production efficiency management system

мобильного карьерного транспорта. Наличие вспомогательной обратной связи позволяет оценить техническое состояние двигателя и назначить необходимое обслуживание или вывести двигатель в ремонт.

Главная обратная связь позволяет оценивать показатели эффективности, управлять объемами грузоперевозок, затратами на ТОиР, а также планировать закупки и рационально распределять финансовые активы.

Итак, можно отметить, что когда смазочное масло деградирует, его способность выполнять ключевые функции снижается, что приводит к следующим негативным явлениям:

1. Деградация смазочного масла снижает его способность образовывать защитную пленку между металлическими деталями, что приводит к увеличению трения металл-металл, усиливая износ деталей двигателя.

2. Деградировавшее масло обладает низкой смазывающей способностью и высокой вязкостью, снижая трение менее эффективно. Это влияет на экономию топлива и эффективность работы двигателя.

3. Старое масло имеют меньшую способность к теплоотдаче, что повышает температуру в локальных точках двигателя.

4. Масло, загущенное тяжелыми фракциями, препятствует адекватной смазке деталей двигателя из-за засорения масляных каналов асфальтенами.

5. Деградировавшее масло недостаточно защищает двигатель от коррозии.

6. Неисправности в смежных системах двигателя приводят к ускоренному износу всех остальных компонентов.

7. Масло с неподходящими характеристиками сокращает рабочий ресурс одного из важных и дорогостоящих агрегатов — двигателя карьерного самосвала.

Недавние исследования преждевременных отказов двигателей карьерных самосвалов и дизель-гидравлических экскаваторов показывают износ цилиндро-поршневой и шатунной группы продуктами износа (стружкой) шестерен масляного насоса. Оказалось, в связи с невозможностью поставки оригинальных запасных частей, а именно шестерен и фильтров, происходит разрушение рабочих поверхностей маслонасосов и проникновение стружки в масляную магистраль.

Выводы и обсуждения

Деградация смазочного масла является наиболее распространенной причиной повреждения двигателя карьерного самосвала. Основными факторами, которые отрицательно влияют на производительность моторного масла и ускоряют его деградацию, являются окисление, загрязнение примесями и продуктами износа, разложение и истощение присадок. Природа деградации имеет физическую и физико-химическую основу.

Помимо измерения предельного количества химических элементов, степень потери маслом работоспособности и уровень износа узлов трения двигателя целесообразно определять по скорости накопления химических элементов. Для повышения достоверности оценки, предлагается ввести показатели темпов износа, связанные с физической природой разрушения деталей двигателя.

Показатели темпов абразивного износа могут быть представлены в виде:

$$P_{абр} = \frac{q_{ki}}{q_{Si}} \qquad (1)$$

где q_{ki} — концентрация характеризующего износ i-го химического элемента, г/т; q_{Si} — концентрация элемента кремния (пыль), г/т.

Показатели темпов окислительного (коррозионного) износа могут быть представлены в виде:

$$P_{кор} = \frac{\sum q_{ki}}{TBN} \quad (2)$$

где Σq_{ki} — суммарная концентрация характеризующих окислительный износ i-х химических элементов, г/т; *TBN* — базовое щелочное число, мг(KOH)/г.

Показатели темпов адгезионного износа могут быть представлены в виде:

$$P_{адг} = \frac{\sum n_{ki}}{T_p} \quad (3)$$

где Σn_{ki} — суммарное количество характеризующих адгезионный износ обнаруживаемых хлопьевидных микрочастиц металла в масле, шт; $T_р$ — время работы, ч.

Кроме указанных критериев, практика показывает, что топливо в масле ухудшает смазывание цилиндро-поршневой группы из-за истончения масляной пленки. Наличие воды в виде свободной влаги или водо-масляной эмульсии приводит к локальному перегреву отдельных участков трибосопряжений, кавитации и питтингу поверхности. Так загрязнение топливом или водой может стать причиной неплановой остановки двигателя.

