

Научная статья

УДК 622.002

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-26-32

Андреева Людмила Ивановна¹, Абрамов Сергей Васильевич²¹ Институт горного дела Уро РАН, Челябинский филиал² Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства

*E-mail: tehnoem74@list.ru

ПОЛИМЕРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК АЛЬТЕРНАТИВА ЦВЕТНЫМ МЕТАЛЛАМ И СПЛАВАМ ПРИ РЕМОНТЕ ГОРНОЙ ТЕХНИКИ**Информация о статье**

Поступила:

15 сентября 2022 г.

Одобрена после
рецензирования:

01 октября 2022 г.

Принята к печати:

14 октября 2022 г.

Ключевые слова:

полимерные материалы, полиамидные смолы, антифрикционные свойства, порошковые композиции, вкладыши седлового подшипника.

Аннотация.

Представлены обобщенные данные о свойствах полимерных материалов, используемых для повышения ресурса и продления срока службы деталей узлов горных машин. Показано, что применение фторопластов в узлах горных машин, подверженных высокому абразивному износу, обеспечивает более высокие антифрикционные свойства, чем полиамиды, и дает возможность продлить срок эксплуатации узла с обязательными профилактическими процедурами. Это позволяет повысить эффективность эксплуатации экскаватора, снизить простои и высвободить ремонтный персонал для выполнения других задач по техническому обслуживанию машины. Научные исследования позволили разработать новую конструкцию вкладышей седловых подшипников экскаватора ЭКГ-8И. Испытания показали высокую ремонтпригодность вкладыша и возможность его замены без трудоемких монтажных работ, а также экономию цветных материалов и сплавов. Выявлено, что ресурс деталей повысился в 2,5...4 раза, и в 2 раза сократились затраты времени и труда на ремонтное обслуживание техники. Также проведены научные исследования по разработке конструкции и технологии изготовления втулок ходовых колес и роликовых кругов экскаваторов циклического действия. Эксперименты по установке вкладышей седловых подшипников и полиамидных втулок проведены в Казахстане, в Красноярском крае, в Узбекистане и на горнодобывающих предприятиях Челябинской области.

Для цитирования: Андреева Л.И., Абрамов С.В. Полимерные материалы как альтернатива цветным металлам и сплавам при ремонте горной техники // Горное оборудование и электромеханика. 2022. № 6 (164). С. 26-32. DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-26-32

Развитие мировой и отечественной химической промышленности привело к появлению огромного количества полимерных материалов с самыми разнообразными свойствами. Разнообразие этих свойств, высокая технологичность переработки пластмасс и других полимерных материалов, сравнительно низкая стоимость обусловили их широкое применение практически во всех отраслях народного хозяйства.

Полимерные материалы в таких отраслях, как машиностроение, производство бытовых приборов и оборудования, электро- и радиопромышленность, успешно вытесняют металлы и используются для изготовления антифрикционных, фрикционных, электроизоляционных деталей, деталей конструк-

ционного назначения и различных видов уплотнений.

Все шире применяются полимерные материалы и для ремонта горного оборудования.

Механическое и электрическое оборудование карьерных механических лопат работает в тяжелых условиях (нестабильность горнотехнических условий, знакопеременные и ударные нагрузки, наличие вибраций, повышенная влажность и запыленность воздуха, резкие колебания температуры, солнечная радиация и т.д.), что представляет жесткие требования как к конструкции экскаваторов, так и к их эксплуатации. Надежность и технологичность экскаваторов, их деталей и сборочных единиц формируется в процессе проектирования и производства, в процессе эксплуатации проводятся в основном

мероприятия по поддержанию достигнутого при проектировании и производстве уровня надежности и технологичности. Однако путем анализа работы экскаваторов при их эксплуатации, выявления систематически возникающих отказов, разработки и выполнения ряда мероприятий по устранению тех или иных недостатков в конструкции, допущенных в процессе проектирования, надежность и технологичность может не только поддерживаться на должном уровне, но и превзойти уровень, предусмотренный при проектировании горной машины [1,2,3].

Чаще всего полимерные материалы используются для замены цветных металлов в конструкции основных узлов трения экскаваторов. Термопластичные материалы используются в больших объемах, чем реактопласты, так как более технологичны для условий ремонтных предприятий. Они могут перерабатываться на литьевых машинах, экструдерах, термопластавтоматах, центробежным литьем и горячим формованием. Наиболее эффективно применение при ремонте экскаваторов полиамидных смол и фторопластов [4,5,6].

