

## Научная статья

УДК 622.002

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-2-59-64

Андреева Людмила Ивановна

Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН

\*E-mail: tehnoem74@list.ru

**МОНИТОРИНГ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНЫХ МАШИН  
КАК МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ЕЕ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ****Информация о статье**

Поступила:

21 января 2024 г.

Одобрена после  
рецензирования:

30 апреля 2024 г.

Принята к печати:

15 мая 2024 г.

Опубликована:

06 июня 2024 г.

**Ключевые слова:**

мониторинг технического состояния, экономическая целесообразность, горнодобывающее предприятие, эксплуатация, дефекты, планирование

**Аннотация.**

Рассмотрены основные недостатки существующей на горнодобывающем предприятии (ГДП) системы технического обслуживания и ремонта горной техники, основными из которых являются увеличение трудовых и материальных затрат в результате несвоевременного проведения профилактических и восстановительных работ, а также несоответствие их объема и содержания фактическому техническому состоянию горной техники.

Рассмотрен опыт некоторых горнодобывающих предприятий, где уже реализуется программа мониторинга технического состояния горного оборудования. Проанализированы основные преимущества и результаты, полученные от освоения системы мониторинга горнотранспортного оборудования (ГТО), позволяющие получить определенный эффект от ее использования. Приведены результаты обследования большой группы экскаваторов, позволившие сгруппировать машины на несколько групп: удовлетворительное состояние, неудовлетворительное, хорошее и недопустимое. Исследованы процессы снижения технического ресурса горной техники за период ее эксплуатации, на основании этого установлены экономически целесообразные сроки службы деталей и узлов канатных экскаваторов и колесных погрузчиков. Указаны основные дефекты и неисправности, которые могут привести горную машину к остановке по причине отказа какой-либо системы, агрегата или узла. Даны рекомендации по организации на ГДП отдела либо группы, которая взяла бы на себя функцию планирования, учета и отчетности по результатам проведенного мониторинга горной техники.

**Для цитирования:** Андреева Л.И. Мониторинг технического состояния горных машин как метод определения экономической целесообразности ее эксплуатации // Горное оборудование и электромеханика. 2024. № 2 (172). С. 59-64. DOI: 10.26730/1816-4528-2024-2-59-64, EDN: VZFPQJ

Необходимость увеличения производительности горного оборудования в условиях изменения технико-технологического уклада ГДП с сохранением максимально возможного в условиях предприятия уровня безотказности и снижением себестоимости добычи полезного ископаемого требует совершенствования системы технической эксплуатации горной техники и оборудования. Ее эффективность определяется организацией системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), производственно-технической базой, условиями и режимом эксплуатации, системой материально-технического снабжения.

В этом контексте основным фактором повышения эффективности технической эксплуатации оборудования является организация системы ТОиР, которая определяет рациональную стратегию поддержания и восстановления работоспособности горного оборудования, а также предусматривает соответствующее техническое и нормативно-технологическое обеспечение ремонтной службы [1].

В настоящее время система ТОиР горнотранспортного оборудования низкоэффективна и имеет ряд недостатков:

- ремонтно-регулирующим работам подвергаются механизмы, находящиеся в удовлетворительном состоянии;

- развивающийся в период эксплуатации отказ обнаруживается и устраняется только во время проведения регламентированных работ;

- неизбежны аварийные отказы в промежутках между регламентным обслуживанием, что приводит к большим финансовым затратам;

- увеличение трудовых и материальных затрат в результате несвоевременного проведения восстановительных работ и несоответствие их объема и содержания фактическому состоянию оборудования.

Для поддержания горнотранспортного оборудования в исправном состоянии и перехода к техническому обслуживанию и ремонту оборудования по фактическому состоянию большое значение имеет организация мониторинга технического состояния ГТО. Реализация программ мониторинга ГТО заключается в определении рационального баланса выполнения объемов планово-предупредительных ремонтов и профилактического обслуживания. Мониторинг эффективен, если обеспечивает постоянное предоставление объективной и полной информации о состоянии ГТО, равномерную и обоснованную загрузку ремонтного персонала, исключение внезапных отказов горных машин, снижение эксплуатационных затрат [1,2,3].

