

DOI: 10.26730/1999-4125-2020-1-49-55

УДК 621.822.1

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕДУКТОРОВ МОТОР-КОЛЕСА АВТОСАМОСВАЛОВ БЕЛАЗ ПО ПАРАМЕТРАМ МАСЛА

## PROCEDURE FOR DETERMINING THE TECHNICAL CONDITION OF MOTOR- WHEEL GEAR OF BELAZ DUMP TRUCKS BY OIL PARAMETERS

Кудреватых Андрей Валерьевич<sup>1</sup>,

канд. техн. наук, e-mail: kav.ea@kuzstu.ru

Andrey V. Kudrevatykh<sup>1</sup>, C. Sc. in Engineering

Ащеулов Андрей Сергеевич<sup>1</sup>,

канд. техн. наук, e-mail: ascheulovas@kuzstu.ru

Andrey S. Ashcheulov<sup>1</sup>, C. Sc. in Engineering

Ащеулова Алена Сергеевна<sup>2</sup>,

канд. физ. мат. наук, e-mail: alena280383@rambler.ru

Alena S. Ashcheulova<sup>2</sup>, C. Sc. in Physics and Mathematics

<sup>1</sup>Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

<sup>1</sup>T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, street Vesennyaya, Kemerovo, 650000, Russian Federation

<sup>2</sup>Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, 650056, Россия, г. Кемерово, ул. Марковцева, д. 5

<sup>2</sup>Kuzbass State Agricultural Academy, 650056, Russia, Kemerovo Region, Kemerovo, Markovtseva St., 5.

### **Аннотация:**

*В себестоимость продукции горнодобывающих комплексов включается стоимость простоев техники и всех эксплуатационных затрат. При рассмотрении состава эксплуатационных затрат выявлено, что немалая доля приходится на ремонт непредвиденных поломок редуктора мотор-колеса. Таким образом, в целях уменьшения этих затрат, а также для увеличения надежности техники предложено введение технологической операции по диагностике фактического технического состояния редуктора мотор-колеса в процедуру технического обслуживания, которая на данный момент не входит в список обязательного технического обслуживания. Основой предлагаемой манипуляции является физико-химический анализ масла, а также контроль динамики температуры масла в процессе работы техники. Анализ выявит процентное содержание примесей продуктов износа трущихся поверхностей, которые накапливаются в процессе эксплуатации карьерной техники. Для выявления степени износа и процентного содержания металлических примесей в работающем масле редуктора мотор-колеса проведена серия опытов, на основе результатов которых выведена математическая модель, отражающая зависимость этих факторов от параметров работы автосамосвала. Стоимость данной манипуляции по сравнению с простоем карьерной техники ничтожна, также уменьшение времени простоев скажется на увеличении производительности всего предприятия в целом.*

**Ключевые слова:** БЕЛАЗ, редуктор мотор-колеса, масло, диагностика, износ.

### **Abstract:**

*The cost of production of mining complexes includes the cost of equipment downtime and all operating costs. In considering all operating costs, it was revealed that the repair of unforeseen breakdowns of the motor-wheel reducing gear accounted for a considerable share of costs. Thus, in order to reduce these costs, as well as to increase the reliability of the equipment, it is proposed to introduce a technological operation to diagnose the actual technical condition of the motor-wheel reducing gear in the maintenance procedure, which is currently not*

*included in the list of mandatory maintenance. The basis of the proposed manipulation is a physical and chemical analysis of the oil, as well as the monitoring of oil temperature dynamics during the equipment operation. The analysis will reveal the percentage of wear surface impurities that are accumulated during the operation of mining equipment. To identify the degree of wear and the percentage of metallic impurities in the working oil of the motor-wheel reducing gear, the experiments were carried out. According to these experiments, a mathematical model was derived that reflects the dependence of these factors on the parameters of the dump truck. The cost of this manipulation compared to the downtime of mining equipment is negligible; moreover, the decrease in downtime will affect the increase in productivity of the entire enterprise as a whole.*

**Key words:** *BELAZ, motor-wheel reducing gear, oil, diagnostics, wear.*

Открытый способ добычи полезных ископаемых занимает лидирующее место в горнодобывающей промышленности благодаря высокой производительности, низким затратам, а также уровню безопасности, при этом в ближайшее десятилетие первенство будет занимать именно этот метод добычи полезных ископаемых [13]. Несмотря на данные преимущества перед другими способами, у открытого способа добычи существует и ряд недостатков, а именно большое количество простоев экскаваторно-автомобильных комплексов, снижение которых позволит значительно увеличить производительность работы горных машин и оборудования, уменьшить себестоимость добычи.

