

УДК 6229.9

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ РЕДУКТОРОВ НА ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МАСЛА

Кузин Е.Г., Одилов С.Ш., Попкова О.А.

Кузбасский государственный технический университет

имени Т.Ф. Горбачева

Филиал КузГТУ в г. Прокопьевске

Аннотация: Настоящее исследование оценивает возможности по управлению надежностью редукторов горных машин путем совершенствования их технического обслуживания на основе контроля параметров смазочного масла. Информация об основных параметрах смазочного масла редукторов горных и транспортных машин позволяет разрабатывать прогнозные модели рациональной замены масла и износа пар трения. Оперативное и своевременное техническое обслуживание на основании прогнозирования изменения технического состояния элементов редуктора позволит повысить их долговечность.

Ключевые слова: Контроль смазочного масла, техническая диагностика, надежность, техническое обслуживание, эксплуатация, редукторы горных машин.

Abstract: This study evaluates the possibilities for managing the reliability gearboxes of mining machines by improving their maintenance based on the control of lubricating oil parameters. Information about the main parameters lubricating oil gearboxes of mining and transport machines allows us to develop predictive models of rational oil change and wear of friction pairs. Prompt and timely maintenance based on the prediction of changes in the technical condition of the gearbox elements will increase their durability.

Keywords: Lubricating oil control, technical diagnostics, reliability, maintenance, operation, gearboxes of mining machines.

Назначение смазочных материалов заключается в уменьшении сил трения между контактирующими поверхностями, удалении продуктов износа и охлаждение пятна контакта. В некоторых механизмах смазочные материалы выполняют функцию передачи силы тяги, управляя передаваемым моментом. Основные параметры смазочного масла существенно изменяются в процессе эксплуатации редукторов горных машин. Оценка показателей этих параметров позволяет судить о состоянии контактирующих поверхностей трения. Систематический мониторинг основных параметров индустриального масла позволяет назначать рациональное техническое обслуживание и управлять надежностью редукторов горных и транспортных машин [1].

Краткий обзор исторических сведений о развитии науки о трении (современной трибологии). Первые закономерности трения были открыты

еще гениальным Леонардо да Винчи в 1493 году, при этом поняв основные физические принципы трения, да Винчи применял маслянистые материалы для уменьшения сил трения. Эскизы элементов машин и механизмов, в частности колеса, шкивы и рычаги, винты и наклонные плоскости широко распространены в его записных книжках. В его основной деятельности как художника, скульптора и архитектора важную роль играла транспортировка тяжелых грузов. Кроме этого пытливым умом да Винчи, очень внимательный к мельчайшим деталям, пытался понять, исследовать правила, которым подчиняются контактирующие тела [2]. Открытые им «Фундаментальные» законы трения, примерно через двести лет сформулированные Гийомом Амонтоном в 1699 году находят повсеместное применение: «сила трения, действующая между двумя поверхностями, пропорциональна силе, прижимающей эти поверхности; сила трения не зависит от видимой площади контакта между поверхностями» [3]. Шарль Огюстен Кулон в 1785 году подтвердил закон и предложил обобщенную формулу, в которой учитывалось два вида сопротивления (от молекулярного сцепления и внешней нагрузки).

Основы гидродинамической теории смазки были заложены Исааком Ньютоном в 1668 году, открытием зависимости сил в слое жидкости между двумя вращающимися цилиндрами от скорости сдвига и температуры жидкости. Зависимость износа от материалов смазки и наиболее полную таблицу коэффициентов трения исследовал и создал Джордж Рени в 1825 году. Самый же большой вклад в исследовании природы трения и различных способов смазывания выполнил русский ученый, почётный член Николаевской инженерной академии, профессор Николай Павлович Петров. В 1883 году он опубликовал свою крупную работу в «Инженерном журнале» «Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости» [4], которая фактически стала основой развивающейся до настоящего времени гидродинамической теории смазки [5].