Опыт некоторых горнодобывающих предприятий, где частично реализуется программа мониторинга технического состояния ГТО, свидетельствует, что первым этапом ее реализации должно быть формирование подразделения, предназначенного для выполнения функций, необходимых для обеспечения требуемого технического состояния ГТО. В функции этого подразделения должны входить планирование периодичности и объемов ремонтных воздействий, материальных и трудовых ресурсов, проведение работ по анализу отказов, контроль выполнения условий и требований при производстве ремонтных работ, подготовка квалифицированных кадров [1,4,5].

Основными задачами этого подразделения по обеспечению надежности ГТО являются:

- проведение мониторинга, в частности вибро- и теплообследования оборудования;

- обеспеченность своевременными сведениями о фактическом состоянии оборудования с целью исключения любых внеплановых остановок техники и производства в целом;

- ведение архива оборудования, в том числе подготовка сведений о простоях, фактическом техническом состоянии техники, проведенных ремонтах, результатах функционально-стоимостного анализа и др.;

- контроль за выполнением работ и отслеживание затрат с учетом функционально-стоимостного анализа;

- оценка тенденций изменения межремонтного интервала и ресурса оборудования для нужд

возможной модернизации или замены оборудования, ведения паспортов агрегатов.

Для предприятий, практикующих внедрение системы мониторинга, типично в течение 2-4 лет освоение большинства новых технологий распознавания состояния оборудования, таких как акустическая диагностика, термография, трибодиагностика и др. На этой стадии мониторинга информация о состоянии оборудования направлена на профилактическое обслуживание и устранение конкретных выявленных дефектов с использованием активных технологий, включая точную центровку с использованием лазеров, балансировку в собственных подшипниках, анализ основных причин отказов и др. [6,7,8].

Преимущества и результаты, полученные от внедрения системы планирования ремонта ГТО, обеспечивают значительное повышение надежности его эксплуатации и увеличение времени производительного использования, а также позволяют определить:

- среднемесячные (среднегодовые) эксплуатационные затраты на ремонт;

- затраты на техническое обслуживание, отнесенные к себестоимости продукции;

- межремонтный интервал (средний, по отдельным производствам, критичным агрегатам);

- процент времени использования оборудования по отношению к общему календарному времени;

- процент некачественно отремонтированного оборудования по результатам послеремонтных обследований;

- количество машин, своевременно выведенных из эксплуатации с подтвержденным при исследовании дефектом;

- фактический годовой экономический эффект от проведения каждого профилактического обслуживания;

- процентное соотношение оборудования в исправном, допустимом и предельном (аварийном) состояниях;

- общее количество и потребление инвентарных запасных частей.

По данным зарубежных источников применение методов мониторинга технического состояния на горнодобывающих предприятиях дает годовой экономический эффект, определяемый в 1,5-3,0% стоимости добытого за этот период полезного ископаемого, тогда как затраты на их внедрение составляют всего 12-14% получаемого эффекта. 65% суммарного эффекта обусловлено предотвращением снижения производительности из-за простоев оборудования, а 35% – из-за экономии затрат на ремонт [9,10].

По данным института угля и углехимии СО РАН, в течение пяти лет на угольных разрезах Кузбасса было проведено более 300 диагностических обследований главных приводов экскаваторов циклического действия, в том числе проведено более 30 экспертных обследований экскаваторов с истекшим сроком эксплуатации. Охвачен практически весь

спектр применяемых на добычных и вскрышных работах экскаваторов: ЭКГ-5А, ЭКГ-6,3у; ЭКГ-6,3уc; ЭКГ-8И; ЭКГ-8у; ЭКГ-8уc; ЭКГ-10; ЭКГ-12,5; ЭШ-10/70; ЭШ-13/50; ЭШ-15/90А; ЭШ-20/90; RH-120С. На Рис. 1 приведены результаты обследований, характеризующие фактическое техническое состояние экскаваторного парка, полученные при их первичном обследовании.

