

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

Л. И. Андреева, Ю. Ю. Ушаков

Research of operational reliability of quarry dump trucks

L. I. Andreeva, Yu. Yu. Ushakov

Authors consider main indicators of reliability and longevity of quarry motor transport - the average mean time between failures and the average resource of dump trucks assemblies. The main part of failures of career motor transport classifies as sudden, caused, mostly, by the influence of the conditions and operating modes. Authors found out that the most unreliable parts of dump trucks BelAZ-75131, in terms of reliability, are motors. Studies have shown that a significant portion of the average recovery time accounts for waiting time of repair, caused by, mainly, the influence of organizational factors.

Operating experience of quarry dump trucks on mining enterprises showed that the mean time between failures of domestic cars is much lower than foreign analogues, which operate under similar conditions.

On an example of the Tugnuisky mine (OJSC «SUEK») for the rapid assessment of the state of machines authors designed a visualized card of accounting technical condition of units and aggregates dump trucks, allowing site managers to set priorities in setting machines for repair and beforehand start material and financial preparation for its conducting. One can find a developed form of accounting results of the work of maintenance personnel, allowing the district mechanic to track the results of the repair teams in online mode.

The study determined that insufficient revolving fund provision of units and assemblies of machines leads to quite low levels of operational reliability of domestic trucks. This increases downtime of dump trucks in repair, waiting time of repair and, consequently, entails economic losses for the mining company.

On example of Komatsu HD-1200 authors calculated the direct and indirect losses from the dump downtime on one of the mining enterprises in the North-West region of Russia. The article contains reference conditions of their exploitation for determining the target operational reliability of quarry dump trucks.

Keywords: durability; resource; operating time; failure; malfunction; technical condition; maintenance and repair; reference-operating conditions.

Рассмотрены основные показатели безотказности и долговечности карьерного автотранспорта: средняя наработка на отказ и средний ресурс узлов автосамосвалов. Основная часть отказов карьерного автотранспорта относится к категории внезапных, обусловленных в основном влиянием условий и режимов эксплуатации. Установлено, что наиболее ненадежными агрегатами автосамосвалов БелАЗ-75131, с точки зрения безотказности, являются двигатели. Исследования показали, что значительная часть среднего времени восстановления приходится на время ожидания ремонта, обусловленного в основном влиянием организационных факторов. Опыт эксплуатации карьерных автосамосвалов на горнодобывающих предприятиях показал, что наработка на отказ отечественных машин значительно ниже зарубежных аналогов, которые эксплуатируются в аналогичных условиях. На примере разреза Тугнуиский (ОАО «СУЭК») для оперативной оценки состояния машин разработана визуализированная карта учета технического состояния узлов и агрегатов автосамосвалов, позволяющая руководителям участка устанавливать приоритеты при постановке машин на ремонт и заблаговременно начинать материальную и финансовую подготовку к его проведению. Также разработана форма учета результатов работы ремонтного персонала, позволяющая участковому механику в оперативном режиме отслеживать результаты работы ремонтных бригад. Установлено, что недостаточно высокая обеспеченность оборотным фондом узлов и агрегатов машин обуславливает достаточно низкие показатели эксплуатационной надежности отечественных автосамосвалов. Это увеличивает простои автосамосвалов в ремонте, его ожидания и, соответственно, влечет экономические потери для горнодобывающего предприятия. На примере Komatsu HD-1200 произведен расчет прямых и косвенных потерь от простоев автосамосвалов на одном из горнодобывающих предприятий Северо-Западного региона России. Для определения целевых показателей эксплуатационной надежности карьерных автосамосвалов приведены эталонные условия их эксплуатации.

Ключевые слова: долговечность; ресурс; наработка; отказ; неисправность; техническое состояние; техническое обслуживание и ремонт; эталонные условия эксплуатации.

Увеличение интенсивности эксплуатации автосамосвалов при неизменной технологии и организации технического обслуживания и ремонта сопровождается, как правило, краткосрочным ростом производительности, но с истечением времени этот рост замедляется, что обусловлено несвоевременной постановкой машин на техническое обслуживание и ремонт. Существенное повышение интенсивности эксплуатации при одновременном обеспечении приемлемых затрат на поддержание машин в работоспособном состоянии возможно за счет повышения надежности карьерного автотранспорта.