В случае обнаружения воды и топлива в масле более определенного количества требуется его очистка с использованием сорбентов или же полная замена. В данном случае потери вызванные отказом машины значительны. Точное количество содержания влаги и топлива, при котором необходимо выводить машину в ремонт требует уточнения. Так, например, в холодное время года в масляной системе образуется конденсат, при его обнаружении можно отправить машину в ремонт, однако после прогрева двигателя и работе его в течение около 30 ÷ 60 мин конденсат удаляется, не нанося ощутимого ущерба трибосопряжениям.

Описанные физические и физико-химические процессы действуют совместно, усиливая темпы ухудшения свойств масла и, следовательно, ускоряют износ трибосопряжений двигателя.

Направления дальнейших исследований, на основании проведенного анализа следует посвятить контролю показателей темпов абразивного, адгезионного и окислительного износов, выбору рациональных и достоверных методик их оценки. Повышение ресурса двигателя карьерного самосвала представляет комплексную задачу включающую обоснование рациональных сроков замены моторного масла, управление ремонтным циклом и прогнозирование наступления предельного состояния узлов двигателя.

Заявленный вклад авторов

Кузин Евгений Геннадьевич — научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, разработка модели, анализ данных и написание текста, формулировка выводов;

Шальков Антон Владимирович — выполнение работ по систематизации материала, обзор литературы, постановка исследовательской задачи, концептуализация исследования, анализ данных и написание текста.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Химченко, А. В.* Планирование эксперимента для определения зависимости изменения щелочного числа моторного масла от эксплуатационных факторов в пределах одного срока замены / А. В. Химченко // Наука в центральной России. — 2024. — № 5. — С. 94–104.

2. Улучшение энергетических и экологических характеристик поршневых ДВС при переходе на бензоэтанольное топливо / А. А. Абрамов, А. В. Апелинский, К. С. Руновский, В. П. Белов // Известия МГТУ МАМИ. — 2013. — Т. 1, № 2(16). — С. 101–106. — EDN RXTIGB.

3. *Максимов, И. В.* Влияние размеров форсунки и формы камеры сгорания на показатели газодизеля / И. В. Максимов, В. В. Синявский, М. Г. Шатров // Двигателестроение. — 2025. — № 2(300). — С. 51–60. — EDN DJICXP.

4. *Гоц, А. Н.* Снижение расхода топлива дизелей за счет отключения части цилиндров при работе на режимах холостого хода / А. Н. Гоц, В. Ф. Гуськов, А. М. Темнов // Современные наукоемкие технологии. — 2020. — № 6–2. — С. 234–240. — DOI 10.17513/snt.38098. — EDN HCCRHY.

5. *Сафиуллин, Р. Н.* Системный подход к эффективному применению интеллектуальных транспортных технологий в функциональной диагностике элементов и устройств транспортных средств / Р. Н. Сафиуллин, А. Ф. Залюбовский, К. В. Сорокин // Технико-технологические проблемы сервиса. — 2024. — № 2(68). — С. 56–63. — EDN BLEPZY.

6. *Залюбовский, А. Ф.* Функциональная диагностика элементов и устройств транспортных средств на основе системного подхода / А. Ф. Залюбовский // Известия Международной академии аграрного образования. — 2024. — № 72. — С. 15–21. — EDN GZOPZP.

7. *Андреева, Л. И.* Методический подход к оценке состояния горной техники и целесообразного срока ее эксплуатации / Л. И. Андреева // Горное оборудование и электромеханика. — 2021. — № 6(158). — С. 38–43. — DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-38–43.

8. *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.

9. *Rahmani, Zakariya*. Reliability analysis of a fleet of mining trucks (A case study in Iran). Z. Rahmani, M. Rahimdel & H. Noferesti // Journal of Geomine. 2023. — № 1(2). — P. 68–74. DOI 10.22077/jgm.2023.6638.1012.

10. *Myrzabekov, N.* Dump Truck Operational Efficiency: A Case Study of the Don Mining and Processing Plant / N. Myrzabekov, A. Karazhanov, A. Murzagaliev et al. // International Journal of Transport Development and Integration. — 2025. — № 9(1). — P. 197–208. DOI 10.18280/ijtdi.090119.