За счет низкой надежности горнодобывающего оборудования увеличиваются необходимые затраты на их обслуживание, а расходы, связанные с ремонтом за весь срок службы, превышают стоимость самой техники в несколько раз, в связи с этим необходимо повышать качество горнодобывающего комплекса, главный из которых – его надежность. Полноценное использование индивидуального потенциала каждой машины, а также значительное увеличение надежности всего горнодобывающего комплекса в целом возможно благодаря внедрению в технологический процесс технического обслуживания и ремонта еще одной принципиально новой операции по диагностированию фактического технического состояния узлов и агрегатов экскаваторно-автомобильного комплекса [5]. Проведение данной операции возможно различными методами, выбор которых зависит от многих факторов: имеющееся оборудование на предприятии, обученный и аттестованный персонал и т.д.

Все крупные машиностроительные предприятия непрерывно осуществляют усовершенствования конструкций узлов и механизмов машин угледобывающей направленности. Но, несмотря на это, при эксплуатации техника используется в очень тяжелых условиях и испытывает постоянные колоссальные нагрузки, что приводит к отказам таких важных узлов, как мотор-колесо автосамосвалов и поворотные редукторы экскаваторов.

В ходе работы механизмов и машин внутри

них протекают два тесно взаимосвязанных друг с другом процесса: трение и износ [6]. При эксплуатации масла происходит его взаимодействие с трущимися поверхностями, вследствие чего меняются его физико-химические свойства. Эти изменения являются показателями фактического технического состояния исследуемых механизмов, которые возможно оценить при проведении анализа масла, не производя разбор узла или механизма.

Исследования показали, что уменьшение надежности агрегатов горнодобывающих комплексов происходит не только за счет уменьшения их ресурса в процессе эксплуатации за счет износа трущихся поверхностей, но и при изменении физико-химических свойств масел, которые в процессе работы накапливают в себе металлические примеси продуктов износа [14].

На основе вышеизложенного главной задачей является разработка метода контроля физико-химических свойств эксплуатируемых масел и, как следствие, контроля фактического технического состояния узлов и механизмов горнодобывающих комплексов [5]. Внедрение данного метода позволит предсказывать непредвиденные отказы техники по причине выхода из строя одного из компонентов экскаваторно-автомобильного парка.

В угледобывающей промышленности наблюдается тенденция по увеличению объемов перевозок автотранспортом, в том числе и на разрезах Кузбасса. Наибольший количественный прирост наблюдается в таких компаниях, как «Кузбассразрезуголь», ИП «Соколовская». Такой высокий темп роста связан с тем, что предприятия угледобывающей отрасли отдают предпочтение увеличенной надежности и гибкости карьерной техники, наименьшим затратам на ее обслуживание, а также высокой мобильности и маневренности, небольшим размерам и автономности [16]. Так, на разрезах Кемеровской области за последнее время количество единиц автосамосвалов увеличилось на 32, что соответствует 6,81% от их общего числа. Это объясняется ростом объемов перевозок.

Увеличение таких показателей, как надежность и долговечность работы горнодобывающих комплексов, непосредственно

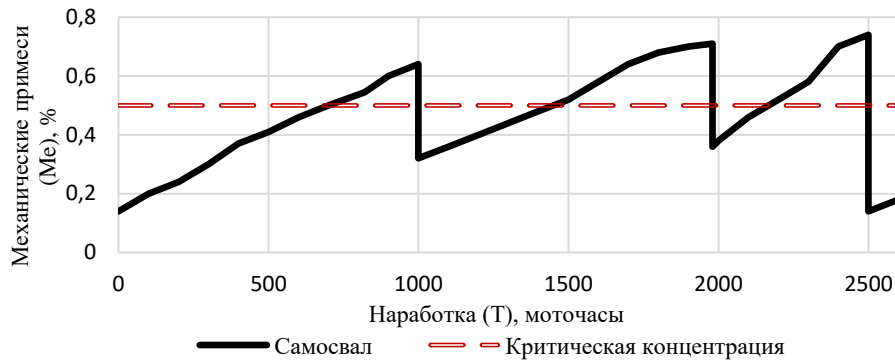


Рис. 1. Диаграмма содержания металлических примесей в масле редуктора автосамосвала  
 Fig. 1. The diagram of the metallic impurities content in dump truck gear oil

