

**Кудреватых Андрей Валерьевич**, канд. техн. наук, доцент, **Ащеулов Андрей Сергеевич**, канд. техн. наук, доцент, **Ащеулова Алена Сергеевна**, канд. физ.-мат. наук, преподаватель

Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,  
650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

E-mail: kav.ea@kuzstu.ru

## **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕССА ИЗНОСА РЕДУКТОРОВ ЭКСКАВАТОРОВ И КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ**

**Аннотация:** Целью деятельности любого предприятия по добыче полезных ископаемых является привлечение максимально возможной прибыли исходя из ресурсов, горнодобывающий комплекс не является исключением. Увеличения прибыли при неизменных ресурсах можно добиться уменьшением затрат на техническое обслуживание оборудования, а также уменьшением затрат связанными с простоями горнодобывающей техники вызванными внеплановыми ремонтами. Около 15 % простоев автосамосвалов происходит из-за поломки редуктора мотор-колеса, таким образом, если вовремя предсказать неисправность данного узла, можно увеличить надежность и долговечность рабочей техники. Наиболее частые поломки горнодобывающей техники – выход из строя редуктора мотор-колеса. Трение – основное физическое явление, которое влияет на состояние редуктора мотор-колеса, последствия трения – мелкие металлические частицы, оседающие в масле. Введение физико-химического анализа эксплуатируемого масла выявило схожесть математических моделей по определению металлических примесей в эксплуатируемом масле. Основываясь на сделанных выводах составлена математическая модель, позволяющая описать фактическое техническое состояние редукторов для различной техники, с погрешностью в пределах 4,7 %. Входящими параметрами данной модели являются показатели окружающей среды, а также рабочие параметры оборудования..

**Ключевые слова:** редуктор, износ, надежность, долговечность, масло, карьерный самосвал, экскаватор.

**Информация о статье:** принята 12 октября 2020 г.  
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-51-56

На предприятиях горнодобывающей отрасли применяются различные технологии по добыче полезных ископаемых. Так в угольной промышленности чаще всего применяются открытый и закрытый методы добычи угля. При этом современный уровень техники позволяет использовать различные машины и оборудование, таким образом облегчая труд людей [8]. Открытый способ разработки угольных месторождений зарекомендовал себя как наиболее эффективный, менее затратный и более безопасный. Но несмотря на все преимущества, данный метод обладает рядом недостатком, а именно возникающие простои горнодобывающего комплекса, связанные с непредвиденными отказами различных узлов и механизмов одного из видов техники.

Таким образом, низкая надежность одного из механизмов техники приводит к снижению этого показателя и у самой техники, а как итог уменьшение производительности горнодобывающего комплекса в целом. Так как выход из строя хотя бы одной машины из производственной линии приводит к ее остановке. При этом если отказ происходит на карьерном самосвале, то скорость добычи только снизится, а если же выйдет из строя экскаватор, тогда линия остановится полностью.

Следовательно, необходимо увеличивать надежность каждой производственной техники, посредством сокращения отказов, связанных с выходом из строя их узлов и механизмов. Этого можно достичь многими вариантами, такими как совершенствование конструкции на заводах производителей, уменьшение нагрузок на горнодобывающее оборудование, увеличение количества проводимых регламентных технических обслуживаний и др. Но все эти методы либо недостаточно эффективны, либо улучшение происходит постепенно, низкими темпами, а некоторые способы приведут к резкому росту себестоимости добываемого угля. Наиболее рационально внедрять в перечень регламентных работ дополнительной операции по безразборному диагностированию механизмов машин, что позволит выявлять непредвиденные отказы, которые являются причиной большинства поломок техники. [10]

В процессе эксплуатации узлов и агрегатов угледобывающего оборудования происходит процесс износа трущихся деталей, приводящих к снижению их ресурса и как следствие к уменьшению надежности и долговечности [12]. Кроме естественного износа на снижение показателей качества оказывает влияние и физико-химические свойства эксплуатируемого масла, в котором происходят процессы

старения, а также накопления в себе продуктов износа механизмов.

Именно за счет моющих свойств масел, происходит накопление металлических продуктов износа трущихся поверхностей узлов и агрегатов горнодобывающего оборудования. Проведя физико-химический анализ эксплуатируемого масла в редукторе, возможно определение, по количеству посторонних составляющих, фактического технического состояния механизма. Кроме того, многие шестерни внутри редуктора изготавливаются из различных металлов, либо с различными примесями металлов, таким образом по наличию в масле того или иного металла, возможно выявить изношенный элемент редуктора. Данная методика зарекомендовала себя как эффективное средство по увеличению надежности машины. Благодаря своевременному выявлению начинающихся повышенных процессов износа деталей в редукторе, возможно провести ремонт либо вовремя изменить маршруты движения транспорта, при этом не останавливая производственную линию.