Установлено, что основными причинами, снижающими надежность карьерного автотранспорта, являются: качество дорожного покрытия; знакопеременные нагрузки, действующие в рабочих циклах при погрузке и транспортировании горной массы; остаточные напряжения как следствие сварочных работ; применение посадок с натягом и т. д.

Следует отметить, что надежность карьерного автотранспорта характеризуется, в первую очередь, его безотказностью и долговечностью

[1]. Свойство безотказности отражается несколькими показателями, основным из которых является средняя наработка на отказ.

Наработка на отказ отечественных машин значительно ниже зарубежных аналогов. Так, для автосамосвалов БелАЗ-7555 этот показатель составляет примерно 1200 км и для БелАЗ-75570 – 2600 км. Тогда как для импортных автосамосвалов, работающих в аналогичных условиях, этот же показатель составляет 4600 км для Komatsu HD-1200 и 9100 км для Terex TR 100.

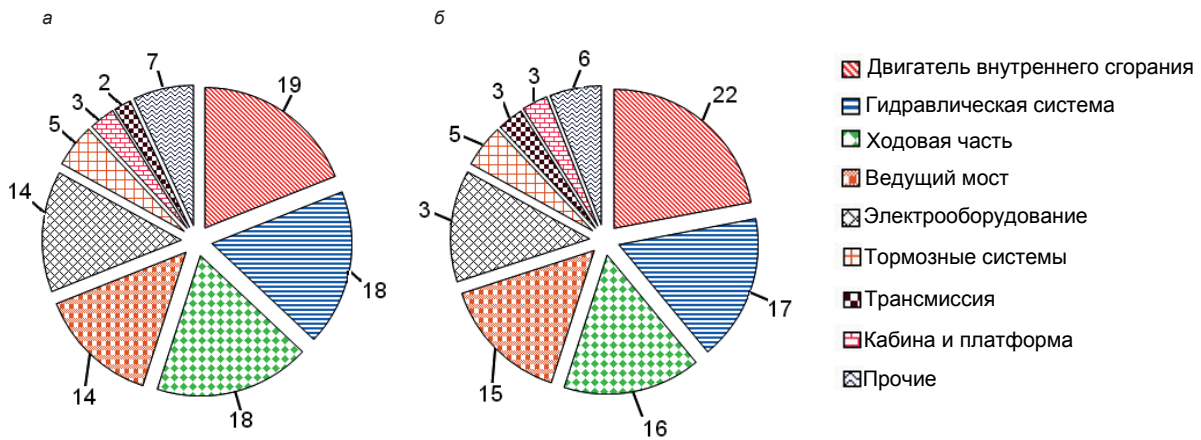
Основная часть отказов карьерного автотранспорта относится к категории внезапных, обусловленных в основном влиянием условий эксплуатации. Для автосамосвалов БелАЗ-7555 внезапные отказы проявляются главным образом при пробеге до 20 тыс. км. В интервале пробега 20–80 тыс. км проявляются отказы с признаками естественного износа. Причем основная часть отказов проявляется при пробеге до 60 тыс. км. Средняя наработка до первого капитального ремонта двигателей ЯМЗ-845 находится в пределах 38–42 тыс. км. Несколько ниже этот показатель для гидромеханической передачи – 39,6 тыс. км, подвески – 24,1 тыс. км, редуктора колесной передачи – 23,3 тыс. км.

С точки зрения безотказности, наиболее ненадежными агрегатами автосамосвалов БелАЗ-75131 являются двигатели (рис., табл. 1).

На двигатели, как показали исследования, приходится 18–20 % отказов, в том числе на систему охлаждения – 11 %, на газораспределительный механизм – 32 %, на систему смазки – 5 %, шатунно-кривошипный механизм – 16 %, на систему питания – 30 %, на стартер и генератор – 7 %. Наибольшая доля отказов проявляется в интервале наработки 15–25 тыс. км. Характерными из них являются прогорание или прорыв прокладок головок блока, выпадение или коробление седел клапанов, износ сальникового уплотнения вала водяного насоса, обрыв или прогорание поршней и др. В целом по узлам и системам двигателей преобладают внезапные отказы, составляющие 60 % от общих.

На долю гидравлической системы приходится 18 % отказов, в том числе неисправности с признаками естественного износа не превышают 45 %. Низкий уровень надежности узлов подвески, ходовой части и электрооборудования: ходовая часть – 18 % отказов, ведущий мост – 14 % и электрооборудование – 14 %.