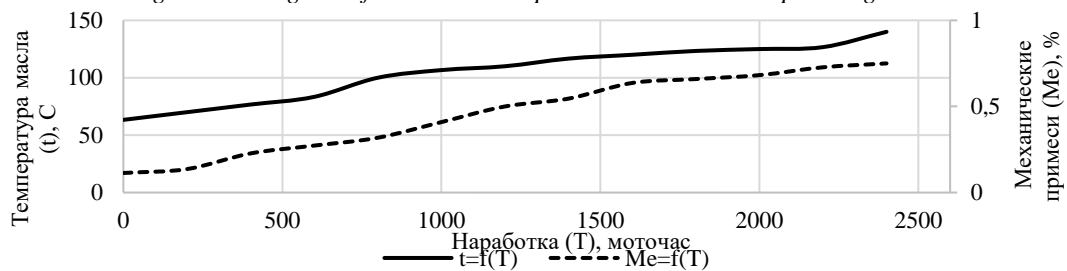


Рис. 2. Показатели редуктора мотор-колеса БелАЗ  
 Fig. 2. Gear indicators of a BelAZ motor- wheel

оказывает влияние на снижение возникающих простоев техники. Эти простои возможны по нескольким причинам, а именно из-за управляемых и неуправляемых факторов. На угледобывающих предприятиях повышение производительности возможно только лишь воздействием на управляемые факторы. При эксплуатации автосамосвалов, их узлов и механизмов происходит изменение их технического состояния вследствие ряда причин: воздействия внешних сил, таких как погодные условия, среда в которой работает техника, и внутренних – это изнашивание, деформации и физико-химические изменения материалов.

При исследовании количества отказов, произошедших на ОАО «Кузбассразрезуголь» за исследуемый период среди автосамосвалов БелАЗ, наблюдается тенденция на значительное увеличение простоев техники. Так, по сравнению с предыдущими годами количество простоев увеличилось в 2,6 раза, что привело к значительному снижению их производительности и, как следствие увеличению потерь горной массы [8]. Анализ причин простоев автосамосвалов выявил, что наибольшее число простоев возникло по причине выхода из строя редуктор мотор-колеса, что составило 64238 моточасов, а это 18,8% от общего времени простоев автосамосвалов на рассматриваемом предприятии. Таким образом, возникает необходимость разработки и внедрения мероприятий по контролю за фактическим

техническим состоянием редукторов мотор-колеса автосамосвалов, для сокращения непредвиденных отказов техники.

С целью определения скорости накопления металлических примесей в масле редуктора мотор-колеса автосамосвалов БелАЗ-75131 была проведена серия экспериментов. Количественное значение загрязнения масла продуктами износа трущихся поверхностей определялось с помощью многоканальной фотометрической системы МФС-7. Для выявления временного интервала взятия проб масла проводилась дополнительная серия опытов с различными интервалами. Наиболее оптимальный промежуток времени составил 50 моточасов работы автосамосвала. Данный период позволяет наблюдать в динамике накопление металлических примесей в масле, при этом не препятствуя работе самой техники.

Забор проб осуществлялся при помощи шприца-пробоотборника через специальное заливное отверстие на крышке редуктора. Полученные результаты проведения физико-химического анализа проб масла по содержанию в нем металлических примесей приведен на рис. 1.

На диаграмме по горизонтали располагается наработка автосамосвала в моточасах, а по вертикали – содержание металлических примесей в трансмиссионном масле редуктора мотор-колеса в процентах. При анализе графика наблюдаются экстремумы при наработках в 1000 и 2000 моточасов, которые объясняются необходимостью

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа (шкала Чеддока)

	Температура масла	Наработка	Примеси	Температура окружающей среды
Температура масла	1			
Наработка	0,531	1		
Примеси	0,902	0,632	1	
Температура окружающей среды	0,606	0	0,315	1

технического долива трансмиссионного масла. В наибольшем экстремуме при наработке в 2500 происходит значительное уменьшение примесей в масле, так как по требованиям технического регламента по обслуживанию автосамосвала на данной наработке необходимо производить замену масла в редукторе мотор-колеса.