На территории Кемеровской области одним из самых крупных угледобывающих предприятий является ОАО УК «Кузбассразрезуголь». Парк техники данного предприятия насчитывает свыше 500 единиц карьерных автосамосвалов и карьерных экскаваторов более 200 единиц, при этом наблюдается тенденция ежегодного увеличения количества единиц горнодобывающей техники. Значительная часть техники имеет повышенный износ, среди экскаваторов, в среднем, около 30 %, а среди карьерных самосвалов – 22 %. Это сказывается на увеличении количества простоев из-за выхода из строя узлов и механизмов машин. Так в сравнении с предыдущим годом количество простоев возросло в 2,7 раза, что привело к снижению производительности всего предприятия. [10]

Проведенный анализ причин простоев техники на предприятии ОАО УК «Кузбассразрезуголь» выявил, что из всех возникающих отказов наиболее часто встречаются поломки, связанные с выходом из строя редуктора мотор-колеса у карьерных самосвалов, при чем в процентном отношении составляет 18,8 % всех простоев. Аналогичное исследование среди экскаваторов показало, что причиной отказов становится поворотный редуктор – около 15,3 % [12].

Выход из строя редукторов относится к непредвиденным отказам, как у экскаваторов, так и у карьерных самосвалов, что в свою очередь негативно сказывается на планировании текущего ремонта всего парка техники, и вносит коррективы в организацию движения маршрутов и производственные линии разрезов. Следовательно, необходимо разработать и внедрить методику по безразборному диагностированию фактического технического состояния вышеупомянутых узлов техники, причем проводить диагностику необходимо параллельно с техническим обслуживанием. Именно безразборный способ диагностики является наиболее эффективным, так как сокращает время простоя техники при проведении обслуживания.

Среди существующих методов оценки состояния редукторов более информативным является метод оценки износа деталей редукторов по нагреву эксплуатируемого масла. В процессе эксплуатации редукторов, происходит изнашивание трущихся деталей, продукты которого накапливаются в используемом масле, таким образом оно начинает терять свои смазывающие свойства, а также металлические примеси попадают в зазоры между деталями, что приводит к нагреву самого редуктора, и увеличению температуры масла. Следовательно, установив численную зависимость между температурой и количеством металлических примесей, возможно проводить оценку степени износа деталей редуктора [8].

Так, в ранее проведенных исследованиях изучалось накопление продуктов износа в эксплуатируемом масле. Производился отбор проб масла из поворотных редукторов экскаваторов и редукторов мотор-колес карьерных самосвалов. Интервал, с которым отбирались пробы, равен 50 моточасам, как наиболее оптимальное значение, позволяющее отслеживать изменения металлических примесей в динамике. [5, 6] Совмещенные результаты данных экспериментов представлены на рисунке 1.

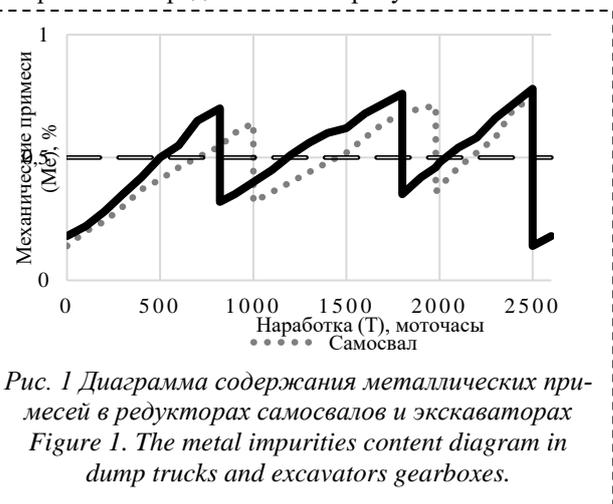


Рис. 1 Диаграмма содержания металлических примесей в редукторах самосвалов и экскаваторов  
Figure 1. The metal impurities content diagram in dump trucks and excavators gearboxes.