Предотвращение аварийных отказов или снижение количества времени на ликвидацию отказов возможно при своевременной оценке технического состояния деталей и узлов машины. Мониторинг технического состояния сложной по конструкции горной техники позволяет отслеживать состояние узлов и агрегатов и своевременно предупреждать возможные отказы. Причиной отказов может быть выработка подвижных соединений (подшипники качения и скольжения) и ослабление неподвижных

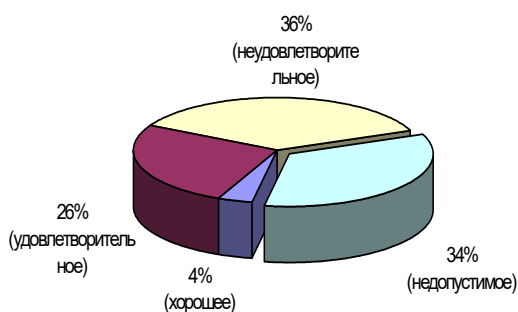


Рис. 1. Оценка технического состояния экскаваторов по данным первичных вибродиагностических обследований  
 Fig. 1. Assessment of the technical condition of excavators according to the data of primary vibration diagnostic examinations

соединений (резьбовые, на заклепках и т.д.), а также развитие трещин в металле конструкции. При накоплении статистических данных об отказах и соответствующих им предельных значениях диагностических параметров можно с большей степенью вероятности прогнозировать момент выхода оборудования из строя и определять экономически целесообразные сроки его эксплуатации [11,12,13].

Таким образом, выбор метода оценки технического состояния должен обосновываться точностью и достоверностью полученных оперативных данных, наличием и надежностью системы контроля за техническим состоянием объекта. В качестве основного показателя остаточного ресурса в результате прогноза должен определяться гамма-процентный ресурс, задаваемый двумя численными значениями: наработкой и выраженной в процентах вероятностью того, что в течение этой наработки предельное состояние не будет достигнуто.

Следует отметить, что, помимо технического аспекта, нормативный срок службы необходимо рассматривать как экономическую категорию, характеризующую время, в течение которого амортизируется стоимость оборудования. Экспертные обследования с оценкой фактического технического

состояния позволяют с экономической точки зрения увеличить первоначальную стоимость амортизируемого оборудования.

Мониторинг технического состояния ГТО позволяет определить экономически целесообразную долговечность горных машин (Рис. 2).

Начало эксплуатации любого технического устройства, как правило, характеризуется начальным ресурсом, которому соответствует значение  $P_0$ . При достижении расчетно-нормативного срока эксплуатации (участок 0- $T_1$ ) ресурс технического устройства приближается к допустимому уровню (значение  $P_1$ ) и перестает отвечать предъявляемым к нему требованиям промышленной безопасности. На этом этапе (точка Э1) принимается решение либо о выводе технического устройства из эксплуатации, либо о проведении экспертизы, ремонта или модернизации технического устройства.

На участке  $T_1$ - $T_2$  проводится экспертиза промышленной безопасности, выполняются мероприятия по устранению дефектов, модернизации, ремонту, а также повторно проверяется качество и полнота мероприятий по устранению дефектов. В

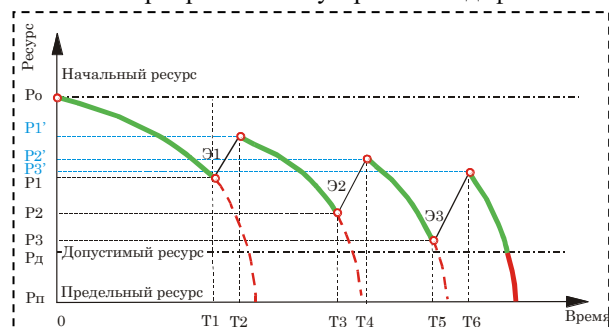


Рис. 2. Этапы продления ресурса горных машин  
 Fig. 2. Stages of extending the life of mining machines

результате проведенной модернизации ресурс технического устройства может быть повышен до нового уровня  $P_1'$ . На основании результатов экспертизы, выполнения корректирующих мероприятий по ремонту, модернизации, приведения в соответствие требованиям норм и правил безопасности оборудование допускается к эксплуатации на новый продленный срок (участок  $T_2$ - $T_3$ ). Дальнейшая эксплуатация постепенно приводит к снижению ресурса технического устройства и по окончании срока продления (точка Э2) снова принимается решение либо о выводе технического устройства из эксплуатации, либо о проведении следующего цикла экспертизы и т.д. [1,14].