Вместе с тем при эксплуатации карьерного автотранспорта имеют место многочисленные случаи повреждений и разрушений деталей, узлов, элементов конструкций, что резко снижает надежность машин. Это подтверждается результатами исследований показателей эксплуатации парка автосамосвалов на различных горных предприятиях, в частности на открытых горных работах в условиях Севера и Сибири. При этом особый интерес вызывают прочность и надежность несущих рам. Это обусловлено тем, что при сравнительно низких значениях параметра потока отказов повреждения и разрушения рам приводят к значительным потерям ресурсов. Так, например, в условиях предприятия «Якутуголь» отказы металлоконструкций автосамосвалов приводят к потерям около



Распределение отказов – а и времени простоя в ремонте – б автосамосвалов БелАЗ-75131, % / Figure 1. The distribution of failures (a) and downtime in repairing (b) of dump trucks BelAZ-75131.

Таблица 1. Перечень основных неисправностей ДВС.

Неисправность	Количество неисправных ДВС, ед.	Средний пробег, тыс. км
Проворот вкладышей коленчатого вала	23	17,0
Выброс воды	3	21,7
Перегрев	2	23,1
Излом коленчатого вала	4	2,0
Износ поршневой группы	5	28,8

7 % фонда рабочего времени. В то же время установлено, что тяжесть последствий отказов металлоконструкций (материальные и финансовые затраты) достигает 80 % общих затрат на текущие ремонты [2].

Характерно, что для отечественных автосамосвалов имеет место достаточно длительный период «приработки» (пробег до 40 тыс. км), что свидетельствует о недостатках в организации их сборки и наладки.

Показатели среднего ресурса (в тыс. км) некоторых наиболее слабых узлов автосамосвала БелАЗ-7555 следующие:

- шкворни – 30–50;
- рычаги задней подвески – 26–65;
- 3-я поперечина рамы – 25–52;
- рулевые тяги – 30–43;
- редуктор мотор-колеса – 35–61;
- тяговый электродвигатель – 34–47.

В целом, отечественные автосамосвалы по основным показателям безотказности и долговечности уступают автомобилям зарубежного производства различных марок в 1,3–2,2 раза.

Для надежного достижения высоких показателей производительности автосамосвалов необходимо в постоянном режиме отслеживать техническое состояние эксплуатируемого автотранспорта и поддерживать его на нормальном уровне. С этой целью на предприятиях (ОАО «Разрез Тугнуйский», АО «Ковдорский ГОК») осваивается учет технического состояния основных узлов и агрегатов автосамосвалов: двигателей внутреннего сгорания, редукторов мотор-колеса, колес, генераторов тяговых и т. д. Данный вид учета ведется механиками на линии, которые в

течение смены оценивают техническое состояние каждого автосамосвала, а по ее окончании заполняют форму учета, представленную в табл. 2.

Увеличение производства запасных частей и повышение качества сборки автосамосвалов позволит существенно уменьшить простои и увеличить их производительность. Доведение показателей надежности до уровня импортных автосамосвалов позволит сократить потребность в автомобилях на 20–40 % и значительно снизить потребность в импорте машин.

Результаты оценки состояния узлов и агрегатов автосамосвалов отражаются следующим образом: состояние нормальное – узлу или агрегату присваивается зеленый цвет; предаварийное состояние (прогнозируемый отказ в течение 3–7 дней) – желтый; аварийное (прогнозируемый отказ в течение 1–3 дней) – красный; критическое состояние (запрет на эксплуатацию) – черный. Ведение визуализированного учета позволяет руководству участка определять приоритеты при постановке автосамосвалов на ремонт, заблаговременно начинать подготовку к его проведению [3].

Одним из основных факторов обеспечения нормального технического состояния карьерного автотранспорта является качество их технического обслуживания и ремонта. Для оценки результатов работы ремонтного участка на предприятиях разработана и применяется форма, позволяющая механику вести учет результатов работы ремонтного персонала (табл. 3).

Показателем ремонтпригодности, как известно, является среднее время восстановления. Ремонтпригодность отражает приспособленность автомобилей к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния путем технического обслуживания и ремонта, а также характеризует организационно-технический уровень условий выполнения ремонтных работ на данном предприятии.