На рисунке представлены графики изменения содержания металлических примесей в эксплуатируемом масле редуктора мотор-колеса карьерного самосвала и поворотного редуктора экскаватора, а также показан критический уровень примесей в масле. Превышение данного уровня приведет к повышенному износу трущихся поверхностей и как следствие увеличению температуры редуктора. Экстремальное снижение продуктов износа в масле совпадает с проведением технического обслуживания по смене масла в редукторе. Разница в падении между графиками обуславливается техническим регламентом завода производителя по интервалам ТО.

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод о том, что с течением времени работы техники, в масле происходит плавное накопление примесей. Это означает, что техника работает без критических нагрузок, следовательно, детали изнашиваются равномерно. Но более детальное исследование диаграммы позволяет увидеть, что при малых экстремумах количество продуктов износа в масле не падает до нуля, а становится выше чем при

предыдущей замене масла, в эти интервалы происходила доливка масла в редуктор. Таким образом сравнивая оба графика по изменению содержания металлических примесей в эксплуатируемом масле редуктора мотор-колеса карьерного самосвала и поворотном редукторе экскаватора, можно сделать вывод о том, что накопление происходит по одинаковым законам.

Несмотря на преимущества метода физико-химического анализа масла с определением процентного содержания примесей, он имеет ряд недостатков. А именно: либо само предприятие должно иметь свою собственную химическую лабораторию для оценки качества масла, при этом должны быть квалифицированные сотрудники, которые смогут в ней работать, либо привлекать стороннюю организацию, которая сможет произвести химический анализ, а это дополнительные траты. Также данная методика имеет существенный недостаток при проведении процедуры технического обслуживания, при смене масла в редукторе. Так как масло заменяется полностью, то и примеси, накопившиеся в процессе эксплуатации, выводятся вместе с отработавшим маслом. Следовательно, произвести оценку степени износа трущихся поверхностей редуктора, не получится. Таким образом необходимо разработать методику, при которой оценивающий показатель степени износа будет достоверно информировать о фактическом техническом состоянии редуктора.

Для оценки влияния погодных условий на изменение температуры масла редуктора, проводилась дополнительная серия экспериментов. Это исследование продолжалось больше года, что позволяет проанализировать и сравнить результаты при различных условиях окружающей среды. [5, 6] Полученные данные приведены на рисунке 2.

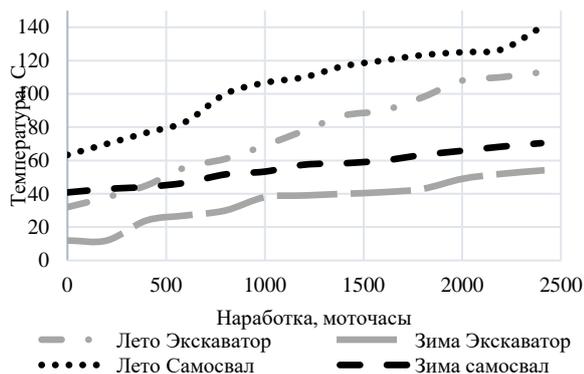


Рис. 2 Изменение температуры масла в редукторах самосвала и экскаватора в летнее и зимнее время

Figure 2. Changes in oil temperature in dump truck and excavator gearboxes in summer and winter

На рисунке представлено четыре графика изменения температуры масла в редукторе от наработки техники, 2 относящиеся к карьерным самосвалам и 2 – к экскаваторам. При этом графики разбиты на две группы: «лето» и «зима», разделение проведено условно, календарный год разделен на теплые дни – это «лето», то есть среднемесячная температура

окружающей среды была положительная, и холодные дни – «зима», когда среднемесячная температура опускалась ниже нуля градусов.

Из первичного анализа видно, что на обоих видах техники, нагрев эксплуатируемого масла редуктора, происходит практически одинаково, при чем как в «летний» период, так и в «зимний». Рост температуры связан непосредственно с ростом количества примесей в масле. Более детальное изучение графиков, выявило, что температуры в холодный и теплые периоды лишь на начальном этапе близки по значению. Дальнейшая эксплуатация техники приводит к значительному возрастанию температуры в «летние» дни, а при отрицательных – скорость возрастания не столь велика.

Немаловажный фактор в данном эксперименте – это критическая температура, для карьерных самосвалов она составляет 120 °С, а для экскаваторов 90 °С. Превышение температуры масла выше этого уровня приводит к ускорению процесса износа, следовательно, необходимо добиваться такой частоты смены масла и таких условий работы техники, чтобы не пересекать данную границу. [5, 6]

Исследование графиков показывает, что в «зимний» период изменение наблюдаемого параметра на обоих видах техники не значительно, это является, как и положительным эффектом, так и отрицательным. Для работы редуктора, данная ситуация объясняется дополнительным охлаждением корпусов редукторов за счет отрицательных температур, а для оценки фактического технического состояния приобретает отрицательное явление, так как усложняет диагностирование неисправности.