Из полиамидных смол изготавливаются конструкционные, антифрикционные, электроизоляционные детали (шестерни, втулки, направляющие ролики, шкивы, краники, вкладыши подшипников и т.д.), также смолы можно использовать как антифрикционные покрытия.

С введением наполнителей, улучшающих и без того хорошие антифрикционные свойства и износостойкость (дисульфид молибдена, графит и т.д.), не только можно с успехом использовать полиамидные смолы взамен цветных металлов в узлах трения, но и часто исключать смазку пар трения, что снижает трудоемкость техобслуживания, позволяет улучшить условия труда обслуживающего персонала и повысить производительность машин. Полиамидные смолы (в виде порошков) могут использоваться для нанесения тонкослойных покрытий (антифрикционных и износостойких, антикоррозионных при работе деталей в агрессивных средах).

Перспективно применение в некоторых узлах горного оборудования фторопластов (металлофторопластов), которые обладают более высокими антифрикционными свойствами и теплостойкостью, чем полиамиды, но имеют более низкую твердость, худшие показатели механической прочности.

Из фторопластов методом прессования с последующей механической обработкой и экструзией можно изготавливать такие антифрикционные детали, как уплотнения, трубки, манжеты, подшипники, работающие без смазки, и т.д. Для увеличения несущей способности фторопласта

его наносят тонким слоем на металлическую ленту, сетку, пористый материал и используют для изготовления подшипников скольжения. Металлофторопластовые подшипники скольжения в некоторых узлах позволяют исключить смазку во время эксплуатации [7,8].

Физико-механические свойства полиамида-6 и фторопласта-4 приведены в табл. 1.

Полиамидные смолы АК-85/15, АК-7, П-68 имеют несколько более высокие (до 20%) прочностные показатели, чем полиамид-6. Все перечисленные марки полиамидных смол имеют износостойкость в 2-2,5 раза выше, чем бронза и латунь.

Металлофторопластовые подшипники, изготовленные из ленты (рабочий слой состоит из 75% фторопласта и 25% дисульфида молибдена) выдерживают значительно большие удельные нагрузки, чем подшипники, изготовленные из одного фторопласта (до 2500 кг/см²).

Пластмассы имеют следующие преимущества перед металлами, используемыми в узлах трения: более высокую износостойкость, сравнительно низкую стоимость, высокую технологичность переработки, возможность относительно просто изменять в довольно широких пределах свойства материала при введении различных наполнителей и добавок (получение композиционных материалов) [9,10].

К недостаткам необходимо отнести низкую теплостойкость, трудность сохранения стабильных физико-механических свойств в процессе переработки и эксплуатации, обычно более низкие показатели механической прочности, больший коэффи-

**вкладыши со сменными
антифрикционными
элементами**

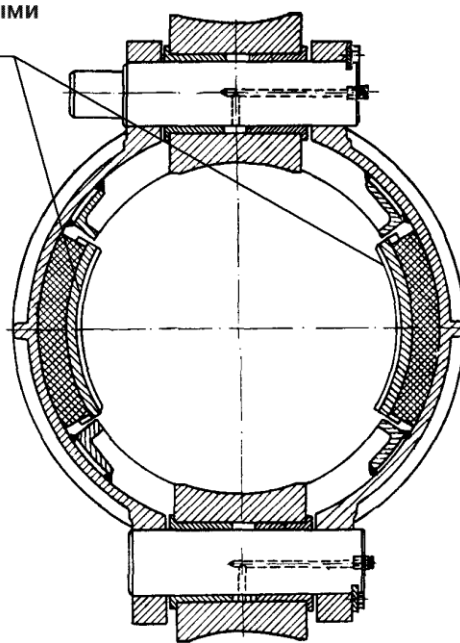


Рис. 1 Установка вкладышей седловых подшипников экскаватора ЭКГ-8И со сменными антифрикционными элементами
Fig. 1. Installation of saddle bearing shells for the EKG-8I excavator with replaceable anti-friction elements

Таблица 1. Физико-механические свойства полиамида-6 и фторопласта-4
Table 1. Physical and mechanical properties of polyamide-6 and fluoroplast-4