11. *Rahimdel, M. J.* Bayesian network approach for reliability analysis of mining trucks. *Science Report* **14**, 3415 — 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-52694-0.

12. *Dinkar B. Kishorilal*, *Alok K.* Mukhopadhyay. Reliability investigation of diesel engines used in dumpers by the Bayesian approach / *Kuwait Journal of Science*. — 2018. — № 45 (4) pp 15– 25.

13. *Муминов, Р. О.* Повышение надежности и долговечности буровых станков за счет понижения динамических нагрузок / Р. О. *Муминов, Г. Е. Райханова, Д. А.* Кузиев // Уголь. — 2021. — № 5(1142). — С. 32–36. — DOI 10.18796/0041-5790-2021-5-32–36.

14. *Решетняк, С. Н.* Актуальные аспекты повышения энергетической эффективности технологического транспорта компании АК «Алроса» / С. Н. Решетняк, Д. А. Кузиев, Ф. Э. Уроков // Научные разработки: Евразийский регион: международная научная конференция теоретических и прикладных разработок, Москва, 20 мая 2019 года. — Москва: Инфинити, 2019. — С. 231–237.

15. Оценка энергоэффективности транспортных установок по результатам технической диагностики / А. А. Хорешок, Е. Г. Кузин, А. В. Шальков [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2017. — № 5(123). — С. 79–85. — DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-79–84.

16. *Аметов, В. А.* Анализ эффективности модифицирования моторных масел при эксплуатации автотранспортных средств / В. А. Аметов, А. В. Шальков // Ученые записки Крымского инженерно-педагогического университета. — 2020. — № 3(69). — С. 207–212.

17. *Shalkov, A. V.* Evaluation of heavy-duty vehicles engine life with controlled modification of engine oil / A. V. Shalkov, A. Kuznetsov, E. G. Kuzin // E3S Web of Conferences: VIth International Innovative Mining Symposium, Kemerovo, 19–21 октября 2021 года. Vol. 315. — Kemerovo: EDP Sciences, 2021. — P. 03001.

18. *Чехлатый, Н. А.* Влияние соосности валов на энергетические характеристики роторных турбомашин и электроагрегатов / Н. А. Чехлатый, Т. Н. Паламарчук, В. Ю. Тимохина // Сборник научных трудов Донецкого института железнодорожного транспорта. — 2024. — № 1(72). — С. 79–93. — EDN JIPPGN.

19. Организация работ по оценке весомости отказа ресурсоопределяющих систем карьерного гусеничного экскаватора / А. Э. Салимов, Е. И. Шешукова, Д. А. Шибанов, С. Л. Иванов // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство. — 2025. — № 30. — С. 93–98. — DOI 10.26160/2658-3305-2025-30–93–98. — EDN SYVDMT.

20. *Салимов, А. Э.* Риски отказов карьерного экскаватора, связанные с его техническим обслуживанием и ремонтом / А. Э. Салимов, Д. А. Шибанов, С. Л. Иванов // Горная промышленность. — 2024. — № 2. — С. 97–102. — DOI 10.30686/1609-9192-2024-2-97–102. — EDN AVQVRI.

21. *Кузин, Е. Г.* Предиктивный технический сервис приводов ленточных конвейеров на основе анализа параметров смазочного масла / Е. Г. Кузин, М. С. Мамаева, Д. С. Комаров // Горное оборудование и электромеханика. — 2025. — № 3(179). — С. 48–60. — DOI 10.26730/1816-4528-2025-3-48–60. — EDN LUGDAH.

22. Перечень физико-химических показателей рабочего моторного масла, необходимых для диагностики работы двигателя внутреннего сгорания автомобильного транспорта. Режим доступа: http://www.mortestspb.ru/index.php?s=01030000&view=3.

23. *Данилогорский, Д. И.* Анализ процесса старения моторного масла в двигателе внутреннего сгорания / Д. И. Данилогорский, Б. Джан, А. Д. Бреки // Интеллектуальная трибология в машиностроении: BALT TRIBO 2024: Материалы 1-й Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, Россия, 21–22 июня 2024 года. — Санкт–Петербург: ПОЛИТЕХ–ПРЕСС, 2024. — С. 314–321. — DOI 10.18720/SPBPU/2/id24–264.

