

Научная статья

УДК 622.647.2, 621.89

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-48-61

Кузин Евгений Геннадьевич *, Мамаева Мария Сергеевна, Комаров Дмитрий Сергеевич

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева

* для корреспонденции: kuzinegen@gmail.com

ПРЕДИКТИВНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ СЕРВИС ПРИВОДОВ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПАРАМЕТРОВ СМАЗОЧНОГО МАСЛА**Информация о статье**

Поступила:

05 мая 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

30 июня 2025 г.

Принята к печати:

01 сентября 2025 г.

Опубликована:

09 октября 2025 г.

Ключевые слова:

смазочное масло, присадки, деградация, методы оценки параметров, технический сервис, предиктивное обслуживание, горные машины, транспортные машины, приводные станции, шахтные конвейеры

Аннотация.

Повышение эксплуатационной надежности горно-шахтного оборудования, и, как следствие, эффективности и роста производства продолжает оставаться актуальной задачей для предприятий топливно-энергетического комплекса. Высокий технический уровень продукции горного машиностроения способен обеспечивать безаварийную и энергоэффективную работу шахт, разрезов и обогатительных фабрик. Одним из компонентов, определяющих техническое состояние горных машин, являются смазочные материалы. Приводится краткий анализ истории развития присадок в смазочных маслах. Даются основные сведения о назначении и функциях присадок. Рассмотрен краткий анализ истории развития методов оценки состояния масла по различным параметрам. Входной контроль параметров смазочного масла позволяет оценить качество масла и возможность его использования для конкретного типа оборудования или даже конкретной машины. Показывается, что в процессе эксплуатации оказываются различными скорость деградации масла, потеря диспергирующих, противопенных и моющих присадок, а также накопление механических примесей в одинаковых расчетных условиях. Систематический отбор проб и определение основных параметров, таких как вязкость, температура вспышки, содержание железа, кремния, меди и некоторых других компонентов позволяют не только определить рациональные сроки замены масла, но и путем возможных корректировок некоторых параметров также позволяют продлить срок службы редукторов в конкретных условиях эксплуатации. В статье приводится обоснование оперативного анализа смазочного масла в редукторах ленточных конвейеров. Приводятся результаты исследования параметров масла начиная от ввода в эксплуатацию и по истечению двадцати шести месяцев эксплуатации в подземных горных условиях. Данные исследования позволяют реализовать проактивное техническое обслуживание приводов ленточных конвейеров и тем самым получить экономический эффект при их эксплуатации. Рассмотрены направления дальнейшего развития наук о трении и смазочных материалах.

Для цитирования: Кузин Е.Г., Мамаева М.С., Комаров Д.С. Предиктивный технический сервис приводов ленточных конвейеров на основе анализа параметров смазочного масла // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 5 (181). С. 48-61. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-48-61, EDN: KZZJAG

Введение

Современные экономические условия требуют обеспечения рационального расходования ресурсов горных машин и оборудования, а также энергоэффективности эксплуатации. Надежность приводов горнотранспортных машин зависит в том числе и от кинематической износостойкости пар трения. Стесненные подземные условия требуют компактных габаритных размеров приводных станций, что в свою очередь повышает требования к нагрузке на сопрягаемые узлы подшипников, шестерен и дру-

гих элементов. Решения данных требований реализуются путем повышения износостойкости, контактной прочности материалов пар трения и разработкой высокоэффективных синтетических смазочных материалов. При этом высокая износостойкость узлов трения поддерживается маслом соответствующего типа и марки [1]. Базовые масла наполняются противозадирными, диспергирующими, противопенными, антиокисляющими и другими присадками.

Рассмотрение проблем развития науки о смазочных материалах и процессах смазки, этапах и противоречиях остается весьма актуальным. Снижение износа металлических материалов, повышение эксплуатационного ресурса обусловлено в первую очередь постепенным истощением запасов руд черных и цветных металлов, снижением доли богатых и легко извлекаемых запасов. Во вторую очередь, снижение трения в трибосопряжениях приводит к снижению потерь энергии и, соответственно, к уменьшению вредного воздействия на экологию, связанного с ее получением.

Представляя теорию развития и ограничения систем, важно понять исторические предпосылки появления и совершенствования разнообразных присадок к смазочным материалам, появления самостоятельных наук трибология и химмотология. Трибология при этом рассматривает явления физических, химических, биологических, механических

и других процессов, связанных с внутренним и внешним трением твердых и жидких тел при их взаимном перемещении. Химмотология в свою очередь исследует эксплуатационные свойства горюче-смазочных материалов и их взаимосвязь с объектами применения – техническими машинами. Совместное развитие указанных наук выражается в целые научные дисциплины, разрабатываемые для механиков различных отраслей.

Требования перехода от планово-предупредительного обслуживания к предиктивному техническому сервису горных машин диктуются внешними условиями, включающими увеличение добычи угля в Кузбассе [2], задачами повышения технического ресурса тяговых органов подъемных и транспортных машин [3] и базируются на накопленном опыте и современной технической базе устройств контроля и автоматики. Непрерывно развивается создание новых силовых приводов и

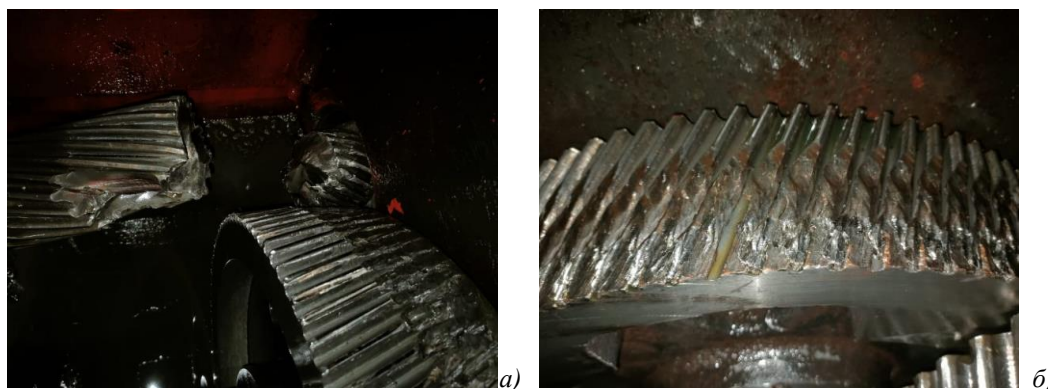


Рис. 1. Поломка редуктора в результате неправильной эксплуатации: а) – поломка быстроходного вала-шестерни полностью; б) – изношенные зубья с одной стороны зубчатого колеса
Fig. 1. Gearbox failure as a result of improper operation: a) – complete breakdown of the high-speed gear shaft; b) – worn teeth on one side of the gear wheel