	Разрушающее напряжение, МПа			Твердость по Нв., МПа	Температура плавления, °С
	при растяжении	при сжатии	при изгибе		
Полиамид – 6	55-70	85-100	90-100	100-170	210-218
Фторопласт – 4	14-35	10-12	14-18	30-40	327

Таблица 2. Физико-механических показателей основных эпоксидных составов
Table 2. Physical and mechanical parameters of the main epoxy compounds

Состав на основе эпоксидных смол (масс. ч.)	Предел прочности, МПа		Твердость Нв, МПа	Удельная ударная вязкость, кДж/м ²	Теплостойкость, °С
	при сжатии	при статическом изгибе			
ЭД-16 (100) Дибутилфталат (15) Железный порошок (160) Полиэтиленполиамин (10)	54-60	40-45	120-150	4-5	60
ЭД-16 (100) Дибутилфталат (10) Железный порошок (160) Полиэтиленполиамин (7)	80-100	50-60	220-240	5-6	60
ЭД-16 (100) Дибутилфталат (10) Графит (25) Полиэтиленполиамин (10)	46-57	25-32	130-170	2-3	59

циент линейного расширения.

В последние годы при ремонте оборудования применяются способы восстановления деталей нанесением покрытий из композиционных материалов на основе высокомолекулярных соединений. Например, эпоксидных смол ЭД-14, ЭД-16, ЭД-20, ЭД-22 (ГОСТ 10587-84). Отвердители для них могут быть холодного отверждения (при температуре 10-20°С) – амины (полиэтиленполиамины, этилендиамины), низкомолекулярные полиамиды (Л-18, Л-19, Л-20 и др.) и горячего отверждения (при температуре 100-200°С) – ангидриды дикарбоновых кислот (малеиновой, фталевой и др.), амиды кислот (дициандиамины).

Отвердители вводятся непосредственно перед употреблением эпоксидных смол в строго расчетном количестве. При применении в качестве отвердителей ангидридов кислот несколько повышаются показатели механической прочности, твердости и теплостойкости.

Для улучшения эластичных свойств эпоксидных составов в них вводятся пластификаторы – дибутилфталат, диоктилфталат, низкомолекулярные полиамидные смолы (Л-18, Л-19, Л-20).

Улучшения физико-механических показателей составов добиваются и введением в них наполнителей (железного порошка, графита и т.д.) [11,12].

Свойства некоторых отвержденных составов (на основе эпоксидной смолы ЭД-16) приведены в табл. 2.

Для ремонта посадочных отверстий корпусных деталей и защитных покрытий чаще используются

порошковые композиции П-ЭП-177 (ТУ 6-10-1575-76), П-ЭП-971 (ТУ 6-101604-77).

Значительный эффект по сокращению простоев горной техники и оборудования в техническом обслуживании и ремонте, высвобождению ремонтного персонала образуется за счет внедрения научных разработок по повышению эксплуатационной надежности оборудования.

Отделом эксплуатации и ремонта горнотранспортного оборудования (НТЦ-НИИОГР) в свое время были разработаны предложения по применению в узлах трения экскаваторов деталей из полимерных материалов (вкладышей седловых подшипников, втулок роликовых кругов) в качестве заменителей цветных металлов и сплавов [13].

В результате исследований разработана новая конструкция вкладышей седловых подшипников экскаватора ЭКГ-8И со сменными антифрикционными элементами (рис. 1).

В конструкции вкладыша применены антифрикционные элементы, что значительно улучшает показатели ремонтпригодности вкладыша, так как появляется возможность заменить изношенные элементы без демонтажа самого вкладыша.

В 1990 году были проведены первые промышленные испытания вкладышей со сменными элементами из текстолита и асбокаучукового материала на разрезах «Северный» и «Богатырь» (ОАО «Экибастузкомир») [14].

Экскаватор ЭКГ-8И №105, на котором были установлены вкладыши, работал в забое с достаточно тяжелыми горно-геологическими условиями по трудности экскавации, запыленности и т.д. Ре-