Проведенные исследования по изучению изменения технического состояния редуктора карьерных самосвалов и экскаваторов позволяют на основе полученных данных произвести математическое моделирование процесса накопления металлических примесей в эксплуатируемом масле, для каждой рассматриваемой машины, в зависимости от наработки техники, температуры масла, а также погодных условий [5, 6].

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

$$Me = \frac{t - (14,98 + 0,005T + 0,43 t_{oc})}{118,39} \quad (2)$$

Формула (1) математическая модель накопления металлических примесей в редукторе мотор-колеса карьерного самосвала, а формула (2) показывает изменение количества примесей в поворотном редукторе экскаватора. Для этого необходимо знать наработку техники, температуры окружающей среды и эксплуатируемого масла. Недостаток такого подхода заключается в том, что на карьерах по добыче полезных ископаемых применяется большое количество разнообразной техники, таким образом необходимо проводить для каждого из видов, свою серию опытов, и составлять математическую модель.

На основе исследований и математического моделирования для редукторов экскаваторов, и самосвалов, выявлено сходство процессов износа и накопления металлических примесей в масле. Применяя математическую модель (1) для полученных данных накопления примесей в редукторе

экскаватора, проведен сравнительный анализ, для выявления относительной погрешности применяемой модели. В результате проведенной математической обработки, выявлено, что допустимо применение формулы (1) для оценки фактического технического состояния поворотного редуктора экскаватора с достоверность 5,6 %. Использование уравнения (1) предсказывает результаты накопления только при содержании примесей более 2 %, при меньших показателях процентное отклонение превышает 10 %.

Следовательно, принятая математическую модель для карьерных самосвалов за универсальную, возможно предсказывание технического состояния редукторов, с небольшими допущениями. Так как при малых содержаниях посторонних включений в масле техническое состояние считается исправным. Большее же содержание примесей наиболее важно улавливать и предвидеть увеличение износа, что данная модель и позволяет сделать.

Проведенные исследования по сравнению износа редукторов на карьерных самосвалах и экскаваторов, выявили схожесть процессов трения взаимодействующих деталей, рассматриваемых узлов. Получена универсальная математическая модель, которая позволяет оценивать фактическое техническое состояние редукторов безразборным способом. Применение данной модели ограничено небольшими допущениями по минимальному содержанию примесей в эксплуатируемом масле. Таким образом возможно значительно сократить количество простоев, возникающих из-за непредвиденных отказов редукторов. Дальнейшее расширение математической модели изнашивания деталей редукторов, позволит увеличить круг охватываемой техники, при этом использование данного уравнения возрастет надежность как самой техники, так и горнодобывающего комплекса в целом.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dadonov M., Kulpin A., Ostanin O., Suleimenov E. Distribution of static normal reactions to wheels of open-pit dump trucks depending on the longitudinal and cross sections of the open-pit road // E3S Web of Conferences. International Innovative Mining Symposium. 2019, Vol. 105, 03009
2. 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. – С. 012009.
3. Kosolapov A., Krysin S., The Raising Influence of Information Technologies on Professional Training in the Sphere of Automated Driving When Transporting Mined Rock, E3S Web of Conferences 21, 03012 (2017)
4. Kudrevatykh A., Ashcheulov A., Ashcheulova A., Karnadud O., Rattmann L. Actual Technical

Condition Assessment of a Motor-Wheel Gear of A Dump Truck Belaz Based on the Operating Oil Parameters // E3S Web of Conferences IVth International Innovative Mining Symposium, 2019, 105, 03021

5. 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

6. 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.

7. 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.

8. 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.

9. 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.

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

11. Гордиенко, Б. В. Повышение эффективности эксплуатации технологического автотранспорта на угольных разрезах / Б. В. Гордиенко, И. И. Полтавский, Г. П. Останин. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2001. – 166с.

12. Комплексная оценка технического уровня механического оборудования карьеров / Ю.Е. Воронов, А.В. Косолапов, А.Ю. Воронов, В.Г. Ромашко, А.Ю. Воронов // Горное оборудование и электромеханика. - 2019. - №4. - С. 26-33.

13. Фурман А.С. Исследование транспортного процесса карьерных автосамосвалов / А.С. Фурман, А.А., Г.Д. Буялич // Горное оборудование и электромеханика.- № 5. - 2017. - С. 40-42.