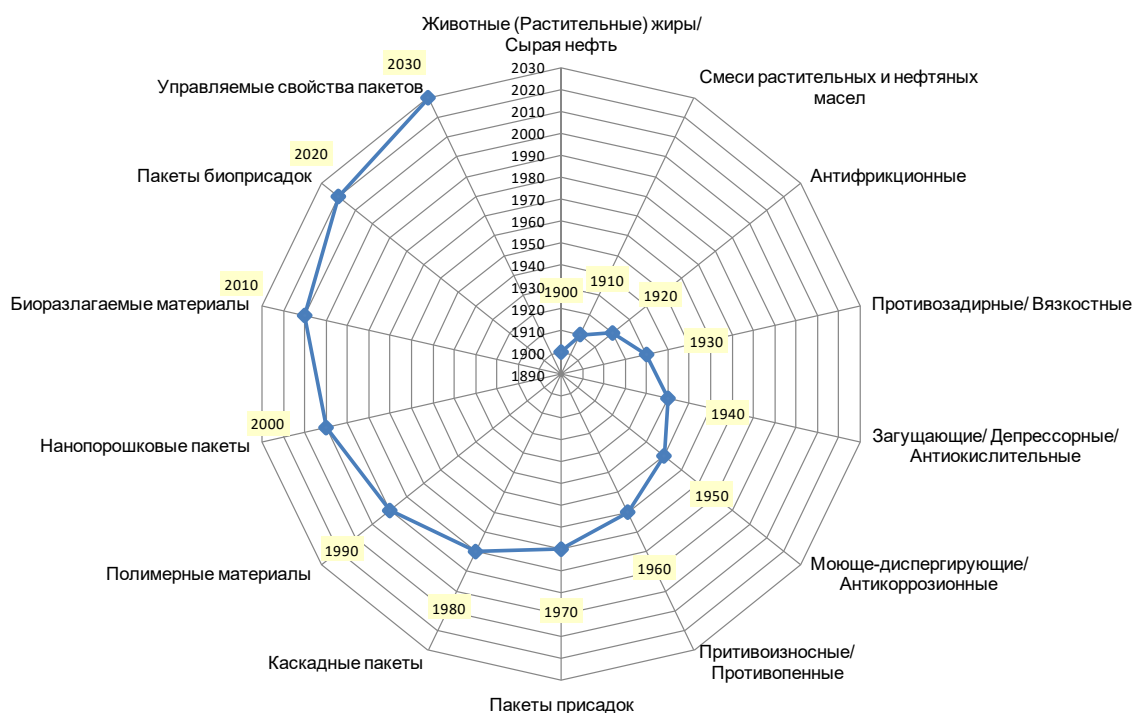


Рис. 2. Диаграмма развития и появления типов присадок к смазочным маслам
Fig. 2. Diagram of the development and appearance of types of additives to lubricating oils

трансмиссий горных машин, обладающих простой и надежной системой управления скоростью и моментом [4]. Цифровые технологии уверенно внедряются в горном деле, активно исследуются динамические процессы [5], наблюдается активное увеличение патентования конструкций систем беспилотного движения и цифровых систем диспетчеризации [6].

Отдельного внимания заслуживает современный подход к подготовке горных инженеров-механиков, уделяющих должное внимание вопросам смазывания. До недавнего времени существовала тенденция только заливать чистое масло в редуктор, а излишки сами вытекают на почву или площадку. Заливали два типа масла – И-20 (зимой), И-40 (летом), если оно еще было на складе. Иногда вообще заливали отработку из моторного масла карьерных самосвалов. Последствия подобных экспериментов приведены на Рис. 1, когда быстроходный вал редуктора переломился, а до этого, вероятно, уже произошло стачивание зубьев шестерни. По анализу поломки можно сделать вывод, что редуктор длительное время работал в режиме перегрузки, с высокой степенью вероятности этому способствовал дефект подшипников (зубья рабочего колеса выкрашены с одной стороны).

Предотвратить неплановые отказы редукторов возможно, используя методы предиктивной аналитики и проактивного подхода к системе сервисного обслуживания, строго придерживаясь рекомендаций завода изготовителя, с учетом фактического состояния параметров и характеристик смазочных материалов. При отклонении характеристик смазочного масла от нормативного целесообразно провести его замену для предотвращения сложного и дорогого ремонта.

Анализ развития присадок в смазочных маслах и их свойства

Рассмотрим историю возникновения и эволюции присадок, при этом основной фокус в данном исследовании будет направлен на редукторные и трансмиссионные масла.

Так, до 1900 годов применялись в основном животные или растительные жиры (масла) и сырая нефть. Разработанная Д. И. Менделеевым технология по получению масел (олеоафтов) из мазутов тяжелых фракций в 1878 – 1880 годах и создание В. И. Рагозиным заводов по производству смазочных масел позволили вытеснить более дорогие животные жиры [7]. Ориентировочные периоды появления различных присадок и ожидаемый прогноз до 2030 года представлены на диаграмме (Рис. 2). Одними из первых стали появляться антифрикционные (понижающие трение) и стабилизирующие вязкость присадки (1920 – 1930 годы). С 1940 годов активно развиваются присадки, снижающие окисление масла и коррозионную активность по отношению к механизмам [8, 9].

Несмотря на длительную историю появления некоторых типов присадок, большинство продолжает активно развиваться и совершенствоваться на базе появления новых синтетических материалов, а также технологий их получения. Совершенствуются

также методы оценки параметров и взаимодействия материалов присадок с материалами трущихся компонентов.

По результатам исследований [10] эффективность диспергаторов растет за счет увеличения количества ОН-групп и NH-групп в соединениях пропоксилированных аминов с органическими кислотами. Авторами работы [11] доказано, что высокой устойчивостью коллоидной дисперсии к действию воды обладают полусинтетические щелочные сульфонаты кальция. Оценка диспергирующих свойств масел может определяться по концентрации моющих присадок [12].

Для промышленных и редукторных масел наибольшее значение имеют противозадирные присадки. Функциональный механизм трибологических противозадирных агентов включает сложные физико-химические взаимодействия в условиях высокого сдвига и экстремального давления в пятнах контакта [13]. Противозадирные свойства обеспечиваются химическими соединениями, содержащими фосфор, серу или хлор, которые образуют на границе контактирующих пар трения пленки сульфида или фосфата железа [14, 15]. Существенное влияние на физические параметры процесса изнашивания невозможно оказать, при этом управление этим процессом возможно путем получения оптимальных параметров физико-механических свойств и топографии поверхностей трения [16]. В работе [17] показано, что максимальная температура поверхностей трения деталей механических передач не превышает 250 – 300°C, но контактные напряжения достигают 3500 – 4000 МПа, при этом требуются полярные добавки, прикрепляющиеся к поверхностям трения в условиях граничной и смешанной смазки.

Склонность смазочных масел к образованию пены зависит от их химического состава, вязкости, поверхностного натяжения, попадания загрязнений и условий эксплуатации масел (температура, скорость циркуляции, интенсивность перемешивания) [18]. При работе редуктора масло подвергается перемешиванию и резким микроударным воздействиям от зубьев шестерен, что приводит к образованию пузырьков воздуха, ухудшает текучесть смазочного масла, уменьшаются смазывающие свойства, в некоторых случаях возможно образование воздушной пробки, поэтому некоторые детали не смазываются и изнашиваются или спекаются [19]. Наличие пузырьков пены в пятнах контакта повышает трение и может вызвать питтинг металла. Химические вещества, обладающие низким межфазным натяжением, относят к группе противопенных присадок. Противопенные присадки уменьшают контакт масла с воздухом и ослабляют стенки пузырьков, позволяя им лопаться [20, 21].

В качестве противопенной присадки активно используются кремнийорганические соединения – полиметилсилоксаны. Необходимо оценивать растворимость присадки в маслах из нефти для выбора ее концентрации [22].

Работа приводных станций ленточных конвейеров в зависимости от места установки происходит в

различных температурных условиях. Возможны относительно стабильные режимы в магистральных ленточных конвейерах в подземных условиях, в которых температура воздуха круглый год колеблется от +12° С до + 22° С, а соответствующая

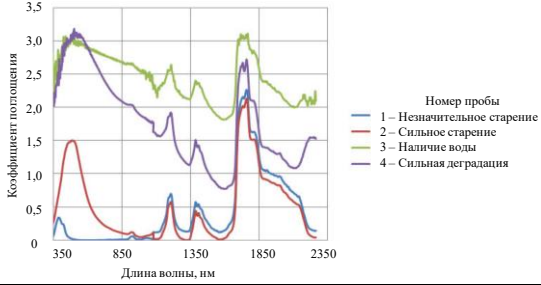
температура смазочного масла от +12° С (при простое более 4 часов) до + 85°С в периоды длительной работы с максимальной производительностью (здесь мы не оговариваем неисправности системы охлаждения и сознательно создаваемые перегрузки