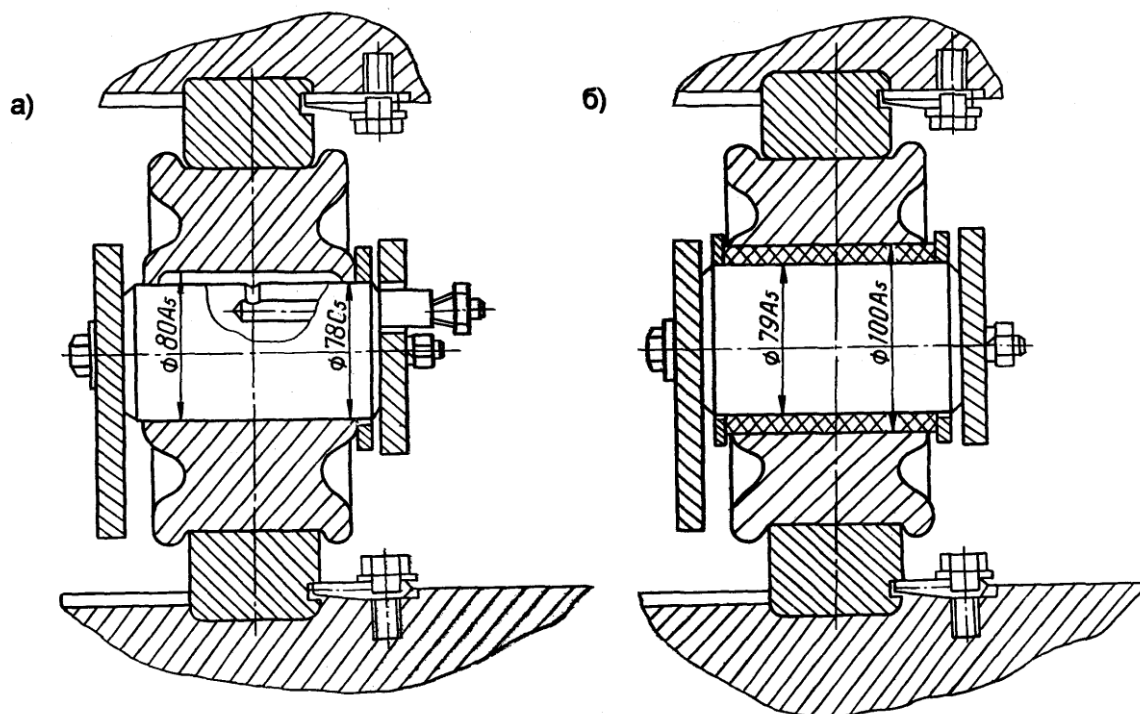


Рис. 2. Установка полиамидных втулок в роликах опорно-поворотного круга экскаватора ЭКГ-15
а – до модернизации, б – после модернизации
Fig. 2. Installation of polyamide bushings in the rollers of the slewing ring of the EKG-15 excavator
a – before modernization, b – after modernization

зультаты испытаний показали высокую работоспособность вкладышей новой конструкции: значительно уменьшился износ антифрикционных элементов и балки рукояти за счет улучшения условий смазки; в 2,5-4 раза увеличился срок службы вкладышей; в 1,5-2,0 раза сократились затраты времени и труда на техническое обслуживание и ремонт узла [15].

В 1992 году была изготовлена партия вкладышей со сменными антифрикционными элементами из капролона. Комплект был установлен для проведения испытаний в условиях разреза «Коркинский» ОАО «Челябинскуголь» на экскаваторе ЭКГ-8И. Испытания показали, что применение деталей из полимеров позволило практически полностью исключить смазку узлов трения и в 3-5 раз повысить долговечность сопряженных стальных деталей.

Также проведены исследования и по разработке конструкции и технологии изготовления втулок ходовых колес и роликовых кругов экскаваторов из полимерных материалов.

Полиамидные втулки (рис. 2) устанавливались с целью исключения смазывания пар трения ось-втулка во время эксплуатации и повышения долговечности узла.

Материал втулок – полиамидная смола АК-80/20 или АК-85/15 ГОСТ 19459-74 с 1,5% дисульфида молибдена (допускается замена на капрон ОСТ 6-06-14-70 с 1,5% дисульфида молибдена). При модернизации исключается сверление смазочных отверстий и использование тавотниц.

В результате внедрения этих разработок на угледобывающих предприятиях ОАО «Челябин-

скуголь», ОАО «Средазуголь», ОАО «Экибастузкомир», ОАО «Красноярская угольная компания» был получен годовой экономический эффект 6,2 млн. руб.

Применение изделий из полиамидных материалов более эффективно на стадии проектирования и изготовления горной техники, т.к. увеличение потребности предприятий в модернизации экскаваторов свидетельствует о необходимости решения этой проблемы на уровне отрасли. При этом условный годовой эффект от использования полимерных материалов в узлах трения экскаваторов может составить порядка 750 млн руб.