При изучении практических результатов эксплуатации техники установлено, что экономически целесообразные сроки службы канатных экскаваторов составляют 75-100 тыс. рабочих часов, тогда как по гидравлическим экскаваторам и колесным погрузчикам они оцениваются в 30-60 тыс. ч. При этом канатные экскаваторы обеспечивают удельную себестоимость тонны продукции 0,06-0,09 долл. США, гидравлические – 0,08-0,13 долл./т. [15].

При анализе данных, полученных при первичных обследованиях экскаваторов в УК «Кузбассразрезуголь», выявлено, что до 80% всех отказов горной техники связано с износом механического и электрического оборудования (редукторы, электродвигатели и др.). Износ сопровождается повышением уровня вибрации узлов и агрегатов. Основными дефектами оборудования являются:

- дисбаланс ротора;
- расцентровка валопровода агрегата;
- дефекты подшипников узлов (перекосы, ослабление посадки, процессы износа);
- дефекты зубчатых передач (нарушение геометрии зуба, смещение линии вала, нарушение смазки);

В большинстве случаев выявленные дефекты являются следствием нарушения технологии ремонта, и лишь небольшое число механизмов переходит в недопустимое техническое состояние только по причинам, вызванным постепенными процессами износа во время эксплуатации машин. Такое состояние вполне возможно объяснить только полным отсутствием эффективного контроля производимых ремонтов и слабым техническим оснащением ремонтных подразделений (оснасткой, приспособлениями и инструментом).

Внедрение в систему диагностирования горной техники автоматизированных систем значительно упрощает организацию работ парка машин и позволяет по-новому вести учет информации по смазочным материалам, контролировать работоспособность и планировать ТО и ремонт оборудования. Результаты диагностики в виде рекомендаций по техническому обслуживанию и ремонту поступают в соответствующие службы (эксплуатация, ремонтно-механические мастерские, службы ГСМ и др.).

#### Заключение

Переход российских горнодобывающих предприятий на новый технологический уклад тесно связан с разработкой новых технологий добычи полезного ископаемого с применением мощной карьерной техники, отвечающей природно-климатическим условиям территории, на которой осваивается месторождение. Одним из важнейших моментов этого является качественное состояние основных средств, в частности, выемочно-погрузочной и транспортирующей техники.

Необходимо отметить, что в настоящее время большой интерес к мониторингу и методам оценки технического состояния горных машин проявляют технические службы разрезов и карьеров, поскольку переход к цифровизации технологических процессов просто обязывает технические службы осуществлять мониторинг технического состояния горных машин для фиксации и анализа показателей ее эксплуатации, что позволит своевременно принимать управленческие решения относительно каждой единицы техники.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева Л. И. Методология формирования технического сервиса горно-транспортного

оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук. Л. И. Андреева. Екатеринбург. 2004. 297 с.

2. Алексеенко В. Б., Корнилков С. В., Хажиев В. А. [и др.] Декомпозиция целей и задач горного предприятия как средство совершенствования организационной структуры его подразделений // Наука и бизнес: пути развития. 2020. №7. С. 18–21.

3. Федоров А. В. Методология организации опережающего развития угледобывающего производственного объединения: Дис. ... докт. техн. наук. Спец.: 05.02.22. Федоров А. В. Екатеринбург, 2020. 303 с.

4. Байкин В. С. Развитие мониторинга системы эксплуатации горнотранспортного оборудования // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. Спецвыпуск №64. С. 107–115.

5. Сухарьков И. Н. Формирование конкурентоспособного технического сервиса обеспечения работоспособности горнотранспортного оборудования: дис. ... канд. техн. наук. Москва. 2018. 139 с.

6. Заяц А. И. Беклемешев В. А., Байкин В. С. [и др.] Развитие системы мониторинга условий и режимов эксплуатации, технологии и организации ремонтного обслуживания экскаваторов на разрезе «Черногорский» // Горный информационный аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. Спецвыпуск №39. С. 201–208.