Серия экспериментов показала, что накопление продуктов износа трущихся поверхностей в трансмиссионном масле происходит по линейной зависимости с достаточно быстрой скоростью, при этом на графике отмечена горизонтальная линия, соответствующая критической концентрации примесей, при которой происходит повышенный износ узлов и деталей редуктора. Таким образом, из графика видно, что, несмотря на доливы масла, редуктор все больше времени работает при превышении критической концентрации металлических примесей, что негативно сказывается на его надежности и долговечности.

Это исследование имело также и вторую цель, а именно применение данной методики для контроля за фактическим техническим состоянием редуктора мотор-колеса автосамосвала. Но ряд отрицательных факторов не позволяет полноценно применять эту методику, а именно при полной замене масла происходит обновление масла целиком, вследствие этого резко уменьшается концентрация металлических примесей, на основе которой и проводилась оценка состояния редуктора. Физико-химический анализ масла позволяет диагностировать редуктор лишь в короткий промежуток времени, что не дает возможности предсказать изменение состояния узлов и механизмов в перспективе.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, что необходимо внедрять дополнительные методы контроля состояния деталей и компонентов исследуемого узла. Поэтому проведены дополнительные исследования по выявлению наиболее оптимального метода безразборной диагностики редуктора. Эффективнее всех зарекомендовал себя способ температурного контроля эксплуатируемого масла.

Температурный контроль работающего масла в редукторе заключается в измерении его температуры непрерывно при эксплуатации автосамосвала. Как известно, при взаимодействии трущихся поверхностей происходит их износ и, как

следствие, отделение небольших частиц от деталей, данные металлические примеси, попадая в трансмиссионное масло, ухудшают его физико-химические свойства, в том числе смазывающие. Таким образом, при изменении показателей масла процесс износа происходит интенсивней, при этом происходят локальные перегревы, которые в свою очередь влияют на повышение температуры масла. Установленный температурный датчик в корпусе редуктора мотор-колеса БелАЗа позволяет производить постоянный контроль за состоянием его узлов и механизмов на основе температурных показаний трансмиссионного масла. Цель исследования – выявить зависимость температуры эксплуатируемого смазки от количества примесей в ней.

Для проведения экспериментов принят (по опыту предыдущих исследований) также временной интервал по наработке в 50 моточасов, но в данном случае производится не только забор пробы масла, но также и замер температуры. На основе результатов физико-химических и температурных анализов получены данные по изменению температуры работающего масла (t) от наработки (T) автосамосвала и количества металлических примесей в масле (Me) от наработки.

Графическая иллюстрация изменений в летний период времени представлена на рис.2.

Из графиков, представленных на рис. 2, видно, что с течением времени происходит плавное увеличение количества металлических примесей в масле, что подтверждается предыдущими экспериментами. Также наблюдается рост температуры работающего масла с увеличением наработки редуктора мотор-колеса. Следовательно, необходимо проверить предложенную выше теорию о прямой зависимости температуры смазки от содержания примесей в ней. Для этого необходимо провести корреляционно-регрессионный анализ полученных в результате проведенных экспериментов данных, причем не только в летний период, но и во все остальные.

Для выявления более полноценной зависимости рассматриваемых параметров необходимо также добавить влияние внешнего фактора на температуру масла и содержание в нем металлических примесей, а именно температуру окружающей среды, так как она будет

непосредственно влиять на физико-химические свойства смазки. Таким образом, для определения влияния температуры окружающей среды эксперименты проводились в течение года, а результаты заносились в сводную таблицу.