Таким образом, разработанные технические решения раскрывают внутренние резервы ремонтного производства, позволяющие организовать выполнение ряда трудоемких технологических процессов и операций в 2-14 раз быстрее и эффективнее, что повышает организационно-технический уровень служб и сокращает ее ресурсоемкость. Применение разработанных решений дает возможность повысить культуру труда ремонтного персонала, безопасность работ и снизить трудоемкость их выполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко В. М., Русихин В. И. Ремонтная технологичность карьерных механических лопат. 2-е изд. М. : Издательство Московского государственного горного университета, 2002. 231 с.
2. Зотов В. В. Применение резинотросовых лент вместо стальных канатов на шахтных подъемных установках // Инновация – основа комплексно-

го развития угольной отрасли в регионах России и странах СНГ: Материалы II междунар. научно-практ. конференции, Прокопьевск. 2009. С. 97-99.

3. Penyashki T., Kostadinov G., Kandeewa M. Examination of the wear of nontungsten electro-spark coatings on high speed steel // *Agricultural Engineering*, 2017. V. 49. Pp. 1-6.

4. Амосов А. П. Наноматериалы технологии СВС для триботехнического применения // *Известия Вузов. Порошковая металлургия и фрикционные покрытия*. №4. 2016. С. 17-24.

5. Андреева Л. И. Методология формирования технического сервиса горнотранспортного оборудования на угледобывающем предприятии: дис. докт. техн. наук. Екатеринбург, 2004. 297 с.

6. Лобур И. А., Шаулева Н. М., Захаров А. Г. Об эксплуатационной надежности электромеханических систем карьерных гусеничных экскаваторов // III Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: теория и практика». Кемерово : КузГТУ, 2017. С. 312 (1-8).

7. Le Q. H., Jeong., Nguyen C. T., Yang S. Y. Development of a Virtual Excavator using Sim Mechanics and Sim Hydraulic // *Journal of Drive and Control*. 2013. Vol. 10. Iss. 1. P. 29-36.

8. Андреева Л. И. Возможности повышения эффективности использования ресурсов в ремонтном производстве // *Проблемы недропользования: Сетевое периодическое научное издание, ИГД УрО РАН*. Екатеринбург, 2015. Вып. 1 (4). С. 134-141.

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

10. Тимошков Т. М., Хрульков А. В., Язвенко Л. Н. Композиционные материалы в автомобильной промышленности // *Труды ВИАМ*. Т. 54. №6. 2017.

11. Зеленая химия: эра полимеров - <https://ria.ru/20180920/1529003097.html>

12. Композитные и полимерные материалы стали неотъемлемыми элементами авиастроения <https://www.aviaport.ru/digest/2017/07/16/464945.htm>

13. Sabu Thomas, Kuruvilla Joseph, Sant Kumar Malhotra, Koichi Goda. Introduction to Polymer Composites. Part One. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2012.

14. Сутягин В. М., Кукурина О. С., Бондалетов В. Г. Основные свойства полимеров: учебное пособие. Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. 96 с.

15. Ганин А. Р. Область эффективного применения карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС» имени П.Г. Коробкова // *Материалы Международной конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ 2014»*, Mining world Russia, 9 апреля, Москва. 2014.

© 2022 Авторы. 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, Институт горного дела УрО РАН, Челябинский филиал, (Россия, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, оф.718)

Абрамов Сергей Васильевич, гл. механик отдела ремонта горной техники, канд. техн. наук, ООО «Научно-исследовательский институт эффективности и безопасности горного производства» (ООО «НИИОГР»), (Россия, г. Челябинск, ул. Энтузиастов, 30, оф.711)

Заявленный вклад авторов:

Андреева Л.И. – постановка исследовательской задачи в соавторстве с коллективом лаборатории ремонта и эксплуатации горнотранспортного оборудования; обзор соответствующей литературы; участие в проведении экспериментов; аналитические расчеты; выводы; написание текста.