Исследованиями установлено, что значительная часть среднего времени восстановления приходится на время ожидания ремонта. Кроме того, время выполнения ремонтных работ зависит от уровня их организации и механизации. Следовательно, судить о приспособленности автосамосвалов к ремонту по среднему времени восстановления нельзя, так как этот показатель прежде всего характеризует организационно-технический уровень системы технического обслуживания и ремонта.

Коэффициент технического использования карьерного автотранспорта составляет 0,65–0,70 для автосамосвалов БелАЗ-7555; 0,4–0,6

Таблица 2. Пример формы учета технического состояния узлов и агрегатов автосамосвала БелАЗ-75306.

Агрегат	Дата	1		2		3		...		31		Состояние
		Смена	I	II	I	II	I	II	I	II		
Двигатель внутреннего сгорания		Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Нормальное
Редуктор мотор-колеса	левого	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Нормальное (запрет на эксплуатацию)
	правого	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	
Подвески	задняя	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Нормальное (запрет на эксплуатацию)
	передняя	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	
Колеса		Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Нормальное (запрет на эксплуатацию)
Рама		Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	
Кузов		Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	Green	

Таблица 3. Пример визуализации учета результатов работы ремонтного персонала.

Пример визуализации учета результатов работы ремонтного персонала, Ф.И.О. механика	Октябрь, 2013 г.	
	21	22
	Понедельник	Вторник
	<i>2-я смена</i>	<i>2-я смена</i>
К. В. В.	a/c № 210. Сварка рамы под моторный отсек	a/c № 201. Замена вентилятора обдува ДВС, слив тосола, снятие патрубков 75 и 90 мм
	a/c № 213. ТО по регламенту	a/c № 216. Сварка проушины задней правой подвески, кронштейна задней реактивной тяги, установка колес
	a/c № 217. Замена задних левых колес	a/c № 218. Прокатка подвески, установка передней реактивной тяги, ремонт электрооборудования
	a/c № 218. Демонтаж гидробака, реактивной тяги	a/c № 221. Ремонт фланца ДК и изолятора
	a/c № 223. Ремонт фланца тягового генератора, промывка ступицы РМК	a/c № 123. Сварка рамы справа
	a/c № 126. Продорожка якоря ДК	a/c № 125. Установка ЗП колеса
	a/c № 134. Сварка передней части рамы	a/c № 126. Установка ЗП РМК и колеса

Примечание. Зеленый цвет – задание выполнено; красный – не выполнено.

для БелАЗ-75570 и 0,7–0,8 для импортных автосамосвалов – Komatsu HD-1200 и Terex TR 100. Более низкие показатели отечественных автосамосвалов вызваны низким качеством запасных частей, непригодностью ремонтной базы. Более высокие показатели использования у автомобилей импортного производства обусловлены наличием гарантии и участием в эксплуатации представителей фирм-изготовителей [4]. Следовательно, коэффициент технического использования, так же, как и среднее время восстановления, в большей мере характеризует организацию производственной и технической эксплуатации машин.

Достаточно низкие показатели надежности отечественных автосамосвалов усугубляются слабой обеспеченностью оборотным фондом узлов и агрегатов. Это еще более увеличивает простои автосамосвалов в ремонте, его ожидании и, соответственно, влечет экономические потери для горнодобывающего предприятия [5]. На примере Komatsu HD-1200 произведен расчет потерь от простоев автосамосвалов на одном из горнодобывающих предприятий Северо-Западного региона России.

1. Расчет прямых потерь от простоя карьерного автотранспорта, тыс. руб.:

$$П_{\text{прямые}} = ((C_{\text{тр}} \cdot \Pi_a \cdot D_{\text{пост}}) / \text{КФВ}_{\text{мес}}) \cdot T_{\text{прост}}^{\text{ч}}$$

где $C_{\text{тр}}$ – себестоимость транспортирования, руб./т × км; Π_a – средне-месячная производительность автосамосвала, тыс. т × км; $D_{\text{пост}}$ – доля условно-постоянных затрат, %; $\text{КФВ}_{\text{мес}}$ – количество часов в месяц, ч/мес; $T_{\text{прост}}^{\text{ч}}$ – продолжительность простоя, мото-ч.