7. Скрипка Л. Е., Комаровская Ю. Ю. Современный взгляд на понятия мониторинг и информация // Национальные концепции качества: интеграция образования, наука и бизнеса. Сборник материалов VIII Международная научно-практическая конференция под редакцией Горбашко Е. А. 2017. С. 156–159.

8. Довженок А. С., Алексеенко В. Б., Хажиев В. А. [и др.] Результаты мониторинга организации процесса эксплуатации карьерных автосамосвалов на разрезе «Черногорский» // Науки и бизнес: пути развития. 2020. №7. С. 21–24.

9. Великосельский А. В. Методологические основы процессно-проектного управления развитием угольной компании в условиях возрастания неопределенности рыночной среды: Дис. ... докт. экон. наук. Спец.: 08.00.05. Великосельский А. В. Москва, 2022. 339 с.

10. Побегайло П. А., Гадолина И. В., Крицкий Д. Ю. О современном состоянии износа элементов карьерных экскаваторов // Сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В. Р. Кубачека». 2019. С. 345.

11. Герике Б. Л., Богомолов И. Д., Дрыгин С. Ю. Анализ технического состояния экскаваторного парка угольных разрезов Кузбасса // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. №6–1 (43). С. 46–49.

12. Данилов П. А. Снижение технических затрат при производстве запасных частей для подъемно-транспортных машин: дис... канд. техн. наук: 05.02.08. Данилов П. А. Москва, 2009. 163 с.

13. Lee S. G., Ma Y.-S., Thimm G. L., Verstraeten J. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul // *Computer in industry* 59. 2008. P. 296–303.

14. Коркина Т. А. Управление инвестициями в человеческий капитал угледобывающих предприятий: дис. ... докт. экон. наук: 08.00.05. Коркина Т. А. Челябинск, 2010. 364 с.

15. Экономика России, цифры и факты. Часть 5. угольная промышленность [Электронный ресурс] // *Utmagazine*. 2015. Режим доступа: <http://utmagazine.ru/post/10449/ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-5-ugolnaya-promyshlennost>. [05.06.2022].

© 2024 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:

Андреева Людмила Ивановна, гл. науч. сотр., доктор техн. наук, Челябинский филиал Института горного дела Уро РАН, (г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, оф.718), [tehnorem74@list.ru](mailto:tehnorem74@list.ru)

Заявленный вклад авторов:

Андреева Людмила Ивановна – постановка исследовательской задачи; обзор соответствующей литературы; формирование структуры основных задач; аналитические расчеты; формулировка заключения.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

## Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2024-2-59-64

### Lyudmila I. Andreeva

Chelyabinsk branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Chelyabinsk, st. Entuziastov, 30, office 718

\*E-mail: [tehnorem74@list.ru](mailto:tehnorem74@list.ru)

## MONITORING OF THE TECHNICAL CONDITION OF MINING MACHINES AS A METHOD OF DETERMINING THE ECONOMIC FEASIBILITY OF ITS OPERATION



### Article info

Received:

21 January 2024

Accepted for publication:

30 April 2024

Accepted:

15 May 2024

Published:

06 June 2024

**Keywords:** technical condition monitoring, economic feasibility, mining enterprise, operation, defects, planning.

### Abstract.

The main disadvantages of the existing system of technical maintenance and repair of mining equipment at the mining enterprise (GDP) are considered, the main of which is an increase in labor and material costs as a result of untimely preventive and restoration work, as well as the discrepancy between their volume and content to the actual technical condition of mining equipment.

The experience of some mining enterprises, where a program for monitoring the technical condition of mining equipment is already being implemented, is considered. The main advantages and results obtained from the development of a monitoring system for mining and transport equipment (GTO), which allow to obtain a certain effect from its use, are analyzed. The results of the survey of a large group of excavators are presented, which made it possible to group the machines into several groups: satisfactory condition, unsatisfactory, good and unacceptable. The processes of reducing the technical resource of mining equipment during its operation have been studied, based on this, economically feasible service lives of parts and assemblies of rope excavators and wheel loaders have been established. The main defects and irregularities that can cause the mining machine to stop due to the failure of any system, ag-regatta or node are indicated. Recommendations are given on the organization of a department at the GDP, or a group that has assumed the function of planning, accounting and reporting on the results of the monitoring of mining equipment.