Таблица 1. Присадки в смазочные масла и их основные функции

Table 1. Additives in lubricating oils and their main functions

Тип присадки	Назначение	Типовые соединения	Основные функции
Антифрикционные присадки (Lubricating additives)	Снижение трения и износа	Фосфорные эфиры, сульфоли- зед олефины, металлические дитиофосфаты, дитиофосфат молибдена, диалкилдитиофос- фат цинка и сурьмы	Образование плотных масляных за- щитных пленок, заполняющих микро- неровности и разделение пар трения
Противозадирная при- скадка (EP – extreme pressure additives)	Снижение трения и износа для высоких контактных нагрузок, предотвращение за- еданий и задигов	Диалкилдитиофосфат цинка, Алкилдитиофосфат, сернистые жиры, кислые фосфаты, суль- фида, дисульфиды	Хемосорбционная связь молекул мас- ла с поверхностью металла с образо- ванием твердой защитной пленки с меньшим сопротивлением сдвигу
Противоизносные при- скадки (Anti-wear additives)	Снижение трения и износа, повышение липкости масла	Жирные спирты, амиды, слож- ные эфиры, соединения фосфо- ра	Образование адсорбированной пленки масла на поверхности металла
Модификатор трения (Friction modifiers)	Регулирование коэф- фициента трения	Органические жирные кислоты и амины, высокомолекулярные органические эфиры фосфора и фосфорной кислоты	Избирательная адсорбция поверх- ностно-активных компонентов с силь- ной полярной группой, обеспечиваю- щая хорошее прилипание и длинная линейная цепочка, обеспечивающая хорошее скольжение (для снижения трения) или короткая линейная цепоч- ка, обеспечивающая хорошее сцепле- ние (для повышения трения)
Ингибитор коррозии (Anticorrosive additives)	Снижение темпов коррозии металличе- ских деталей	Дитиофосфаты цинка, металли- ческие феноляты, основные металлические сульфонаты, жирные кислоты и амины	Формирование защитной пленки пу- тем избирательной адсорбции поляр- ного компонента присадки на поверх- ность металла
Моющая присадка (Detergent additive)	Устранение отложе- ний и нейтрализация коррозионных кислот	Металлоорганические соедине- ния бария, кальция и магния, алкилбензолсульфонаты, фос- фонаты	Создание электростатических барье- ров, препятствующих образованию шлама и лака путем их нейтрализации и сохранения растворимости
Диспергирующий агент (Dispersant)	Удержание загрязне- ний и продуктов из- носа во взвешенном состоянии	Полимерные алкилтиофосфо- наты и алкилсукцинимиды, органические комплексы, со- держащие соединения азота	Загрязнения и продукты износа притя- гиваются молекулами диспергирую- щего агента, что предотвращает их агломерацию и последующее осажде- ние на металлических поверхностях
Противовибрационные присадки (Antichatter additives)	Уменьшение рывков и вибраций при рез- ком приложении нагрузки	Жирные кислоты, высшие спирты и амины, диалкилфос- фиты, полидисперсные нанопо- лимеры	Резкое загущение масла в зоне трения при сильном механическом воздей- ствии
Противопенные (Antifoam additives)	Предотвращение образования в масле стойкой пены	Силиконовые полимеры и ор- ганические сополимеры	Уменьшение поверхностного натяже- ния для ускорения схлопывания пены
Антиокислительные (Oxidation inhibitors)	Замедление окисле- ния масла	Дитиофосфаты цинка, про- странственно затрудненные фенолы, ароматические амины, сульфированные фенолы	Разложение пероксидов и связывание свободных радикалов
Депрессорная присадка (Depressant additive)	Обеспечение текуче- сти масла при низких температурах	Алкилированные нафталино- вые и фенольные полимеры, полиметакрилаты	Уменьшение кристаллообразования парафинов для снижения взаимной блокировки
Присадка для набухания уплотнений (Additive for swelling seals)	Препятствие утечкам масла в результате набухания эластич- ных уплотнителей	Органические фосфаты, арома- тические соединения, галоген- ированные углеводороды	Увеличение объема эластомера в ре- зультате химической реакции
Стабилизаторы вязкости (Viscous additives)	Снижение скорости изменения вязкости в зависимости от тем- пературы	Полиизобутилен, полимертак- рилаты, сополимеры олефинов (этилена, пропилена, бутилена), гидрированный сополимер стирола и бутадиена	Полимеры расширяются с увеличени- ем температуры, повышая вязкость, при снижении температуры полимеры скручиваются в спирали, снижая вяз- кость

Таблица 2. Анализ развития методов контроля параметров смазочного масла
Table 2. Analysis of the development of methods for controlling the parameters of lubricating oil

Период	Тип контроля	Критерии	Иллюстрации
1900 – 1940	Визуальный	Потемнение, наличие видимых примесей, эмульсий	
1930 – 1970	Капельная хроматография	Цвет, размеры и форма зон пятна на фильтровальной бумаге	
1920 – 1980	Определение вязкости (вискозиметры)	Отклонение вязкости более чем на 10%	
1930 – 1980	Определение температуры вспышки	Отклонение температуры вспышки более чем на 5%	
1950 – 2000	Определение механических примесей	Превышение критического количества примесей (г/т)	
1960 – 2010	Спектральный анализ химических компонентов (оптико-эмиссионный)	Превышение критического количества элементов (г/т)	
1970 – 2015	ИК-Фурье спектроскопия (качественный анализ)	Уровни поглощения в определенных длинах волн	
1980 – 2025	Рентгенофлуорисцентная спектроскопия (полный анализ элементов)	Превышение критического количества элементов (г/т)	

при погоне за рекордами). Следует отметить, что установка приводной станции в надшахтных галереях на поверхности вызывает значительные перепады температур окружающей среды от - 45° С до + 30° С, что соответствует температуре масла от - 45° С до + 110° С [23, 24].

Многочисленными исследованиями установлено, что вязкость масла существенно изменяется при изменении температуры [20, 25-27], а также то, что вязкость – один из важных показателей смазочного масла, определяющий базовые функции снижения трения, охлаждения, предотвращения схватывания и т. д. [14-16, 28]. При этом кинематическая вязкость масла является основным параметром, с которого начинается его выбор для того или иного механизма при обязательном учете температурных показателей эксплуатации горной машины. Так, слишком густое масло при низких температурах не полностью разделяет пары трения и вызывает деформацию уплотнений валов (выдавливание сальников и манжет). Другой крайностью является крайне неэффективная работа слишком жидкого масла, которое при этом, обладая высокой текучестью, проникает через уплотнения в окружающую среду.

Таким образом, стабилизация кинематической вязкости в различных температурных условиях представляет важную проблему и частично решается за счет присадок, стабилизирующих вязкость при изменении температуры (повышающих индекс вязкости).

Вязкостные присадки изменяют форму молекул присадки (полиизобутилен C_4H_8), имеют вид свернутой спирали меняющей расстояние между витками в зависимости от температуры. При высокой температуре молекула получается «длинная», имеет вид существенно разветвленной цепи и присоединяет силами адгезии ко всей своей поверхности окружающие углеводородные молекулы, повышая вязкость масла. При снижении температуры молекула присадки «сворачивается», как при сжатии пружины, ее поверхность уменьшается, при этом снижаются межмолекулярные силы, и вязкость масла уменьшается.

Основные функции присадок в смазочные масла, их основные компоненты и типовые химические соединения сведены в Таблицу 1 [29, 30].

Важно заметить, что различные компоненты присадок могут взаимодействовать между собой, при этом ухудшая (нейтрализуя) некоторые свойства, либо работают комплементарно (улучшая действие друг друга). При этом избыток присадок может неблагоприятно сказываться на работе масла, образуя нерастворимые отложения, повышая коррозионный износ, вызывая необратимые химические реакции.

Анализ развития методов контроля параметров смазочных материалов

В процессе эксплуатации под действием ряда факторов компоненты присадок разрушаются, в масле начинают накапливаться продукты износа, изменяются важные эксплуатационные характеристики. В Таблице 2 приведен анализ развития основных методов оценки, отражающих техническое состояние масла и критерии, по которым проводится оценка. Следует отметить, что периоды выбраны несколько условно и отражают активное развитие указанных типов контроля, многие методы в той или иной степени продолжают использоваться и в настоящее время, несмотря на огромный прогресс в развитии аналитического и исследовательского оборудования.

Анализ развития методов оценки смазочных масел, приведенный в настоящей работе, не претендует на всеобъемлющую полноту. Представленная в Таблице 2 информация позволяет обозреть развитие научных методов и показывает важность данных исследований, как и разработка новых смазочных материалов и присадок.