Важным для того времени открытием стал вывод Н. Петрова о том, что «разные машинные части, сообразно со своей конструкцией, имеют далеко не одинаковые теплоемкости и теплопроводности и при совершенно одинаковых условиях сообщения им теплоты, они будут приобретать соответственно разные температуры. При этом если температура трущихся поверхностей в одной машине будет, например 30°C , а в другой 40°C , то при смазывании дешевым минеральным маслом, коэффициенты внутреннего трения этих узлов могут отличаться до двух раз, а следовательно при прочих равных обстоятельствах, и силы трения также будут отличаться существенно» [4, 6].

В плохоприработанных и тяжелонагруженных узлах трения – зубчатых передачах, подшипниках качения, в 1940 году был обнаружен эффект, названный впоследствии эластогидродинамической смазкой. В условиях высоких взаимных скоростей, малосжимаемая жидкость (масло) приводит

к деформации поверхностей качения, в этот момент толщина пленки уменьшается, а вязкость масла увеличивается. Подобный эффект возникает с колесом автомобиля при движении на высокой скорости по залитой водой дороге (аквапланирование). Такое явление может приводить к эффекту наподобие микровзрыва, что приводит к ускоренному износу редукторов при температурах ниже минус 30 по Цельсию, при неправильно подобранной вязкости масла.

Известно, что редуктор горной машины работает в сложных горно-геологических и горнотехнических часто весьма запыленных условиях. Инородные частицы рудничной пыли попадает в смазочное масло и воздействуют на трущиеся поверхности тел качения подшипника, сепаратора, наружного и внутреннего колец. Крепость пылевых частиц иногда настолько высока, что попадая в масло, вызывает абразивное изнашивание пар трения.

Понимая важность учета множества факторов при работе редуктора горной машины, а также условия ее работы, следует обеспечивать комплексный и системный подход к исследованию проблемы смазывания и обеспечению надежности работы редукторов.

Анализ множественных исследований показывает, что важное значение для нормальной эксплуатации имеют: кинематическая вязкость масла, наличие противозадирных и противопенных присадок. Относительная скорость скольжения на шестернях в цилиндрических и планетарных редукторах невелика: не более 2,5-3,0 м/с, а рабочая температура, как правило, не превышает 80 - 100 °С.

При контроле параметров смазочного масла следует оценивать следующие основные пункты:

1. Наличие воды в масле. Содержание воды в масле можно определить, проводя исследования температуры вспышки. При нагреве более 100 градусов по Цельсию, масло начинает пениться.

2. Отклонение в значении вязкости масла пробы от значения вязкости, указанной в технических характеристиках, не должно превышать 10%.

3. Наличие механических примесей в виде химических элементов входящих в материал пар трения, а также пыль, присутствующая в виде кремния. Анализ трендов измеренного содержания элементов более важен, чем абсолютные значения.

Представлен обзор основных (далеко не полных) возможных причин изменений результатов испытаний характеристик масла, применительно к редукторам горных машин (таблица 1).

Таблица 1 – Рабочие характеристики смазочного масла и вероятные причины возникновения отклонений

Изменение	Возможные причины
Вязкость ↑	Испарение короткоцепных компонентов
	Проникновение высоковязких инородных жидкостей / жиров
Вязкость ↓	Расщепление длинноцепных компонентов
	Присадка для повышения индекса вязкости ИВ распалась / использована
	Проникновение низковязких инородных жидкостей
Железо Fe ↑	Износ и окисление на зубчатых колесах и подшипниках качения, коррозия корпуса
Хром Cr ↑	Износ на подшипниках качения, на зубчатых колесах
Никель Ni ↑	Износ на подшипниках качения, на зубчатых колесах
Алюминий Al ↑	Износ на подшипниках масляного насоса
Медь Cu ↑	Износ на сепараторе подшипников качения, подшипниках скольжения
Цинк Zn ↑	Вымыто из грунтового покрытия
Цинк Zn ↓	Присадка с долей Zn использована
Олово Sn ↑	Износ на подшипниках скольжения
Кремний Si ↑	Загрязнение снаружи (пыль)
Кремний Si ↓	Противопенная присадка использована
Кальций Ca ↑	Загрязнение снаружи (например, известковая пыль)
Масло помутнело	Загрязнение водой или другими инородными жидкостями
Масло потемнело	Масло состарилось, накопились продукты износа, имел место перегрев редуктора

Далее представлены дополнительные параметры, помогающие точнее установить диагноз элементов редуктора.