Пример расчета прямых потерь на 1 моточас простоя автосамосвала:

$$П_{\text{прямые}} = (7,63 \text{ руб.}/(\text{т} \times \text{км}) \times 165,6 \text{ тыс. т} \times \text{км} \times 23,5 \%) / 724 \text{ ч/мес} = 0,41 \text{ тыс. руб.}/\text{ч}^1.$$

2. Расчет косвенных потерь от простоя, тыс. руб.:

$$П_{\text{косв}} = \Pi_{\text{мет}} \cdot M_{\text{мет}}$$

где $\Pi_{\text{мет}}$ – стоимость 1 г металла внутренняя, тыс. руб./г; $M_{\text{мет}}$ – недополученная масса металла по причине простоя автосамосвала, рассчитывается по формуле, г:

$$M_{\text{мет}} = M_{\text{руд}} \cdot K_{\text{мет}}$$

где $K_{\text{мет}}$ – содержание металла в 1 т руды, г/т; $M_{\text{руд}}$ – недополученная масса руды, рассчитывается по формуле, т:

$$M_{\text{руд}} = Q_{\text{руд}} \cdot P,$$

где P – объемный вес руды, т/м³; $Q_{\text{руд}}$ – недополученный объем руды, рассчитывается по формуле, м³:

$$Q_{\text{руд}} = Q_{\text{вск}} / K_{\text{вск}},$$

где $K_{\text{вск}}$ – коэффициент вскрыши; $Q_{\text{вск}}$ – недополученный объем вскрыши, рассчитывается по формуле, м³:

$$Q_{\text{вск}} = \Pi_a^{\text{ч}} \cdot T_{\text{прост}}^{\text{ч}},$$

где $\Pi_a^{\text{ч}}$ – средний объем горной массы, перевозимой автосамосвалом за 1 моточас, рассчитывается по формуле, тыс. м³/ч:

$$\Pi_a^{\text{ч}} = \left((\Pi_a / \text{КФВ}_{\text{мес}}) / L_{\text{тр}} \right) / P,$$

где $L_{\text{тр}}$ – среднее расстояние транспортирования, км.

Пример расчета косвенных потерь на 1 моточас простоя автосамосвала:

$$1. \Pi_a^{\text{ч}} = ((165,6 \text{ тыс. т} \times \text{км} / 724 \text{ ч}) / 1,5 \text{ км}) / 2,16 \text{ т/м}^3 = 0,07 \text{ тыс. м}^3/\text{ч};$$

$$2. Q_{\text{вск}} = 0,07 \text{ тыс. м}^3/\text{ч} \times 1 \text{ ч} = 0,07 \text{ тыс. м}^3;$$

$$3. Q_{\text{руд}} = 0,07 \text{ тыс. м}^3 / 1,75 = 0,04 \text{ тыс. м}^3;$$

$$4. M_{\text{руд}} = 0,04 \text{ тыс. м}^3 \times 2,16 \text{ т/м}^3 = 0,087 \text{ тыс. т};$$

$$5. M_{\text{мет}} = 0,087 \text{ тыс. т} \times 1,3 \text{ г/т} = 113 \text{ г};$$

$$6. П_{\text{косв}} = 0,25 \text{ тыс. руб.}/\text{г} \times 113 \text{ г} = 28,25 \text{ тыс. руб.}$$

Основные показатели надежности автосамосвалов должны соответствовать требованиям ГОСТ 30537–97 (табл. 4) [6].

Приведенные показатели установлены для условий эксплуатации, которые можно назвать эталонными. Эталонные условия эксплуатации имеют следующие показатели [6]:

- природно-климатический район – умеренно-холодный;
- количество эксплуатируемых автосамосвалов на предприятии – 26–50 ед.;
- средний пробег одного самосвала с начала эксплуатации ≤ 50 000 км;
- вместимость ковша экскаватора должна соответствовать грузоподъемности автосамосвала;
- коэффициент крепости горной породы по шкале М. М. Протодяконова – 10–15 ед.;
- доля участка трассы с уклоном > 5 % составляет 0,51–0,60 расстояния транспортирования;
- тип дорожного покрытия – переходное.

Таким образом, при эксплуатации карьерного автотранспорта существенное влияние на ресурс деталей и узлов машины оказывают значительные нагрузки при погрузке-выгрузке горной массы, а также движение по сложным участкам технологических дорог. Это приводит к накоплению скрытых дефектов, отказам узлов и агрегатов машин, снижению эксплуатационных показателей автосамосвалов. Основная доля

¹ Данные предоставлены горнотранспортным отделом предприятия.

Таблица 4. Показатели надежности автосамосвалов.