#### REFERENCES

1. Andreeva L.I. Methodology for the formation of technical service of mining and transport equipment at a coal mining enterprise: dis. doc. tech. Sci. L.I. Andreeva. Ekaterinburg, 2004. 297 p.
2. Alekseenko V.B., Kornilkov S.V., Khazhiev V.A. [et al.] Decomposition of the goals and objectives of a mining enterprise as a means of improving the organizational structure of its subdivisions. *Science and business: ways of development*. 2020;7:18–21.
3. Fedorov A.V. Methodology of the organization of the operational development of the coal mining production association: Dis. ... doct. Technical sciences. Spec.: 05.02.22. Fedorov A.V. Yekaterinburg, 2020. 303 p.
4. Baykin V.S. Development of monitoring of the mining equipment operation system. *Mining information analytical bulletin (scientific and technical journal)*. 2018; 64:107–115.
5. Sukharkov I.N. Formation of a competitive technical service to ensure the operability of mining and transport equipment: dis. ... candidate of Technical Sciences. Moscow, 2018. 139 p.
6. Zayats A.I. Beklemeshev V.A., Baykin V.S. [et al.] Development of a system for monitoring conditions and operating conditions, technology and organization of repair maintenance of excavators at the Chernogorsky section. *Mining Information Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017; 39:201–208.
7. Skripka L.E., Komarovskaya Yu.Yu. Modern view on the concepts of monitoring and information. *National concepts of quality: integration of education, science and business. Collection of materials of the VIII International Scientific and Practical Conference edited by E.A. Gorbashko*. 2017. Pp. 156–159.
8. Dovzhenok A.S., Alekseenko V.B., Khazhiev V.A. [et al.] The results of monitoring the organization of the operation of quarry landfills in the Chernogorsky section. *Science and business: ways of development*. 2020; 7:21–24.
9. Velikoselsky A.V. Methodological foundations of process and project management of the development of a coal company in the conditions of increasing uncertainty of the market environment: Dis. ... doct. Economics. sciences. Special: 08.00.05. Veliko-selsky A.V. Moscow, 2022. 339 p.
10. Pobegailo P.A., Gadolina I.V., Kritsky D.Yu. On the current state of wear of elements of quarry excavators. Proceedings of the XVIII International scientific and technical conference "Readings in memory of V.R. Kubachek". 2019. P. 345.
11. Gerike B.L., Bogomolov I.D., Drygin S.Yu. Analysis of the technical condition of the excavator park of the Kuzbassa coal mines. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2014; 6–1(43):46–49.
12. Danilov P.A. Reduction of technical costs in the production of spare parts for lifting and transport vehicles: dis... candidate of technical sciences: 02/05/08. Danilov P.A. Moscow, 2009. 163 p.
13. Lee S.G., Ma Y.-S., Thimm G.L., Verstraeten J. Product lifecycle management in aviation maintenance, repair and overhaul. *Computer in industry*. 2008; 59:296–303.
14. Korkina T.A. Investment management in-commercial capital of coal mining enterprises: dis. ... doct. Economics: 08.00.05. Korkina T.A. Chelyabinsk, 2010. 364 p.
15. The Russian economy, figures and facts. Part 5. Coal industry [Electronic resource] // Utmagazine. – 2015/ - Access mode: <http://utmagazine.ru/post/10449/ekonomika-rossii-cifry-i-fakty-chast-5-ugolnaya-promyshlennost>. – [05.06.2022].

© 2024 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 authors:

**Andreeva Lyudmila Ivanovna**, chief researcher, Dr. Sc. in Engineering. Chelyabinsk branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (Chelyabinsk, st. Entuziastov, 30, office 718), [tehnorem74@list.ru](mailto:tehnorem74@list.ru)

Contribution of the authors:

Andreeva L.I. – formulation of the research task; review of relevant literature; formation of the structure of the main tasks; analytical calculations; formulation of the conclusion.

All authors have read and approved the final manuscript.