Температура вспышки масла - это температура, при которой в условиях испытания масло выделяет достаточное количество паров для образования воспламеняющейся смеси с воздухом. Более низкая температура вспышки свидетельствует о большем испарении с повышением температуры нагрева.

Эта характеристика служит показателем однородности масла, степени его загрязнения, а также соответствия его контрольным образцам, отобранным в начале эксплуатации (свежего масла).

Практика показывает, что температура вспышки не должна быть ниже 180 °С для промышленных масел. Если при этой температуре и ниже происходит вспышка, это говорит о длительной работе с перегревом. Для уменьшения габаритов горных машин производители прибегают к увеличению мощности и рабочих температур редукторов до 110 – 125 °С. В этом случае, помимо интенсивного окисления, углеводороды в масле подвергаются термическому разложению.

Важным свойством оказывается смазывающая способность масла.

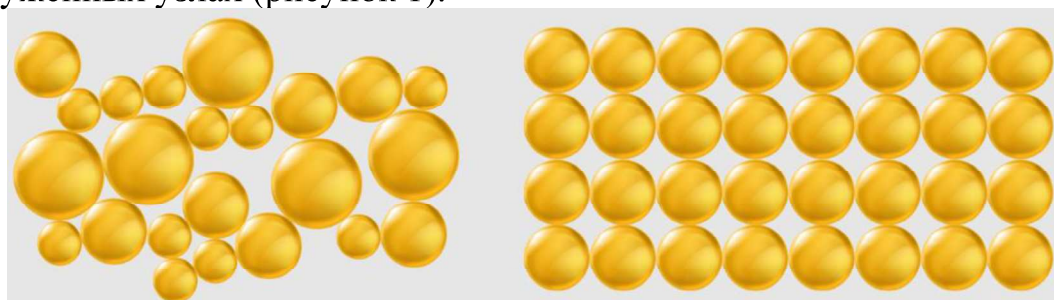
Задача масла создавать прочные масляные пленки между поверхностями пар трения.

Физическим смыслом смазывающей способности масла является предотвращение любого вида отделения материала с поверхности контакта пар трения (естественный износ, задир, выкрашивание, фреттинг-коррозия, абразивный износ) [7].

При работе редуктора горной машины с незначительной нагрузкой смазывающая способность реализуется минеральными маслами соответствующей вязкости и введение присадок не требуется. В таком случае происходит гидродинамический режим трения.

Однако, для машин, работающих в предельных режимах, возникает граничная смазка и требуется использование синтетических или полусинтетических масел с присадками. Специальные присадки создают на поверхности трения защитные пленки при достижении определенной температуры.

Использование синтетического масла оказывается предпочтительнее минерального масла по причине искусственно создаваемого контролируемого размера полимерных молекул, что оказывается критичным в высоконагруженных узлах (рисунок 1).



Минеральное масло

Синтетическое масло

Рисунок 1 – Размеры и структура молекул различных типов масла

При превышении некоторой критической нагрузки на шестерни смазочное масло не в состоянии противостоять появлению задира. Разрушение масляной пленки на пятне контакта приводит к свариванию металла и появлению выкрашивания. Повышение вязкости масла до некоторой степени противодействует этому процессу.

Известно, что при повышении температуры вязкость масла уменьшается, для поддержания требуемой вязкости в масло вводят загущающие присадки [8].

Индекс вязкости масла (VI) влияет на изменение вязкости при различных температурах. Сравнение минерального и синтетического масла обладающего высоким VI представлено на рисунке 2.