Большинство приведенных методов продолжает развиваться, дальнейшее развитие направлено на создание портативных аппаратов анализа или встраиваемых в систему для исключения процедуры отбора проб.

Методы контроля эксплуатационных материалов

Методические основы химмотологии, как показано в работе [31], включают следующие группы

Таблица 3. Квалификационные методы испытания редукторных масел

Table 3. Qualification methods for testing gear oils

№	Наименование работ	Обозначение НД на метод испытания
1	Плотность	ГОСТ 3900, ГОСТ Р 51069, ASTM D 1298, ISO 3675
2	Кинематическая вязкость при 40°С, 100°С	ГОСТ 33, ASTM D 445, ISO 3104
3	Индекс вязкости (расчетный)	ГОСТ 25371, ASTM D 2270, ISO 2909
4	Содержание воды по Дину Старка	ГОСТ Р 51946, ГОСТ 2477, ASTM D95, ISO 3733
5	Содержание воды К. Фишер	ГОСТ ЕН 12937, ASTM D 6304, ISO 12937
6	Температура вспышки (открытый тигль)	ГОСТ 4333, ASTM D 92, ISO 2719
7	Температура вспышки (закрытый тигль)	ГОСТ 6356, ASTM D 93, ISO 2719
8	Температура застывания / потеря текучести	ГОСТ 20287, ASTM D 97, ISO 3016
9	Механические примеси (мембранная фильтрация)	ГОСТ 6370, ГОСТ 10577, ASTM D 4055
10	Сульфатная зола	ГОСТ 12417, ASTM D 874, ISO 3987
11	Зольность	ГОСТ 1461
12	Коррозионное воздействие на металлы	ГОСТ 2917
13	ИК-Фурье спектроскопия	ASTM E 2412
14	Класс и код чистоты	ГОСТ 17216, ISO 4406

методов оценки эксплуатационных свойств горюче-смазочных материалов: лабораторные, стендовые, эксплуатационные. Большинство исследований в этой области направлено на оценку моторных масел, подвергающихся усиленной деградации при работе в агрессивных условиях высоких температур. В настоящей работе постараемся выделить и описать методы, пригодные для анализа редукторных и трансмиссионных масел.

Лабораторные (квалификационные) методы оценки свойств редукторных масел.

Для каждого типа редукторов и условий эксплуатации рекомендуется соответствующий тип редукторного масла, имеющего свои характеристики. Параметры, указанные в стандартах, определяют значение и границы допустимых отклонений, а также предельные уровни содержания компонен-

тов.

Практика показывает, что какими бы совершенными ни были отдельные квалификационные методы испытания, полная информация о свойствах масла становится доступной только при их комплексном применении [32].

Основные квалификационные методы оценки и соответствующие нормативные документы (НД) на метод испытания приведены в Таблице 3 [33].

Стендовые испытания масла проводят на рабочих механизмах, оборудованных метрологической аппаратурой высокой точности. По результатам стендовых испытаний строят динамические характеристики изменения физических и химических показателей смазочных масел, оценивают износ деталей методом микрометрирования. Проводятся, как правило, для исследования новых образцов

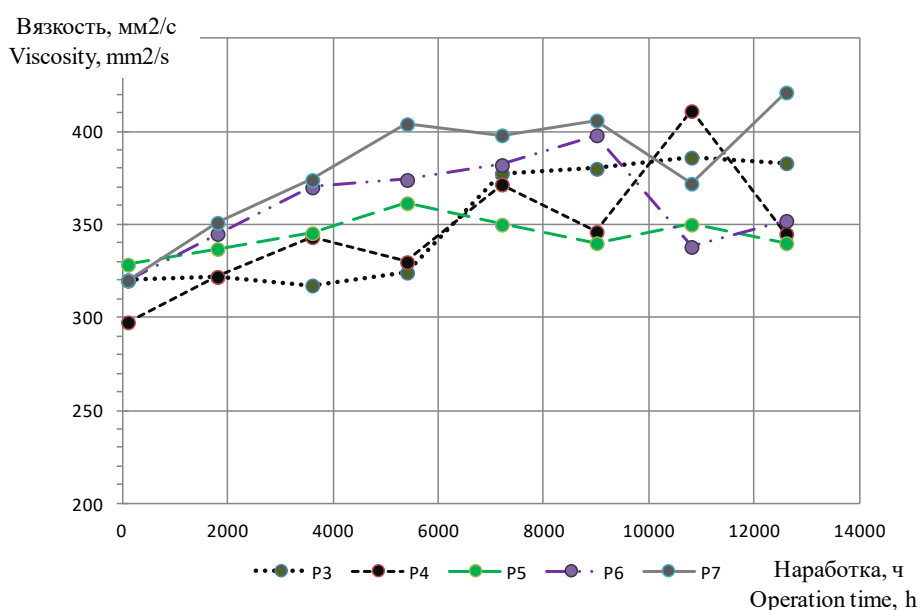


Рис. 3. Изменение кинематической вязкости от наработки
Fig. 3. Change in kinematic viscosity from operating time

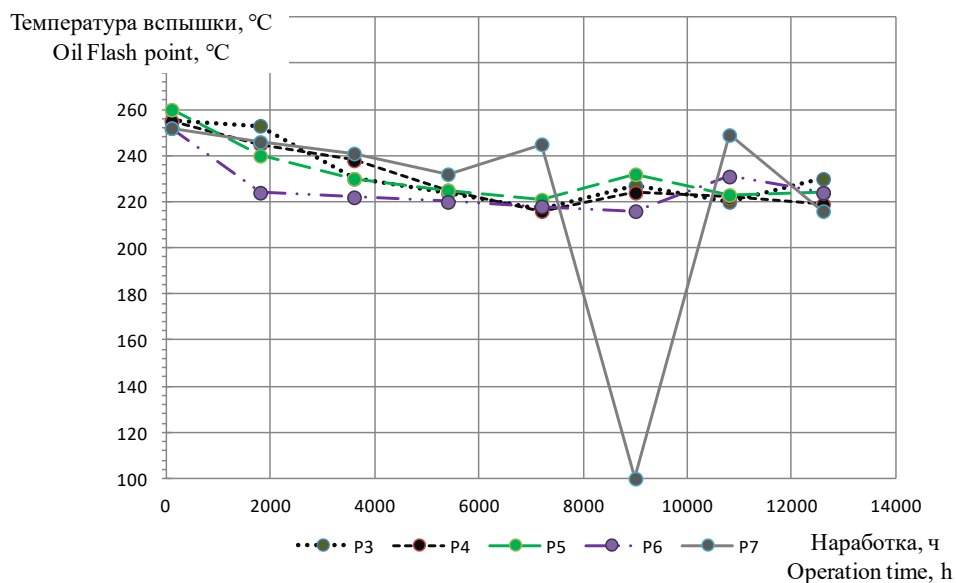


Рис. 4. Изменение температуры вспышки от наработки
Fig. 4. Change in flash point from operating time

смазочных материалов.

Эксплуатационные испытания выполняются на действующих машинах в условиях их фактической эксплуатации, при этом периодически отбираются пробы масла, исследуются их параметры и сравниваются с эталонными (товарными) образцами.

Таким образом, представленные методы показывают, что смазочные материалы не только выполняют главные функции, но и несут диагностическую информацию о техническом состоянии отдельных узлов и агрегатов горнотранспортной машины [34, 35].

В работах [36, 37] на основании проведенных исследований авторами рекомендуются следующие показатели для оперативной оценки промышленных, моторных и редукторных масел: кинематическая вязкость, диэлектрическая проницаемость, температура вспышки, кислотное и щелочное чис-

ла, спектральное поглощение, оптическая плотность и флуоресценция. Данные параметры позволяют оценить степень деградации (окисления и загрязнения) масла, работоспособность или отсутствие присадок и наличие воды.