24. *Kumbár, V., & Dostál, P.* Oil additive and its effect. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, — 2013. — №61(3), P. 691–697. doi: 10.11118/actaun201361030691.

25. *Yicong Xu.* Wear Condition Evolution of Cylinder Liner-Piston Ring on the Two-Stroke Marine Diesel Engine Through Long-Term Monitoring and Analysis of Cylinder Oil / Xu Yicong, Guo Zhiwei // Lubrication Science. — 2025. — Vol. 56. — P. 77–83. Xu, Y., Guo, Z., Rao, X., Yin, H., Jiang, S., Wu, M., Zhou, L. and Yuan, C. (2025), Wear Condition Evolution of Cylinder Liner-Piston Ring on the Two-Stroke Marine Diesel Engine Through Long-Term Monitoring and Analysis of Cylinder Oil. Lubrication Science. https://doi.org/10.1002/ls.1748.

26. Современные методы контроля качества масел / А. К. Субаева, М. М. Замальдинов, И. Р. Салахутдинов [и др.] // Вестник Казанского государственного технического университета им. А. Н. Туполева. — 2024. — Т. 80, № 2. — С. 16–20.

27. *X. Hou, Y. Wang, L. Dai, et al*. Study on the Corrosion and Wear Behaviors of Cylinder Liner in Marine Diesel Engine Burning Low Sulfur Fuel Oil / Engineering Failure Analysis. — 2023. — № 147 (107151). https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107151.

28. *Peng, Chen*. Wear Test of Cylinder Liner and Piston Ring of Marine Diesel Engine Based on Computer Simulation Technology. Journal of Physics: Conference Series. — 2021. — № 2074. 012033. DOI: 10.1088/1742–6596/2074/1/012033.

29. *Глущенко, А. А.* Показатели и технические средства для оценки и восстановления эксплуатационных свойств моторного масла / А. А. Глущенко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. — 2008. — № 11. — С. 254–258.

30. Influence of the antioxidant properties of lubricants on the wear of agricultural machinery parts / Z. X. *Alimova, N. A. Kholikova, S. O. Kholova, K. G.* Karimova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent. — 2021. — P. 012037. — DOI 10.1088/1755–1315/868/1/012037.

31. *Утаев, С. А.* Влияние размеров частиц механических примесей на износ деталей газовых двигателей / С. А. Утаев // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: Сборник научных трудов 5-ой Международной научно-практической конференции, Курск, 04–05 июня 2015 года / Ответственный редактор: *Горохов А. А.*. — Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2015. — С. 310–312.

32. Диагностирование двигателя внутреннего сгорания по суммарной ЭДС в парах трения / И. Р. *Салахутдинов, А. А. Глущенко, С. Н.* Петряков [и др.] // Сельский механизатор. — 2020. — № 8. — С. 26–27.

33. *Roney Malaguti*. A supervised machine learning model for determining lubricant oil operating conditions / Malaguti Roney, Lourenço Nuno // Expert Systems. — 2022. — Vol 40, iss. 5. — P. 22–29.

34. *Emrullah Hakan Kaleli* Experimental investigation of the effect of tribological performance of reduced graphene oxide additive added into engine oil on gasoline engine wear / Kaleli Emrullah Hakan // Lubrication Science. — 2022. — Vol. 35, iss. 2. — P. 37–44.

35. *Утаев, С. А.* К математическому моделированию изменения содержания загрязняющих примесей моторных масел газовых двигателей / С. А. Утаев // Современные материалы, техника и технологии. — 2015. — № 2(2). — С. 167–172. — EDN UNUUJH.

36. *Адгамов, И. Ф.* К вопросу разработки отечественных методов оценки эксплуатационных свойств моторных масел для двухтактных бензиновых двигателей / И. Ф. Адгамов, А. В. Иванов // Труды 25 ГосНИИ МО РФ. — 2024. — № 62. — С. 289–304.