Для определения силы влияния наработки автосамосвала и температуры окружающей среды на параметры эксплуатируемого трансмиссионного масла в редукторе, по полученным в ходе эксперимента данным проведен корреляционный анализ, коэффициенты которого приведены в табл. 1.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что на температуру смазки оказывают достаточное влияние все рассматриваемые параметры, причем наибольшую связь имеет количество примесей в масле. По шкале Чеддока взаимодействие между температурой в редукторе и температурой окружающей среды среднее, а нулевой коэффициент корреляции между наработкой и температурой окружающей среды говорит о том, что эти два параметра не оказывают друг на друга влияние, так как изменяются независимо друг от друга. Таким образом опираясь на результаты корреляционного анализа, можно сделать заключение о том, что все параметры выбраны правильно, наблюдается их сильная взаимосвязь, следовательно, их можно использовать для дальнейшего регрессионного анализа.

Для создания математической модели изменения температуры эксплуатируемого масла в редукторе автосамосвала БелАЗ недостаточно одного лишь корреляционного анализа, поэтому на основе полученных экспериментальным путем данных проведен регрессионный анализ с целью выявления численной зависимости температуры смазки ( $t$ ) от таких параметров, как наработка автосамосвала ( $T$ ), количество металлических примесей в смазке ( $Me$ ) и температура окружающей среды ( $t_{oc}$ ). Результаты корреляционного анализа представлены в математической модели (1):

$$t = 42,47 + 0,002 \cdot T + 108,41 \cdot Me + 0,88 \cdot t_{oc} \quad (1)$$

Полученная математическая модель изменения температуры эксплуатируемого масла от внешних параметров описывает данный процесс с достоверностью в 96,7%, а неучтенные факторы влияют лишь на 3,3%. Данный показатель означает, что полученная в результате регрессионного анализа модель является достоверной. Об этом также свидетельствует проверка на адекватность по F-критерию Фишера.

Выразив из уравнения (1) количество

металлических примесей в смазке, получим:

$$Me = \frac{t - (42,47 + 0,002 \cdot T + 0,88 \cdot t_{oc})}{108,41} \quad (2)$$

В связи с тем, что при повседневной эксплуатации проводить физико-химический анализ эксплуатируемого масла не всегда возможно и не на каждом разрезе есть оборудование для данной диагностики, то определяющим параметром выбирается температура смазки редуктора. Следовательно, используя математическую модель (2), достаточно измерять температуру масла в редукторе и температуру окружающей среды, вычислять количество металлических примесей, сравнивая полученное значение с критическим, можно судить о фактическом техническом состоянии как самого редуктора мотор-колеса самосвала БелАЗ и о его компонентах.

Увеличение надежности и долговечности автосамосвалов БелАЗ уменьшает внеплановые простои техники, непредвиденные отказы их узлов и механизмов, а также увеличивает в целом производительность всего угледобывающего комплекса. Внедрение процесса безразборной диагностики в технологическую линию технического обслуживания оборудования позволит значительно сократить потери в объеме добываемой угольной массы и снизить себестоимость самого угля, что положительно отразится на экономическом росте предприятий угледобывающей отрасли. В результате проведенных исследований, направленных на определение влияния внешних факторов на накопление металлических примесей в эксплуатируемом масле, получена математическая модель, описывающая данный процесс. Ее применение на производстве позволит отслеживать фактическое техническое состояние редукторов мотор-колеса БелАЗ в динамике и предвидеть возможный непредвиденный отказ, что в свою очередь оптимизирует работу главного механика предприятия, позволит вовремя скорректировать план по техническому обслуживанию и ремонту парка техники.

При проведении дополнительных экспериментов возможно внедрение данной методики безразборной диагностики фактического состояния узлов и механизмов на другое оборудование различной горнодобывающей техники. Таким образом, лишь небольшое дополнение в технологическом процессе технического обслуживания сократит простои, уменьшит количество отказов и, как следствие, увеличит производительность всего горнодобывающего комплекса.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бредихин, А.А. Современные технологии эксплуатации и обслуживания карьерного автотранспорта / А.А. Бредихин, Д.А. Нигматуллин // Горный журнал, 2007. – № 5. С. 40- 43.