Грузоподъемность автосамосвала, кг	90 %-ный ресурс, км	Средняя наработка на отказ, км, не менее
От 20 000 до 36 000	400 000	4000
От 40 000 до 65 000	400 000	4000
От 80 000 до 140 000	500 000	5000
От 170 000 и более	550 000	5000

отказов приходится на двигатели (до 20 %), гидравлическую систему (до 18 %), ходовую часть (18 %), электрооборудование (14 %), что приводит к значительным финансовым потерям, например, для автосамосвалов Komatsu HD-1200 на 1 моточас простоя приходится 380–400 руб. на единицу техники. Своевременная и качественная диагностика машин при выполнении операций технического обслуживания, подбор рациональных ремонтных воздействий позволяют предупредить развитие дефектов и повысить надежность автосамосвалов при эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев М. В., Смирнов В. П., Кулешов А. А. Эксплуатация карьерного автотранспорта. М.: Недра, 1979. 280 с.
2. Кох П. И. Климат и надежность машин. М.: Машиностроение, 1981. 175 с.
3. Рыбинский А. Б., Горохов А. В., Довженок А. С. и др. Об организации системы визуализированного учета результатов работы горнотранспортного участка ОАО «Разрез Тугнуйский» // Уголь. 2013. № 12. С. 77–81.
4. Part-through crack fatigue life prediction / Ed. J. B. Chang. ASTM STP 687. Philadelphia: ASTM, 1979. 224 p.

Людмила Ивановна Андреева,

tehnorem74@list.ru

Челябинский филиал Института горного дела УрО РАН
Челябинск, ул. Энтузиастов, 30

Юрий Юрьевич Ушаков,

yurii-ushakov@mail.ru

Южно-Уральский государственный университет
Россия, Челябинск, пр-т Ленина, 76

5. Андреева Л. И., Мартынов В. Ю., Ушаков Ю. Ю. К вопросу о повышении эффективности ремонтной службы горнодобывающего предприятия // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сб. трудов XIV междунар. науч.-техн. конф. «Чтения памяти В. Р. Кубачека». Екатеринбург: УГГУ, 2016. С. 427–434.
6. Мариев П. Л., Кулешов А. А., Егоров А. Н., Зырянов И. В. Карьерный автотранспорт: состояние и перспективы. СПб.: Наука, 2004. 429 с.

REFERENCES

1. Vasil'ev M. V., Smirnov V. P., Kuleshov A. A. 1979, *Ekspluatatsiya kar'ernogo avtotransporta* [Exploitation of quarry vehicles], Moscow, 280 p.
2. Kokh P. I. 1981, *Klimat i nadezhnost' mashin* [Climate and reliability of the machines], Moscow, 175 p.
3. Rybinskiy A. B., Gorokhov A. V., Dovzhenok A. S., Zakharov S. I., Ushakov Yu. Yu. 2013, *Ob organizatsii sistemy vizualizirovannogo ucheta rezul'tatov raboty gornotransportnogo uchastka* ОАО «Разрез Тугнуйский» [On the organization of visualized accounting system for the results of the mining and transport section in JSC "Tugnuisky mine"], *Ugol'* [Coal], no. 12, pp. 77–81.
4. Ed. J. B. Chang, 1979, Part-through crack fatigue life prediction. ASTM STP no. 687.
5. Andreeva L. I., Martynov V. Yu., Ushakov Yu. Yu. 2016, *K voprosu o povyshenii effektivnosti remontnoy sluzhby gornodobyvayushchego predpriyatiya* [On the issue of improving the effectiveness of the repair service of the mining enterprise]. *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov XIV mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Chteniya pamyati V. R. Kubacheka»* [Technological equipment for mining and oil and gas industry: Collection of works of XIV International scientific and engineering Conference "Readings in memory of V. R. Kubachek"], Ekaterinburg, pp. 427–434.
6. Mariev P. L., Kuleshov A. A., Egorov A. N., Zyryanov I. V. 2004, *Kar'ernyy avtotransport: sostoyanie i perspektivy* [Quarry vehicles: condition and prospects], St. Petersburg, 429 p.

Ljudmila Ivanovna Andreeva,

tehnorem74@list.ru

Institute of Mining of the Ural Branch of Russian Academy of Sciences
Chelyabinsk, Russia

Yuriy Yur'evich Ushakov,

yurii-ushakov@mail.ru

South Ural State University (National Research University)
Chelyabinsk, Russia