37. Метод оценки склонности моторных масел к образованию низкотемпературных отложений на деталях дизеля / К. В. Шаталов, М. Д. Прокопцова, Д. А. Уханов, И. Ф. Адгамов // Вестник Технологического университета. — 2025. — Т. 28, № 1. — С. 99–106. — DOI 10.55421/1998–7072_2025_28_1_99.

38. Maher Kallas Mohammad. Experimental Comparison of the Effect of Using Synthetic, Semi-Synthetic, and Mineral Engine Oil on Gasoline Engine Parts Wear / Mohammad Maher Kallas // Advances in Tribology. — 2024. — Vol. 20, iss. 1. — P. 108–114.

39. *Путинцев, С. В.* Обоснование и направление конструкционной адаптации поршневого двигателя к смазыванию энергосберегающим сверхмаловязким моторным маслом / С. В. Путинцев, С. П. Деменкова // Двигателестроение. — 2024. — № 4 (298). — С. 39–54.

40. *Краснов, В. М.* Мониторинг показателей моторного масла для оценки состояния двигателей / В. М. Краснов, Н. Д. Стёпин // Труды НАМИ. — 2022. — № 1 (288). — С. 91–96.

41. *Michal Michalec*. Comparative Wear and Friction Analysis of Sliding Surface Materials for Hydrostatic Bearing under Oil Supply Failure Conditions / Michalec Michal // Advanced Engineering Materials. 2024. — Vol. 14. — P. 76–82.

42. *Vencl, A.* Diesel Engine Crankshaft Journal Bearings Failures: Case study / A. Vencl, A. Rac // Engineering Failure Analysis. — 2014. — Vol.44. — pp. 217–228.

43. *Кузин, Е. Г.* Предиктивное управление техническим состоянием горных транспортных машин / Е. Г. Кузин // Горное оборудование и электромеханика. — 2023. — № 1(165). — С. 41–49. — DOI 10.26730/1816-4528-2023-1-41–49. ГИАБ

REFERENCES

1. Khimchenko, A. V. Planning an experiment to determine the dependence of changes in the alkaline number of engine oil on operational factors within a single replacement period. A. V. Khimchenko. *Science in Central Russia*. 2024. no. 5. pp. 94–104.

2. Improving the energy and environmental characteristics of reciprocating internal combustion engines during the transition to benzoethanol fuel. A. A. Abramov, A. V. Apelinsky, K. S. Runovsky, V. P. Belov. *Izvestiya MGTU MAMI*. 2013. Vol. 1, no. 2(16). pp. 101–106. EDN RXTIGB.

3. Maksimov I. V., Sinyavsky V. V., Shatrov M. G. The influence of the nozzle size and the shape of the combustion chamber on the performance of gas diesel. 2025. no. 2(300). pp. 51–60. EDN DJICXP.

4. Gotz, A. N. Reduction of diesel fuel consumption by turning off part of the cylinders when idling. A. N. Gotz, V. F. Guskov, A. M. Temnov. *Modern science-intensive technologies*. 2020. no. 6–2. pp. 234–240. DOI 10.17513/snt.38098. EDN HCCRHY.

5. Safiullin, R. N. A systematic approach to the effective use of intelligent transport technologies in the functional diagnostics of elements and devices of vehicles. R. N. Safiullin, A. F. Zalyubovsky, K. V. Sorokin. *Technical and technological problems of service*. 2024. № 2(68). pp. 56–63. EDN BLEPZY.

6. Zalyubovsky, A. F. Functional diagnostics of elements and devices of vehicles based on a systematic approach. A. F. Zalyubovsky. *Proceedings of the International Academy of Agrarian Education*. 2024. no. 72. pp. 15–21. EDN GZOPZP.

7. Andreeva, L. I. A methodological approach to assessing the condition of mining equipment and the reasonable life of its operation. L. I. Andreeva. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2021. no. 6(158). pp. 38–43. DOI 10.26730/1816-4528-2021-6-38–43.