2. Герики, Б.Л. Мониторинг и диагностика технического состояния машинных агрегатов: Учеб. пособие. – В 2-х ч. Ч. 1: Мониторинг технического состояния по параметрам вибрационных процессов / Кузб. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 1999 – 188с.
3. Гордиенко, Б.В. Повышение эффективности эксплуатации технологического автотранспорта на угольных разрезах / Б.В. Гордиенко, И.И. Полтавский, Г.П. Останин. – Кемерово: Кузбасвуиздат, 2001. – 166с.
4. Квагинидзе, В.С. Диагностика, техническое обслуживание и ремонт карьерного горно-транспортного оборудования в условиях низких температур // Дисс. на соиск. уч. степени докт. техн. наук. – Кемерово, 2003. – 313с.
5. Кудреватых А.В. Безразборное определение фактического технического состояния редукторов горнодобывающего оборудования / А.В. Кудреватых, А.С. Ащеулов, А.С. Ащеулова // Современные вопросы естествознания и экономики: Сборник трудов Международной научно-практической конференции. – Прокопьевск: [электронное издание] изд-во филиала КузГТУ в г. Прокопьевске, 2019. – 276 с. – с. 105.
6. Кудреватых А.В., Ащеулов А.С. Метод определения фактического технического состояния поворотного редуктора карьерных экскаваторов / А.В. Кудреватых, А.С. Ащеулов, А.С. Ащеулова // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. – 2019. - № 3. – С. 24 – 29.
7. Соколов, А.И. Оценка работоспособности машин по параметрам работающего масла. Учеб. пособие / А.И. Соколов, Н.Т. Тищенко, В.А. Аметов. – Томск: Изд-во Томского университета, 1991. – 200с.
8. Фурман, А.С. О нормировании расхода топлива на карьерном транспорте / А.С. Фурман, Д.В. Стенин, В.Е. Ашихмин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2006. - № 1 (52). С. 125-127.
9. Хорешок, А.А. Определение оптимального соотношения сопряженных параметров карьерных экскаваторно-автомобильных комплексов / А.А. Хорешок, Д.В. Стенин // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2007. - № 5 (63). С. 3-4.
10. Хорешок, А.А. Редуктор, как объект диагностики / А.А. Хорешок, А.В. Кудреватых. – Энергетическая безопасность России: новые подходы к развитию угольной промышленности: Материалы XI Международной научно-практической конференции – Кемерово: ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского, ИУУ СО РАН, КузГТУ, ЗАО КВК «Экспо-Сибирь», 2009. – С. 157-159
11. Basset D. Oil-soluble fluorinated compounds as antiwear and antifricition additives / D. Basset, M. Herman, J. M. Martin // ASLE Transactions. – 1984. – V. 27. – № 4. – P. 380-388.
12. Efremenkov A.B. Coal mining machinery development as an ecological factor of progressive technologies implementation / A.B. Efremenkov, A.A. Khoreshok, S.A. Zhironkin, A.V. Myaskov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. – С. 012009.
13. Kudrevatykh A.V. Actual technical condition assessment of mine excavators' slewing gear based on the operating oil parameters / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ashcheulov and A.S. Ashcheulova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019). 032033
14. Stenin, D.V. Evaluation of the open pit vehicles loading influence on the reliability of motor – wheel reducers / D.V. Stenin, N.A. Stenina, A.A. Bakanov // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016.- С. 256-260.
15. Stenin D.V. Dependence of reliability and resource of the elements of the design of quarry automatics with the degrees of their downloads / D. Stenin, N. Stenina // E3S Web of Conferences, 2017.
16. Stenin D.V. Influence of service conditions of quarry dump trucks on the thermal state large-size tires / D.V. Stenin, A.G. Kulpin, Evgeniy E. Kultayev, E.E. Kulpina, Valeriy A. Borovtsov // Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016.- С. 116-119.
17. Sunqing Q. A review of ultrafine particles as antiwear additives and friction modifiers in lubricating oils / Q. Sunqing, D. Junxiu, Ch. Guoxu // Lubricating Science. – 1999. – V. 11. – № 3. – P. 165-172.
18. Zhironkin S.A. Economic and technological role of Kuzbass industry in the implementation of national energy strategy of russian federation / S.A. Zhironkin, G.A. Barysheva, A.A. Khoreshok, M.A. Tyulenev, M.C. Hellmer // Innovative Technologies in Engineering, 2016. – С. 12127.