Тренды создания новой методологии технического обслуживания и ремонтов горных машин и оборудования направлены на создание больших аналитических баз данных и обработки различных информационных показателей [38, 39]. Разрабатываются модели поддержки принятия решений по срокам замены масла и ремонта агрегатов при помощи нейронных сетей и других инструментов искусственного интеллекта. В настоящий период идет активное накопление данных, обучение нейросетевых помощников и разработка программных продуктов для различного типажного ряда машин, разрабатываются модели предельного состояния узлов

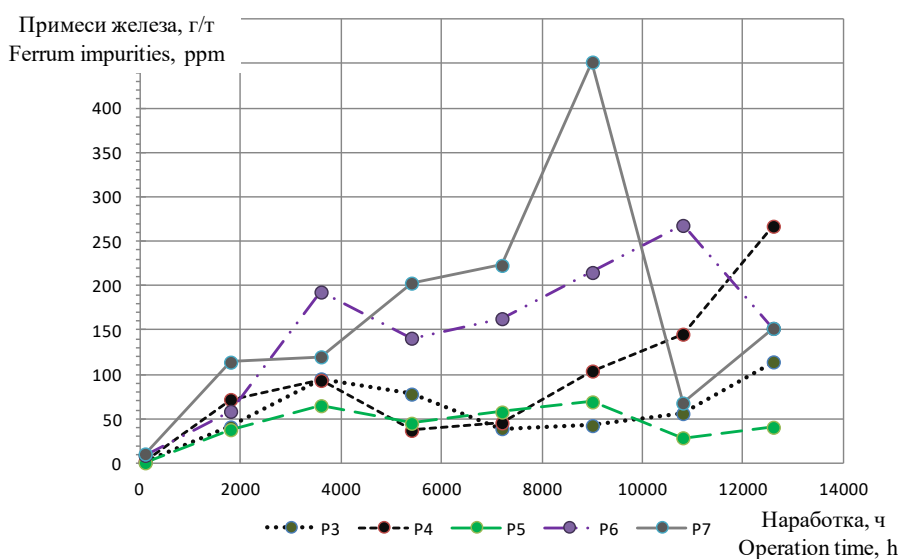


Рис. 5. Изменение количества примесей железа от наработки
Fig. 5. Change in the amount of ferrum impurities from operating time

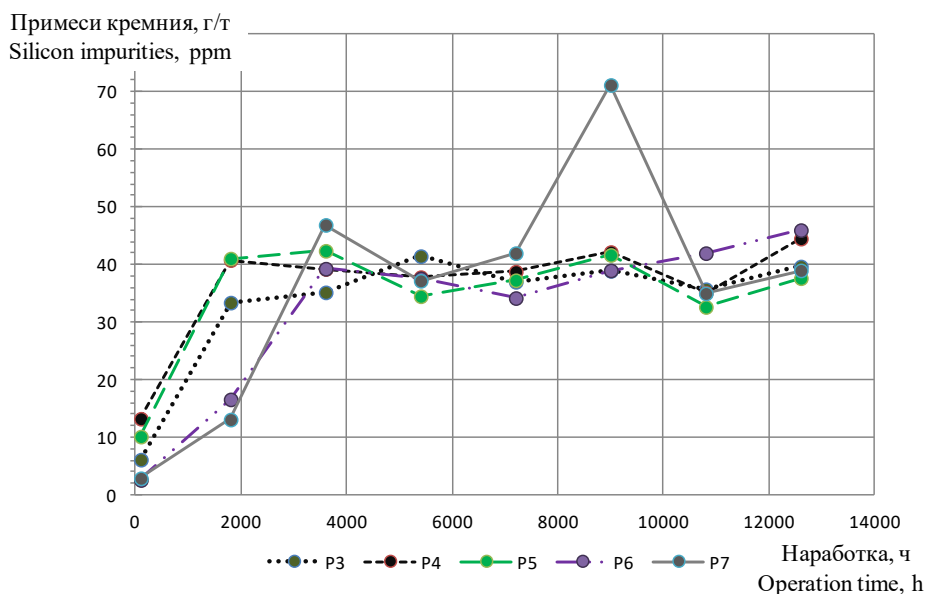


Рис. 6. Изменение количества примесей кремния от наработки
Fig. 6. Change in the amount of silicon impurities from operating time

[40, 41].

Результаты исследований

Для оценки технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров проводились исследования основных параметров редукторных масел типа Renolin 320 в течение около 26 месяцев. Результаты исследования изменения вязкости, температуры вспышки приведены на Рис. 3, 4.

Анализ графиков (Рис. 3, 4) показывает, что с наработкой кинематическая вязкость растет, а температура вспышки падает, что объясняется испарением легких фракций, разрушением присадок и окислением масла. При этом при замене масла часть масла остается и вязкость уже не равна вязкости чистого масла, хотя она тоже несколько отличается в самом начале работы редукторов. Сроки замены масла не соответствуют данным, установленным заводом изготовителем – раз в 12 месяцев (около 8700 часов наработки). Даже с учетом коэффициента использования машинного времени конвейеров порядка 0,87 – 0,89 масло деградирует. Поэтому кроме учета наработки в часах надо вести учет календарного времени и нагрузку на каждый привод (система позволяет оценивать нагрузку привода по току электродвигателя). В редуктор Р7 попала вода, из-за чего температуру вспышки заметить не удалось (масло закипело при 100°C).

Из всего многообразия металлических химических элементов, определяемых в пробе масла, основное значение имеют железо (Fe), из которого состоят базовые компоненты пар трения, и кремний (Si), характеризующий уровень попадающей в масло пыли.

Графики накопления железа и кремния представлены на Рис. 5 и 6 соответственно.

Анализ изменения накопления механических примесей железа характеризует темпы износа пар трения, а накопления кремния – попадания породной пыли, причем увеличение кремния вызывает ускоренные темпы износа. Это явно видно по графику при наработке 9000 часов. В значительной степени это может быть вызвано попаданием воды в смазочное масло в результате нарушения работы уплотнений.

Выводы и обсуждения

Проведенный анализ развития науки о трении и смазочных материалах, а также методов анализа основных параметров (показателей качества) показывает несомненную актуальность исследуемого вопроса. Множество работ посвящено созданию новых присадок и синтетических смазочных жидкостей. Отдельной веткой развиваются методы предиктивной аналитики. Опыт показывает, что для каждой конкретной машины и условий ее эксплуатации требуется разработка собственных характеристических критериев и диагностических признаков, а использование современных вычислительных возможностей искусственного интеллекта позволяет прогнозировать развитие неисправностей и, главное, вовремя принимать решения, как о замене масла, так и о необходимости вывода горных машин в ремонт.

Процессы окисления масла, разрушение присадок и накопление примесей происходят в однотипных машинах, работающих в близких условиях, по-разному. Вероятность выхода из строя машины не всегда подчиняется нормальному закону распределения (хотя большинство машин попадает в этот закон). Значительное влияние оказывают не учитываемые внешние воздействия, а фактор качественного полноценного обслуживания. С одной стороны, горнодобывающему предприятию требуется производительная работа оборудования, но невнимательность к предварительным данным о процессе деградации масла с другой стороны часто приводит к более длительной остановке машины для сложного ремонта.

Результаты исследований состояния смазочного масла и редуктора горной машины позволяют сделать важный вывод о том, что большинство методов исследования направлено на оценку масла и рациональные сроки его замены. Оценка компонентов редуктора (износ пар трения, зубьев шестерен и подшипников) выполняется в меньшей степени. Фактически оцениваются последние стадии жизненного цикла узлов. Следует выполнить большой объем исследовательской работы, направленной на управление состоянием приводов шахтных ленточных конвейеров, путем изменения состояния смазочных материалов непосредственно в процессе эксплуатации.