8. Andreeva, L. I. An approach to evaluating the effectiveness of the system of technical maintenance and repair of dump trucks. L. I. Andreeva, Yu. Y. Ushakov. *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*. 2018. no. 1(1417). pp. 97–102.

9. Rahmani, Zakariya. Reliability analysis of a fleet of mining trucks (A case study in Iran). Z. Rahmani, M. Rahimdel & H. Noferesti. *Journal of Geomine*. 2023. no. 1(2). pp. 68–74. DOI 10.22077/jgm.2023.6638.1012.

10. Myrzabekov, N. Dump Truck Operational Efficiency: A Case Study of the Don Mining and Processing Plant. N. Myrzabekov, A. Karazkhanov, A. Murzagaliev et al.. *International Journal of Transport Development and Integration*. 2025. no. 9(1). pp. 197–208. DOI 10.18280/ijtdi.090119.

11. Rahimdel, M. J. Bayesian network approach for reliability analysis of mining trucks. Science Report 14, 3415 2024. https://doi.org/10.1038/s41598-024-52694-0.

12. Dinkar B. Kishorilal, Alok K. Mukhopadhyay. Reliability investigation of diesel engines used in dumpers by the Bayesian approach. *Kuwait Journal of Science*. 2018. no. 45 (4). pp 15–25.

13. Muminov, R. O. Improving the reliability and durability of drilling machines by reducing dynamic loads. R. O. Muminov, G. E. Raykhanova, D. A. Kuziev. *Coal*. 2021. № 5(1142). pp. 32–36. DOI 10.18796/0041-5790-2021-5-32–36.

14. Reshetnyak, S. N. Actual aspects of improving the energy efficiency of technological transport of Alrosa. S. N. Reshetnyak, D. A. Kuziev, F. E. Uchekhi. Scientific developments:

Eurasian region: International Scientific Conference of theoretical and Applied developments, Moscow, May 20, 2019. Moscow: Infiniti, 2019. pp. 231–237.

15. Assessment of energy efficiency of transport installations based on the results of technical diagnostics. A. A. Khoreshok, E. G. Kuzin, A. V. Shalkov [et al.]. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2017. no. 5(123). pp. 79–85. DOI 10.26730/1999-4125-2017-5-79–84.

16. Ametov, V. A. Analysis of the effectiveness of engine oil modification in the operation of motor vehicles. V. A. Ametov, A. V. Shalkov. *Scientific notes of the Crimean Engineering and Pedagogical University*. 2020. no. 3(69). pp. 207–212.

17. Shalkov, A. V. Evaluation of heavy-duty vehicles engine life with controlled modification of engine oil. A. V. Shalkov, A. Kuznetsov, E. G. Kuzin. E3S Web of Conferences: VIth International Innovative Mining Sym-posium, Kemerovo, October 19–21, 2021. Vol. 315. Kemerovo: EDP Sciences, 2021. P. 03001.

18. Chehlaty, N. A. The influence of shaft alignment on the energy characteristics of rotary turbomachines and electric units. N. A. Chehlaty, T. N. Palamarchuk, V. Yu. Timokhina. Collection of scientific papers of the Donetsk Institute of Railway Transport. 2024. no. 1(72). pp. 79–93. EDN JIPPGN.

19. Organization of work to assess the severity of failure of resource–determining systems of a quarry crawler excavator. A. E. Salimov, E. I. Sheshukova, D. A. Shibanov, S. L. Ivanov. Transport, mining and construction engineering: science and production. 2025. no. 30. pp. 93–98. DOI 10.26160/2658-3305-2025-30–93–98. EDN SYVDMT.

20. Salimov, A. E. The risks of mining excavator failures associated with its maintenance and repair. A. E. Salimov, D. A. Shibanov, S. L. Ivanov. *Mining industry*. 2024. no. 2. pp. 97–102. DOI 10.30686/1609-9192-2024-2-97–102. EDN AVQVRI.