## REFERENCES

1. Bredikhin A.A. Modern technologies of operation and maintenance of open pit vehicles / A.A. Bredikhin, D.A. Nigmatullin // *Mining Journal*, 2007. – № 5. P. 40- 43.
2. Gerike B.L. Machine units technical condition monitoring and diagnostics: Textbook. - In 2 parts. Part 1: Monitoring of the technical condition on the parameters of vibration processes / Kuzbass state technical university – Kemerovo, 1999 – 188p.
3. Gordienko B.V. Improving the operation efficiency of technological vehicles on coal mines / B.V. Gordienko, I.I. Poltavsky, G.P. Ostanin. - Kemerovo: Kuzbassvuzuzdat, 2001. – 166p.
4. Kvaginidze V.S. Diagnostics, maintenance and repair of mining equipment at low temperatures // Thesis of doctor of tech. sciences degree. - Kemerovo, 2003. – 313p.
5. Kudrevatykh A.V. In-place determination of the actual technical condition of mining gearboxes / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ascheulov, A.S. Ascheulova // *Modern issues of natural sciences and economics: Proceedings of the International scientific and practical conference. - Prokopyevsk: [electronic publication] publishing house of the KuzSTU branch in Prokopyevsk, 2019. - 276 p. - p. 105.*
6. Kudrevatykh A.V. Asheulov A.S. The method of determining the actual technical condition of the rotary gear of mining excavators / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ascheulov, A.S. Ascheulova // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University. – 2019. No. 3. - P. 24 - 29.*
7. Sokolov A.I. Performance evaluation of machines according to the parameters of operating oil. Textbook / A.I. Sokolov, N.T. Tishchenko, V.A. Ametov. - Tomsk: Tomsk University Publishing House, 1991. – 200p.
8. Furman A.S. Rational consumption of fuel in open pit transport / A.S. Furman, D.V. Stenin, V.E. Ashikhmin // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2006. - № 1 (52). P. 125-127.*
9. Khoreshok A.A. Determination of the optimal ratio of conjugate parameters of mining excavator complexes / A.A. Khoreshok, D.V. Stenin // *Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2007. - № 5 (63). P. 3-4.*
10. Khoreshok A.A. Gear as an object of diagnosis / A.A. Khoreshok, A.V. Kudrevatykh. - *Energy Security of Russia: New Approaches to the Development of the Coal Industry: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference - Kemerovo: NSC MP - CMI after A. A. Skochinsky, CCI SB RAS, KuzSTU, KSC Expo-Siberia, 2009. - P. 157-159*
11. Basset D Oil-soluble fluorinated compounds as antiwear and antifriction additives / D. Basset, M. Herman, J. M. Martin // *ASLE Transactions. – 1984. – V. 27. – № 4. – P. 380-388.*
12. Efremkov A.B. Coal mining machinery development as an ecological factor of progressive technologies implementation / A.B. Efremkov, A.A. Khoreshok, S.A. Zhironkin, A.V. Myaskov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2017. – C. 012009.*
13. Kudrevatykh A.V. Actual technical condition assessment of mine excavators' slewing gear based on the operating oil parameters / A.V. Kudrevatykh, A.S. Ashcheulov and A.S. Ashcheulova // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019). 032033*
14. Stenin D.V. Evaluation of the open pit vehicles loading influence on the reliability of motor – wheel reducers / D.V. Stenin, N.A. Stenina, A.A. Bakanov // *Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016. - P. 256-260.*
15. Stenin D.V. Dependence of reliability and resource of the elements of the design of quarry automatics with the degrees of their downloads / D. Stenin, N. Stenina // *E3S Web of Conferences, 2017.*
16. Stenin D.V. Influence of service conditions of quarry dump trucks on the thermal state large-size tires / D.V. Stenin, A.G. Kulpin, Evgeniy E. Kultayev, E.E. Kulpina, Valeriy A. Borovtsov // *Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety, 2016.- C. 116-119.*
17. Sunqing Q..A review of ultrafine particles as antiwear additives and friction modifiers in lubricating oils / Q. Sunqing, D. Junxiu, Ch. Guoxu // *Lubricating Science. – 1999. – V. 11. – № 3. – P. 165-172.*
18. Zhironkin S.A. Economic and technological role of Kuzbass industry in the implementation of national energy strategy of russian federation / S.A. Zhironkin, G.A. Barysheva, A.A. Khoreshok, M.A. Tyulenev, M.C. Hellmer // *Innovative Technologies in Engineering, 2016. – C. 12127.*

Поступило в редакцию 10.02.2020  
Received 10 February 2020