Дальнейшие исследования направлены на разработку методологии создания прогнозных моделей совместного влияния параметров масла, вибрации, фактора хранения транспортировки и монтажа (XTM-фактора) и эксплуатационных условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пальчик К. Б., Кругова И. М., Огурцов Д. В. Оценка технического состояния пар трения судовых механизмов по продуктам износа в смазочном масле // Эксплуатация морского транспорта. 2020. № 4(97). С. 107–110. DOI: 10.34046/aumsuomt97/19. EDN TNQQA.
2. Khoreshok A., Kuznetsov V., Preis E. [et al.] The results of cutting disks testing for rock destruction // E3s web of conferences. Kemerovo, Russian Federation. 2017. Vol. 15. P. 03004. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503004. EDN XNDADP.
3. Зотов В. В., Кузиев Д. А., Рыжов И. М. Основные направления повышения технического уровня шахтных подъемных установок // Горная промышленность. 2014. № 2(114). С. 111. EDN SFBROT.
4. Кузиев Д. А., Пятова И. Ю., Кlementьева И. Н., Пихторинский Д. Алгоритм определения максимальной мощности привода подачи карьерного бурового станка // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 1. С. 128–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133. EDN YSTMSL.
5. Kouziyev D., Krivenko A., Chezganova D., Blumensteiun V. Sensing of Dynamic Loads in the Open-Cast Mine Combine // E3S Web of Conferences :

IVth International Innovative Mining Symposium. 2019. Vol. 105. P. 03014. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503014. EDN GBPJPT.

6. Дубинкин Д. М., Аксенов В. В., Пашков Д. А. Тенденции развития беспилотных карьерных самосвалов // Уголь. 2023. № 6(1168). С. 72–79. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-72-79. EDN GENHRC.

7. Жилкина Е. О., Антонов С. А. Этапы становления и развития производства минеральных масел в России // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2014. № 1(41). С. 159–164. EDN TFGEKZ.

8. Алексанян К. Г., Стоколос О. А., Солодова Е. В. [и др.] История развития и применения антиокислительных присадок для топлив и масел // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2018. Т. 61. № 9–10. С. 120–125. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5848. EDN JASPHA.

9. Алексанян К. Г., Яруллин, С. Ю. Салманов, Налетова А. В. Синтез новых антиокислительных присадок для топлива и смазочных масел на основе флороглюцина // Нефтегазохимия. 2017. № 1. С. 47–49. EDN YSRFIH.

10. Abdel-Hameed Hamdy, Ahmed Nehal, Nassar Amal. Some Ashless Detergent // Dispersant Additives for Lubricating Engine Oil. Publisher: OmniScriptum GmbH & Co.KG, Germany. 2015.

11. Mammadova P. Sh., Kulaliyev I. D., Salmanova K. A., Sadirzadeh I. A. Sulfonate additives to lubricating oils // Azerbaijan chemical journal. 2023. № 4. Pp. 48–54. DOI: 10.32737/0005-2531-2023-4-48-54.

12. Верещагин В. И., Ковальский Б. И., Попов А. Методика оценки ресурса моторных масел // Вестник КрасГАУ. 2007. № 6. С. 169–174. EDN IBVILF.

13. Turkmenoglu Nedim. A Deep Dive into Extreme Pressure Additives in Gear Oils: Composition, Mechanisms, and Benefits. 2023.

14. Ahmed Abdelbary, Li Chang. Principles of Engineering Tribology. Fundamentals and Applications // Elsevier. 2023. DOI: 10.1016/C2021-0-01365-1.

15. Kolm R., Gebeshuber I. C., Kenesey E., Ecker A., Pauschitz A., Werner W. S. M., Störi H. Tribochemistry of mono molecular additive films on metal surfaces, investigated by XPS and HFRR / Tribology and Interface Engineering Series // Elsevier. 2005. 48. Pp. 269–282. DOI: 10.1016/S0167-8922(05)80029-X.

16. Леонтьев Л. Б., Леонтьев А. Л., Токликишвили А. Г. Влияние температуры смазки на триботехнические свойства композиционных износостойких покрытий // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2012. № 1(10). С. 31–35. EDN OQKSTI.

17. Верещагин В. И., Янович В. С., Ковальский Б. И. [и др.]. Методы контроля и результаты исследования состояния трансмиссионных и моторных масел при их окислении и триботехнических испытаниях: монография. Красноярск : Сиб. федер. ун-т, 2017. 208 с.

18. Kalman Koczó, Mark D. Leatherman, Jonathan J. Wylde. Chapter 4. Foam control, In Oil and Gas Chemistry Management Series, Surface Process, Transportation, and Storage, Gulf Professional Publishing. 2023. Vol. 4. Pp. 153–226. DOI: 10.1016/B978-0-12-823891-2.00002-8/.

19. Ren Chenfei, Zhang Xingxing, Jia Ming, Ma Chenming, Li Jiaxin, Shi Miaomiao, Niu Yun-Yin. Antifoaming Agent for Lubricating Oil: Preparation, Mechanism and Application // Molecules. 2023. № 28. P. 3152. DOI: 10.3390/molecules28073152.

20. Корнеев С. В., Пашукевич С. В., Буравкин Р. В., Аноприенко А. А., Мачехин Н. Ю. Влияние низких температур на внутренние потери в агрегатах трансмиссии // Омский научный вестник, 2017. № 5 (155). С. 18–21.

21. Cevada E., Fuentes J. V., Zamora E. B., Hernandez E. I., Flores C. A., Zavala G., Alvarez-Ramirez F., Vazquez F. Effect of the Chemical Structure of Alkyl Acrylates on Their Defoaming Activity in Crude Oil: Experimental and Theoretical Studies // Energy. Fuels. 2022. № 35. Pp. 9047–9058.

22. Муравьев И. Б. Применение современных присадок к маслам для продления срока службы узлов трения технологического оборудования коммунального хозяйства // Сервис в России и за рубежом. 2013. № 1(39). С. 144–151. EDN PVVURF.

23. Кузин Е. Г., Герики Б. Л. Диагностика технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № 8. С. 47–55. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-47-55. EDN ZEGERN.

24. Kuzin E. G., Lupiy M. G., Grigoryeva N. V. [et al.] Diagnostics of Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Kemerovo. Kemerovo, 2017. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/253/1/012013. EDN ZRMDVV.

25. Трушин Н. Н., Чиликин А. А. Изменение рабочих свойств минеральных масел при температурном воздействии // Известия ТулГУ. Технические науки. 2016. №7–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-rabochih-svoystv-mineralnyh-masel-pri-temperaturnom-vozdeystvii>.

26. Власов Ю. А., Ляпин А. Н., Ляпина О. В., Зубрицкий А. В. Диагностика гидросистем машин по параметрам работающего масла // Современные проблемы машиностроения : Сборник трудов XIV Международной научно-технической конференции, Томск, 25–30 октября 2021 года. Томск : Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 2021. С. 304–305. EDN OIAVUP.

27. Severa Libor, Havlíček Miroslav, Kumbár Vojtěch. Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oil // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2009. № 57. DOI: 10.11118/actaun200957040095.

28. Погодаев Л. И. Влияние геомодификаторов трения на работоспособность трибосопрежений //

Проблемы машиностроения и надежности машин, 2005. № 1. С. 58–66.

29. Lubricant Additives – A Practical Guide. Machinery Lubrication / Noria Corporation. <https://www.machinerylubrication.com/Read/31107/oil-lubricant-additives>.

30. Иванова Ю. А. Хроматографическое и спектрометрическое определение функциональных присадок в смазочных маслах различных видов и дизельном топливе. Дисс. канд. хим. наук. 1.4.2 – Аналитическая химия. Краснодар, 2021. 153 с.

31. Тезек Ю. М. Разработка метода оптимизации использования моторного масла в двигателях Камаз-740 в зависимости от их технического состояния : специальность 05.20.03 "Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Кишинэу, 1996. 22 с. EDN ZLOBIP.

32. Сафонов А. С., Ушаков А. И., Гришин В. В. Химотология горюче-смазочных материалов: монография. Санкт-Петербург : НПИКЦ, 2007. 488 с. ISBN 5-902253-07-1. EDN QNELV.

33. Анализ редукторных масел / ООО «Мортестсервис». Аккредитованная испытательная лаборатория. <http://www.mortestspb.ru/index.php?s=17860000>.

34. Gerike B., Drozdenko Yu., Kuzin E. [et al.] Formation of Comprehensive Service System of Belt Conveyor Gearboxes // E3S Web of Conferences : 3rd International Innovative Mining Symposium, IIMS 2018: Electronic edition, Vol. 41. Kemerovo : EDP Sciences, 2018. P. 03011. DOI: 10.1051/e3sconf/20184103011. EDN XVTPBB.