21. Kuzin, E. G. Predictive technical service of belt conveyor drives based on the analysis of lubricating oil parameters. E. G. Kuzin, M. S. Mamaeva, D. S. Komarov. *Mining equipment and electromechanics*. 2025. no. 3(179). pp. 48–60. DOI 10.26730/1816-4528-2025-3-48–60. EDN LUGDAH.

22. The list of physico-chemical parameters of the working engine oil necessary for diagnostics of operation of the engine of internal combustion of motor transport. Access mode: http://www.mortestspb.ru/index.php?s=01030000&view=3.

23. Danilogorsky, D. I. Analysis of the aging process of engine oil in an internal combustion engine. D. I. Danilogorsky, B. Jan, A. D. Breki. Intelligent Tribology in Mechanical engineering: BALT TRIBO 2024: Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Conference, St. Petersburg, Russia, June 21–22, 2024. Saint Petersburg: POLYTECH PRESS, 2024. pp. 314–321. DOI 10.18720/SPBPU/2/id24–264.

24. Kumbár, V., & Dostál, P. Oil additive and its effect. Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis, 2013. no. 61(3), pp. 691–697. doi: 10.11118/actaun201361030691.

25. Yicong Xu. Wear Condition Evolution of Cylinder Liner-Piston Ring on the Two-Stroke Marine Diesel Engine Through Long-Term Monitoring and Analysis of Cylinder Oil. Xu Yicong, Guo Zhiwei. Lubrication Science. 2025. Vol. 56. pp. 77–83. Xu, Y., Guo, Z., Rao, X., Yin, H., Jiang, S., Wu, M., Zhou, L. and Yuan, C. (2025), Wear Condition Evolution of Cylinder Liner-Piston Ring on the Two-Stroke Marine Diesel Engine Through Long-Term Monitoring and Analysis of Cylinder Oil. Lubrication Science. https://doi.org/10.1002/ls.1748.

26. Modern methods of oil quality control. A. K. Subaeva, M. M. Zamaldinov, I. R. Salakhutdinov [and others]. *Bulletin of Kazan State Technical University named after A. N. Tupolev*. 2024. Vol. 80, no. 2. pp. 16–20.

27. X. Hou, Y. Wang, L. Dai, et al. Study on the Corrosion and Wear Behaviors of Cylinder Liner in Marine Diesel Engine Burning Low Sulfur Fuel Oil. Engineering Failure Analysis. 2023. no. 147 (107151). https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107151.

28. Peng, Chen. Wear Test of Cylinder Liner and Piston Ring of Marine Diesel Engine Based on Computer Simulation Technology. *Journal of Physics: Conference Series*. 2021. № 2074. 012033. DOI: 10.1088/1742–6596/2074/1/012033.

29. Glushchenko, A. A. Indicators and technical means for assessing and restoring the operational properties of engine oil. A. A. Glushchenko. Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University. 2008. no. 11. pp. 254–258.

30. Influence of the antioxidant properties of lubricants on the wear of agricultural machinery parts. Z. X. Alimova, N. A. Kholikova, S. O. Kholova, K. G. Karimova. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Tashkent. 2021. P. 012037. DOI 10.1088/1755–1315/868/1/012037. EDN RZPCUY.

31. Utaev, S. A. The influence of particle sizes of mechanical impurities on the wear of gas engine parts. S. A. Utaev. Innovations, quality and service in engineering and technology: Proceedings of the 5th International Scientific and Practical Conference, Kursk, 04–05 June 2015. Responsible editor: Gorokhov A. A.. Kursk: Closed Joint Stock Company "University Book", 2015. pp. 310–312.

32. Diagnostics of an internal combustion engine by total EMF in friction pairs. I. R. Salakhutdinov, A. A. Glushchenko, S. N. Petryakov [et al.]. *Rural mechanizer*. 2020. no. 8. pp. 26–27.

33. Roney Malaguti. A supervised machine learning model for determining lubricant oil operating conditions. Malaguti Roney, Lourenço Nuno. Expert Systems. 2022. Vol 40, iss. 5. pp. 22–29.

34. Emrullah Hakan Kaleli Experimental investigation of the effect of tribological performance of reduced graphene oxide additive added into engine oil on gasoline engine wear. Kaleli Emrullah Hakan. Lubrication Science. 2022. Vol. 35, iss. 2. pp. 37–44.