14. 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.

15. 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.

**Andrey V. Kudrevatykh**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Andrey S. Ashcheulov**, C. Sc. in Engineering, Associate Professor, **Alena S. Ashcheulova**, C. Sc. in Physics and Mathematics, Lecturer

T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St., Kemerovo, 650000, Russian Federation

## THE WEAR PHENOMENA COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF EXCAVATORS AND DUMP TRUCKS GEARBOXES

**Abstract:** *The aim of any enterprise dealing with extraction of minerals is to extract the maximum possible profit; the mining complex is not an exception. Increasing profits with constant resources can be achieved by reducing equipment maintenance costs, as well as reducing costs associated with downtime of mining equipment caused by unplanned maintenance. About 15% of dump trucks downtime is due to gearbox breakdown of the motor-wheel; thus, if the failure of this unit is predicted in time, the reliability and durability of the working equipment can be increased. The most frequent breakdowns of mining equipment are failure of a motor-wheel gearbox. Friction is the main physical phenomenon that affects the condition of a motor-wheel gearbox. The consequences of friction are small metal particles that accumulate in oil. The introduction of the physical and chemical analysis of the used oil has revealed the similarity of mathematical models for the determination of metallic impurities in the used oil. Based on the conclusions, a mathematical model, which allows describing the actual technical condition of gearboxes for various equipment, with an error within 4.7%, was constructed. The input parameters of this model are environmental indicators, as well as the operating parameters of the equipment.*

**Keywords:** gearbox, wear, reliability, durability, oil, mining dump truck, excavator.

**Article info:** received October 12, 2020  
DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-51-56

### REFERENCES

1. Dadonov M., Kulpin A., Ostanin O., Suleimenov E. Distribution of static normal reactions to wheels of open-pit dump trucks depending on the longitudinal and cross sections of the open-pit road // E3S Web of Conferences. International Innovative Mining Symposium. 2019, Vol. 105, 03009
2. 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.
3. Kosolapov A., Krysin S., The Raising Influence of Information Technologies on Professional Training in the Sphere of Automated Driving When Transporting Mined Rock, E3S Web of Conferences 21, 03012 (2017)
4. Kudrevatykh A., Ashcheulov A., Ashcheulova A., Karnadud O., Rattmann L. Actual Technical Condition Assessment of a Motor-Wheel Gear of A Dump Truck Belaz Based on the Operating Oil Parameters // E3S Web of Conferences IVth International Innovative Mining Symposium, 2019, 105, 03021
5. 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
6. 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.
7. 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.
8. 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.- C. 256-260.
9. 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.
10. Bredikhin, A. A. Modern technologies of operation and maintenance of open-pit vehicles / A. A. Bredikhin, D. A. Nigmatullin // Mining magazine. 2007. - № 5. P. 40-43.
11. Gordienko, B.V. Improving the operation efficiency of technological vehicles at coal mines / B.V. Gordienko, I.I. Poltavsky, G.P. Ostanin. - Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2001 – 166p.
12. Complex assessment of technical level of mechanical equipment in open pits / Yu.E. Voronov, A.V.

Kosolapov, A. Yu. Voronov, V.G. Romashko // Mining equipment and electromechanics. - 2019. - No. 4. - P. 26-33.

13. Furman A.S. Investigation of the transport process of dump trucks / A.S. Furman, A.A., G.D. Buyalich // Mining equipment and electromechanics. - No. 5. - 2017. - P. 40-42.

14. Furman, A.S. Regulations of fuel consumption in open pit transport / A.S. Furman, D.V. Stenin, V.E.

Ashikhmin // Bulletin of Kuzbass State Technical University. 2006. - No. 1 (52). P. 125-127.

15. Khoreshok, A.A. Determination of the optimal ratio of the conjugated parameters of the open pit excavator-automobile complexes / A.A. Khoreshok, D.V. Stenin // Bulletin of Kuzbass State Technical University. 2007. - № 5 (63). P. 3-4.

#### **Библиографическое описание статьи**

Кудреватых А.В., Ащеулов А.С., Ащеулова А.С. Сравнительная характеристика процесса износа редукторов экскаваторов и карьерных самосвалов // Горное оборудование и электромеханика – 2020. – № 5 (151). – С. 51-56.

#### **Reference to article**

Kudrevatykh A.V., Ashcheulov A.S., Ashcheulova A.S. The wear phenomena comparative characteristics of excavators and dump trucks gearboxes. Mining Equipment and Electromechanics, 2020, no.5 (151), pp. 51-56.