35. Клишин В. И., Герике Б. Л., Кузин Е. Г., Мокрушев А. А. Интеллектуальное обслуживание редукторов горных машин // Горный информаци-

онно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. № S38. С. 369–392. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-38-369-392. EDN YSHNXN.

36. Маркова Л. В., Мышкин Н. К. Трибодиагностика машин. Минск : Бел. наука, 2005. С. 251.

37. Аметов В. А., Шальков А. В. Многомерный анализ данных при диагностировании машин по параметрам масла // Транспортные и транспортно-технологические системы : Материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 22 октября 2020 года / Отв. редактор Н. С. Захаров. Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. С. 15–18. EDN YBIVKL.

38. Маркова Л. В. Интеллектуальный метод оценки состояния смазочного масла // Трение и износ. 2016. Т. 37. № 4. С. 401–409. EDN WMDXLN.

39. Маркова Л. В. Применение метода нечеткой логики в оценке состояния смазочного масла // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 11. С. 110–114. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_11_110. EDN RENXID.

40. Mamaeva M., Kuzin E. Development of innovative methods for the assessment of the technical condition of the gearboxes of the mine belt conveyors in the parameters of the lubricating oil // MATEC Web of Conferences. The conference proceedings (ISPCIME-2019). 2019. P. 03006.

41. Кузин Е. Г., Герике Б. Л., Захаров А. Ю. Модели предельного состояния приводных станций ленточных конвейеров // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2024. № 8. С. 92–107. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_92. EDN RQBASS.

© 2025 Автор. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Кузин Евгений Геннадьевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и комплексной механизации горных работ, Филиал Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева в г. Прокопьевске. 653039, Российская Федерация, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19 а, e-mail: kuzinegen@gmail.com

Мамаева Мария Сергеевна, старший преподаватель кафедры информационных технологий, машиностроения и автотранспорта, Филиал Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева в г. Прокопьевске. 653039, Российская Федерация, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19 а

Комаров Дмитрий Сергеевич, студент группы ГОс-211.2, Филиал Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева в г. Прокопьевске. 653039, Российская Федерация, г. Прокопьевск, ул. Ноградская, 19 а

Заявленный вклад авторов:

Кузин Евгений Геннадьевич – научный менеджмент, постановка задачи исследования, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор, обработка и анализ данных, формулирование выводов, написание текста;

Мамаева Мария Сергеевна – обзор соответствующей литературы, сбор, обработка и анализ данных, написание текста;

Комаров Дмитрий Сергеевич – сбор, обработка и анализ данных, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

PREDICTIVE MAINTENANCE OF BELT CONVEYOR DRIVES BASED ON THE ANALYSIS OF LUBRICATING OIL PARAMETERS



Article info

Received:

05 May 2025

Accepted for publication:

30 June 2025

Accepted:

01 September 2025

Published:

09 October 2025

Keywords: lubricating oil, additives, degradation, parameter estimation methods, technical service, predictive maintenance, mining machines, transport machines, drive stations, mine conveyors.

Abstract.

Improving the operational reliability of mining equipment, and as a result, the efficiency and growth of production, continues to be an urgent task for enterprises of the fuel and energy complex. The high technical level of mining machinery products is capable of ensuring trouble-free and energy-efficient operation of mines, mines and processing plants. Lubricants are one of the components that determine the technical condition of mining machines. A brief analysis of the history of additives in lubricating oils is given. Basic information about the purpose and functions of additives is given. A brief analysis of the history of the development of methods for assessing oil condition by various parameters is considered. Input control of the lubricating oil parameters allows you to evaluate the quality of the oil and the possibility of its use for a specific type of equipment or even a specific machine. It is shown that during operation, the rate of oil degradation, the loss of dispersant, foam and detergent additives, as well as the accumulation of mechanical impurities, under the same design conditions, is different. Systematic sampling and determination of basic parameters such as viscosity, flash point, iron, silicon, copper and some other components make it possible not only to determine the rational timing of oil change. By making possible adjustments to some parameters, it is also possible to extend the service life of gearboxes under specific operating conditions. The article provides a justification for the operational analysis of lubricating oil in belt conveyor gearboxes. The results of a study of oil parameters starting from commissioning and after twenty-six months of operation in underground mining conditions are presented. These studies make it possible to implement proactive maintenance of belt conveyor drives and thereby achieve an economic effect during their operation. The directions of further development of the sciences of friction and lubricants are considered.

For citation: Kuzin E.G., Mamaeva M.S., Komarov D.S. Predictive maintenance of belt conveyor drives based on the analysis of lubricating oil parameters. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 5(181):48-61 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-5-48-61, EDN: KZZJAG

REFERENCES

1. Palchik K.B., Krugova I.M., Ogurtsov D.V. Assessment of the technical condition of friction pairs of ship mechanisms for wear products in lubricating oil. *Operation of marine transport*. 2020; 4(97):107–110. DOI: 10.34046/aumsuomt97/19. EDN TNQQOA.
2. Khoreshok A., Kuznetsov V., Preis E. [et al.] The results of cutting disks testing for rock destruction. *E3S web of conferences*. 2017; 15:03004. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503004. EDN XNDADP.
3. Zotov V.V., Kuziev D.A., Ryzhov I.M. The main directions of improving the technical level of mine lifting installations. *Mining industry*. 2014; 2(114):111. EDN SFBROT.
4. Kuziev D.A., Pyatova I.Y., Klementyeva I.N., Pich-torinsky D. Algorithm for determining the maximum power of the feed drive of a mining drilling rig. *Mining*

Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). 2019; 1:128–133. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-01-0-128-133. EDN YSTMSL.

5. Kouziev D., Krivenko A., Chezganova D., Blumensteiun V. Sensing of Dynamic Loads in the Open-Cast Mine Combine. *E3S Web of Conferences : IVth International Innovative Mining Symposium*. Kemerovo. 2019; 105:03014. DOI: 10.1051/e3sconf/201910503014. EDN GBPJPT.

6. Dubinkin D.M., Aksenov V.V., Pashkov D.A. Trends in the development of unmanned mining dump trucks. *Coal*. 2023; 6(1168):72–79. DOI: 10.18796/0041-5790-2023-6-72-79. EDN GENHRC.

7. Zhilkina E.O., Antonov S.A. Stages of formation and development of mineral oil production in Russia. *Bulletin of Samara State Technical University. Series: Technical Sciences*. 2014; 1(41):159–164. EDN TFGEKZ.