35. Utaev, S. A. Towards mathematical modeling changes in the content of pollutants in engine oils of gas engines. S. A. Utaev. Modern materials, machinery and technologies. 2015. no. 2(2). pp. 167–172.

36. Adgamov, I. F. On the issue of developing domestic methods for evaluating the performance properties of engine oils for two-stroke gasoline engines. I. F. Adgamov, A. V. Ivanov. Proceedings of the 25th State Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation. 2024. no. 62. pp. 289–304.

37. A method for assessing the propensity of engine oils to form low-temperature deposits on diesel engine parts. K. V. Shatalov, M. D. Prokoptsova, D. A. Ukhanov, I. F. Adgamov. *Bulletin of the Technological University*. 2025. Vol. 28, no. 1. pp. 99–106. DOI 10.55421/1998–7072_2025_28_1_99.

38. Maher Kallas Mohammad. Experimental Comparison of the Effect of Using Synthetic, Semi-Synthetic, and Mineral Engine Oil on Gasoline Engine Parts Wear. Mohammad Maher Kallas. *Advances in Tribology*. 2024. Vol. 20, iss. 1. P. 108–114.

39. Putintsev, S. V. Substantiation and direction of structural adaptation of a piston engine to lubrication with energy-saving ultra-viscous engine oil. S. V. Putintsev, S. P. Demenkova. *Engine building*. 2024. no. 4 (298). pp. 39–54.

40. Krasnov, V. M. Monitoring of engine oil parameters to assess the condition of engines. V. M. Krasnov, N. D. Stepin. Proceedings of the National. 2022. no. 1 (288). pp. 91–96.

41. Michal Michalec. Comparative Wear and Friction Analysis of Slid-ing Surface Materials for Hydrostatic Bearing under Oil Supply Failure Condi-tions. Michalec Michal. Advanced Engineering Materials. 2024. Vol. 14. pp. 76–82.

42. Vencl, A. Diesel Engine Crankshaft Journal Bearings Failures: Case study. A. Vencl, A. Rac. *Engineering Failure Analysis*. 2014. Vol.44. pp. 217–228.

43. Kuzin, E. G. Predictive management of the technical condition of mining transport vehicles. E. G. Kuzin. *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2023. no. 1(165). pp. 41–49. DOI 10.26730/1816-4528-2023-1-41–49.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузин Евгений Геннадьевич — канд. техн. наук, доцент, https://orcid.org/0000-0002-8737-7577, доцент кафедры технологии и комплексной механизации горных работ, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, 653039, Прокопьевск, Кемеровской области, ул. Ноградская 19а, Россия, email: kuzinevgen@gmail.com;
Шальков Антон Владимирович — https://orcid.org/0000-0003-4488-6539 старший преподаватель кафедры информационных технологий, машиностроения, Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, филиал в г. Прокопьевске, 653039, Прокопьевск, Кемеровской области, ул. Ноградская 19а, Россия, email: prk-s@yandex.ru.
Для контактов: *Кузин Евгений Геннадьевич*, email: kuzinevgen@gmail.com.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuzin E. G., Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Head of the Department of Scientific and Technical Development of Kuzbass State Technical University, KuzSTU branch in Prokopyevsk, 653039, 19a, Nogradskaya str., Prokopyevsk, Russian Federation, e-mail: kuzinevgen@gmail.com;
Shalkov A. V., Senior lecturer at the Department of Information Technology, Mechanical Engineering and Motor Transport of Kuzbass State Technical University, KuzSTU branch in Prokopyevsk, 653039, 19a, Nogradskaya str., Prokopyevsk, Russian Federation, e-mail: prk-s@yandex.ru.
Corresponding author: *Kuzin E. G.*, e-mail: kuzinevgen@gmail.com.

Получена редакцией 30.05.2025; получена после рецензии 14.11.2025; принята к печати 24.11.25.
Received by the editors 30.05.2025; received after the review 14.11.2025; accepted for printing 24.11.25.