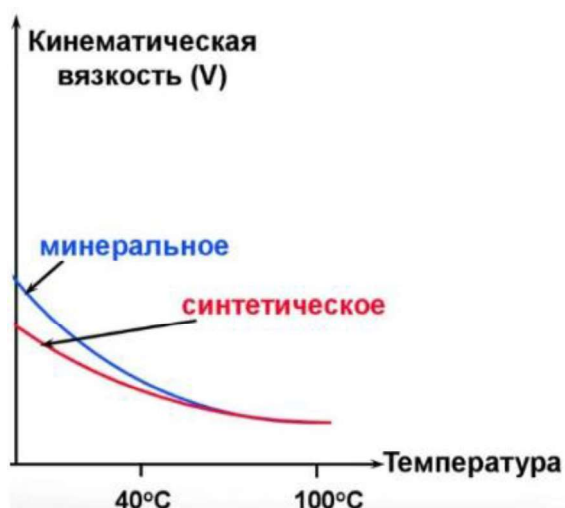


Рисунок 2 - График зависимости вязкости от температуры

При выявлении отклонений в смазочном масле необходимо проведение технического обслуживания включающее в себя:

- проверку уплотнений и трубопроводов принудительной смазки;
- проверка и чистка охлаждающих устройств и теплообменников;
- визуальный осмотр поверхностей рабочих колес и шестерен на предмет износа, коррозии и механических дефектов (осмотр через смотровой люк или при помощи специализированного видеоэндоскопа).

При выявлении дефектов запланировать и произвести вскрытие торцевых крышек и визуальный осмотр подшипников на предмет видимых дефектов, проверка люфтов, при выявлении дефектов запланировать и произвести замену.

Следует помнить, что при замене масла на свежее (чистое) информация о состоянии пар трения в редукторе становится недоступной. При этом систематический контроль параметров и скорость изменения основных показателей помогают принять верное решение при дефектовке и выводу редуктора в ремонт.

Выявление отклонений параметров смазочного масла позволяют на самой ранней стадии определить состояние подшипников и зубчатых передач редуктора. Уточнение вида дефекта может дополняться вибродиагностическими исследованиями. При этом после периода длительной эксплуатации и нормальном (естественном) износе пар трения увеличение вязкости индустриального масла позволяет снизить темпы износа, уменьшить уровни вибрации и тем самым продлить ресурс машины.

Список литературы

1. Кузин, Е. Г. Оценка технического состояния редукторов шахтных ленточных конвейеров методами неразрушающего контроля: специальность 05.05.06 "Горные машины": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кузин Евгений Геннадьевич. – Кемерово, 2020. – 141 с.

2. Ian M. Hutchings. Leonardo da Vinci's studies of friction. *Wear*, Volumes 360 – 361, 2016, Pages 51-66, ISSN 0043-1648, <https://doi.org/10.1016/j.wear.2016.04.019>.
3. Guillaume Amontons. On the resistance caused in machines, both by the rubbing of the parts that compose them and by the stiffness of the cords that one uses in them, & the way of calculating both), *Mémoires de l'Académie royale des sciences*, in: *Histoire de l'Académie royale des sciences*, 1699. - pp. 206 - 222.
4. Петров, Н.П. Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости. С. Петербург, типография А.С. Суворова. Из «Инженерного журнала», 1883, - 210 с.
5. Пучков, П.В. Развитие науки о трении от эпохи к эпохе. *NovaInfo.Ru* - №77, 2018 г. <https://novainfo.ru/article/14552>.
6. Гидродинамическая теория смазки / С. А. Чаплыгин, Н. Е. Жуковский, А. Мичель [и др.]; ред. Л. С. Лейбензон. – Москва ; Ленинград : Государственное технико-теоретическое изд-во, 1934. – 566 с. – (Классики естествознания). – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=131275> (дата обращения: 11.12.2022). – ISBN 978-5-4458-1214-2. – Текст: электронный.
7. Kuzin, E.G. Diagnostics of Technical Condition of Gear Units of Belt Conveyors for the Aggregate of Methods of Nondestructive Testing / E. G. Kuzin, M. G. Lupiy, N. V. Grigoryeva [et al.] // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* : [Electronic resource], Kemerovo, Russia: IOP Publishing Ltd, 2017. – P. 012013. – DOI 10.1088/1757-899X/253/1/012013.
8. Mamaeva, M. 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 / M. Mamaeva, E. Kuzin // *MATEC Web of Conferences* : The conference proceedings (ISPCIME-2019), Vol. 297. – Kemerovo: EDP Sciences, 2019. – P. 03006. – DOI 10.1051/matecconf/201929703006.