8. Aleksanyan K.G., Stokolos O.A., Solodova E.V. [et al.] History of the development and application of antioxidant additives for fuels and oils. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Series: Chemistry and Chemical Technology*. 2018; 61:9–10:120–125. DOI: 10.6060/ivkkt.20186109-10.5848. EDN JASPPA.
9. Aleksanyan K.G., Yarullin N.R., Salmanov S.Yu., Naletova A.V. Synthesis of new antioxidant additives for fuel and lubricating oils based on phloroglucine. *Neftegazokhimiya*. 2017; 1:47–49. EDN YSRFIH.
10. Abdel-Hameed Hamdy, Ahmed Nehal, Nassar Amal. Some Ashless Detergent. Dispersant Additives for Lubricating Engine Oil. Publisher: OmniScriptum GmbH & Co.KG, Germany; 2015.
11. Kulaliev I.D., Salmanova K.A., Sadirzadeh I.A. Sulfonate additives to lubricating oils. P. Sh. Mammadova. *Azerbaijan chemical journal*. 2023; 4:48–54. DOI: 10.32737/0005-2531-2023-4-48-54.
12. Vereshchagin V.I., Kovalsky B.I., Popov A. Methodology for assessing the resource of motor oils. *Bulletin of KrasGAU*. 2007; 6:169–174. EDN IBVILF.
13. Turkmenoglu Nedim. A Deep Dive into Extreme Pressure Additives in Gear Oils: Composition, Mechanisms, and Benefits. 2023.
14. Abdelbary Ahmed, Li Chang Principles of Engineering Tribology. Fundamentals and Applications. *Elsevier*. 2023. DOI: 10.1016/C2021-0-01365-1.
15. Kolm R., Gebeshuber I.C., Kenesey E., Ecker A., Pauschitz A., Werner W.S.M., Störi H. Tribochemistry of mono molecular additive films on metal surfaces, investigated by XPS and HFRR. *Tribology and Interface Engineering Series. Elsevier*. 2005; 48:269–282. DOI: 10.1016/S0167-8922(05)80029-X.
16. Leontiev L.B., Leontiev A.L., Toklikishvili A.G. The influence of lubrication temperature on the tribotechnical properties of composite wear-resistant coatings. *Bulletin of the Engineering School of the Far Eastern Federal University*. 2012; 1(10):31–35. EDN OQKSTI.
- Vereshchagin V.I., Yanovich V.S., Kovalsky B.I. [et al.]. 17. Methods of control and results of investigation of the condition of transmission and engine oils during their oxidation and tribotechnical tests: monograph. Krasnoyarsk: Sib. feder. Univ.; 2017. 208 p.
18. Kalman Koczó, Mark D. Leatherman, Jona-than J. Wylde. Chapter 4 - Foam control, In Oil and Gas Chemistry Management Series, Surface Process, Transportation, and Storage, Gulf Professional Publishing. 2023; 4:153–226. DOI: 10.1016/B978-0-12-823891-2.00002-8/.
19. Ren Chenfei, Zhang Xingxi, Jia Ming, Ma Chenming, Li Jiaxin, Shi Miaomiao, Niu Yun-Yin. Anti-foaming Agent for Lubricating Oil: Preparation, Mechanism and Application. *Molecules*. 2023; 28:3152. DOI: 10.3390/molecules28073152.
20. Korneev S.V., Pashukevich S.V., Buravkin R.V., Anoprienko A.A., Machekhin N.Yu. The effect of low temperatures on internal losses in transmission AG regattas. *Omsk Scientific Bulletin*. 2017; 5(155):18-21.
21. Cevada E., Fuentes J.V., Zamora E.B., Hernandez E.I., Flores C.A., Zavala G., Alvarez-Ramirez F., Vazquez F. Effect of the Chemical Structure of Al-aryl Acrylates on Their Defoaming Activity in Crude Oil: Experimental and Theoretical Studies. *Energy / Fuels*. 2021; 35:9047–9058.
22. Muravyov I.B. The use of modern additives to oils to extend the service life of friction units of technological equipment of public utilities. *Service in Russia and abroad*. 2013; 1(39):144–151. EDN PVVURF.
23. Kuzin E.G., Gerike B.L. Diagnostics of the technical condition of gearboxes of mine belt conveyors. *Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 8:47–55. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-47-55. EDN ZEGERN.
24. Kuzin E.G., Lupiy M.G., Grigoryeva N.V. [et al.] Diagnostics of the Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Kemerovo. 2017. P. 012013. DOI: 10.1088/1757-899X/253/1/012013. EDN ZRMDVV.
25. Trushin N.N., Chilikin A.A. Changes in the working properties of mineral oils under temperature exposure. *Izvestiya TulSU. Technical sciences*. 2016. № 7–2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izmenenie-rabochih-svoystv-mineralnyh-masel-pri-temperaturnom-vozdeystvii>.
26. Vlasov Yu.A., Lyapin A.N., Lyapina O.V., Zubritskiy A.V. Diagnostics of hydraulic systems of machines according to the parameters of running oil. *Modern problems of mechanical engineering : Proceedings of the XIV International Scientific and Technical Conference*. Tomsk, October 25-30, 2021. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University; 2021. Pp. 304–305. EDN OIAVUP.
27. Severa Libor, Havlíček Miroslav, Kumbár Vojtěch. Temperature dependent kinematic viscosity of different types of engine oil. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2009; 57. DOI: 10.11118/actaun200957040095.
28. Pogodaev L.I. The influence of friction geomodifiers on the performance of tribo-joints. *Problems of mechanical engineering and machine Reliability*. 2005; 1:58–66.
29. Lubricant Additives – A Practical Guide. Machinery Lubrication / Noria Corporation. <https://www.machinerylubrication.com/Read/31107/oil-lubricant-additives>.
30. Ivanova Yu.A. Chromatographic and spectrometric determination of functional additives in lubricating oils of various types and diesel fuel. Dissertation of the Candidate of Chemical Sciences. 1.4.2 – Analytical Chemistry. Krasnodar, 2021. 153 p.
31. Tezek Yu.M. Development of a method for optimizing the use of engine oil in Kamaz-740 engines, depending on their technical condition : specialty 05.20.03 "Technologies and maintenance facilities in agriculture" : abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences. Chisinau, 1996. 22 p. EDN ZLOBIP.
32. Safonov A.S., Ushakov A.I., Grishin V.V. Chemmotology of fuels and lubricants: a monograph. Saint Petersburg: NPICC; 2007. 488 p. ISBN 5-902253-07-1. EDN QNEJLV.
33. Analysis of gear oils / LLC "Mor-testservice" Accredited testing laboratory. <http://www.mortestspb.ru/index.php?s=17860000>.
34. Gerike B., Drozdenko Yu., Kuzin E. [et al.] Formation of Comprehensive Service System of Belt Conveyor Gearboxes. *E3S Web of Conferences : 3rd International Innovative Mining Symposium*. IIMS 2018: Electronic edition, Vol. 41. Kemerovo: EDP Sciences, 2018. P. 03011. DOI: 10.1051/e3sconf/20184103011. EDN XVTPBB.
35. Intelligent maintenance of mining machinery reducers / Klishin V.I., Gerike B.L., Kuzin E.G., Mokrushev A.A. *Mining information and Analytical Bulletin (scien-*

tific and technical journal). 2017; S38:369–392. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-38-369-392. EDN YSH-NXN.

36. Markova L.V., Myshkin N.K. Tribodiagnostics of machines. Minsk: Bel. Nauka; 2005. P. 251.

37. Ametov V.A., Shalkov A.V. Multidimensional data analysis when diagnosing machines by oil parameters. Transport and transport technology systems : Materials of the International Scientific and Technical Conference. Tyumen, October 22, 2020 / Editor-in-chief N.S. Zakharov. Tyumen: Tyumen Industrial University; 2020. Pp. 15–18. EDN YBIVKL.

38. Markova L.V. An intelligent method for assessing the condition of lubricating oil. *Friction and wear*. 2016; 37(4):401–409. EDN WMDXLN.

39. Markova L.V. Application of the method of vague logic in the assessment of the state of lubricating oil.

Mathematical methods in technology and engineering. 2021; 11:110–114. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2021_11_110. EDN REHXID.

40. Mamaeva M., Kuzin E. Development of innovative methods for the assessment of the technical condition of the gearboxes of the mine belt conveyors in the parameters of the lubricating oil. *MATEC Web of Conferences. The conference proceedings (ISPCIME-2019)*. 2019. P. 03006.

41. Kuzin E.G., Gerike B.L., Zakharov A.Yu. Models of the limiting state of belt conveyor drive stations. *Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2024; 8:92–107. DOI: 10.25018/0236_1493_2024_8_0_92. EDN ROK-BASS.

© 2025 The Author. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

The authors declare no conflict of interest.

About the author:

Evgeny G. Kuzin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technology and Integrated Mining Mechanization; T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, branch in Prokopyevsk, Russia, Prokopyevsk, Kemerovo region 653039, 19a Nogradskaya str. E-mail: kuzinegen@gmail.com

Mariya S. Mamaeva, Senior Lecturer at the Department of Information Technology, Mechanical Engineering and Motor Transport; T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, branch in Prokopyevsk, Russia, Prokopyevsk, Kemerovo region 653039, 19a Nogradskaya str.

Dmitriy S. Komarov, student GOs-221.2. T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, branch in Prokopyevsk, Russia, Prokopyevsk, Kemerovo region 653039, 19a Nogradskaya str.

Contribution of the authors:

Evgeny G. Kuzin – scientific management, formulation of research objectives, review of relevant literature, conceptualization of research, collection, processing and analysis of data, formulation of conclusions, writing text;

Mariya S. Mamaeva – review of relevant literature, collection, processing and analysis of data, writing text;

Dmitriy S. Komarov – data collection, processing and analysis, writing text.

Authors have read and approved the final manuscript.