Абрамов С.В. – обзор соответствующей литературы; сбор и анализ информации; аналитические расчеты; формулировка выводов

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-26-32

Lyudmila I. Andreeva¹, Sergey V. Abramov²

POLYMER MATERIALS AS AN ALTERNATIVE TO NON-FERROUS METALS AND ALLOYS IN REPAIR OF MINING EQUIPMENT



Article info

Received:

15 September 2022

Accepted for publication:

01 October 2022

Accepted:

14 October 2022

Keywords: polymer materials, polyamide resins, antifriction properties, powder compositions, seat bearing inserts.

Abstract.

Generalized data on the properties of polymer materials used to increase the resource and extend the service life of parts of mining machinery units are presented. It is shown that the use of fluoroplastics in mining machinery units subject to high abrasive wear provides higher antifriction properties than polyamides and makes it possible to extend the life of the unit with mandatory preventive procedures. This makes it possible to increase the efficiency of excavator operation, reduce downtime and free up repair personnel to perform other machine maintenance tasks. Scientific research has made it possible to develop a new design of the seat bearing inserts of the EKG-8I excavator. Tests have shown the high maintainability of the liner and the possibility of its replacement without laborious installation work, as well as the economy of non-ferrous materials and alloys. It was revealed that the resource of parts increased by 2.5...4 times and the time and labor costs for repair maintenance of equipment decreased by 2 times. Scientific research has also been carried out on the development of the design and manufacturing technology of bushings of running wheels and roller wheels of excavators of cyclic action. Experiments on the installation of seat bearing inserts and polyamide bushings were carried out in Kazakhstan, in the Krasnoyarsk Territory, in Uzbekistan and mining enterprises of the Chelyabinsk region.

For citation: Andreeva L.I., Abramov S.V. Polymer materials as an alternative to non-ferrous metals and alloys in repair of mining equipment. Mining Equipment and Electromechanics, 2022; 6(164):26-32 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2022-6-26-32

REFERENCES

1. Kravchenko V.M., Rusikhin V.I. Repair manufacturability of quarry mechanical shovels. – 2nd ed. Moscow: Publishing House of the Moscow State Mining University; 2002. 231 p.
2. Zotov V.V. The use of rubber bands instead of steel ropes on mine lifting installations. *Innovation – the basis of the integrated development of the coal industry in the regions of Russia and CIS countries: Materials of the II International scientific and practical conference*. Prokopyevsk. 2009. pp. 97-99.
3. Penyashki T., Kostadinov G., Kandeeva M. Examination of the wear of nontungsten electro-spark coatings on high speed steel. *Agricultural Engineering*, 2017; 49:1-6.
4. Amosov A.P. Nanomaterials of SHS technology for tribotechnical application. *Izvestiya vuzov. Poroshkova metallurgiya i funktsionalnye pokrytiya*. 2016; 4:17-24.
5. Andreeva L.I. Methodology of formation of technical service of mining equipment at a coal mining enterprise: dis. doct. Technical sciences / L.I. Andreeva. Yekaterinburg, 2004. 297 p.
6. Lobur I.A., Shauleva N.M., Zakharov A.G. On operational reliability of electromechanical systems of quarry crawler excavators. *III All-Russian scientific and practical conference "Power engineering and energy conservation: theory and practice"*. Kemerovo: KuzSTU; 2017. p. 312(1-8).
7. Le Q.H., Jeong., Nguyen C.T., Yang S.Y. Development of a Virtual Excavator using Sim Mechanics and Sim Hydraulic // *Journal of Drive and Control*. 2013; 10(1):29-36.
8. Andreeva L.I. Possibilities of increasing the efficiency of resource use in repair production / Problems of subsoil use: Network periodical scientific publication / IGD UrO RAS. Yekaterinburg. 2015; 1(4):134-141.
9. Pobegailo P.A., Gadomena I.V., Kritsky D.Yu. About the current state of wear of elements of quarry excavators. *Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference "Readings in memory of V.R. Kubachek"*. 2019. p. 345.
10. Timoshkov, T.M., Khrulkov, A.V., Yazvenko, L.N. Composite materials in the automotive industry. *Proceedings of VIAM*, 2017; 54(6).
11. Green chemistry: the era of polymers - <https://ria.ru/20180920/1529003097.html>
12. Composite and polymer materials have become integral elements of the aircraft industry <https://www.aviaport.ru/digest/2017/07/16/464945.htm>
13. Sabu Thomas, Kuruvilla Joseph, Sant Kumar Malhotra, Koichi Goda. Introduction to Polymer Composites. Part One. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. 2012.
14. Sutyagin V.M., Kukurina O.S., Bondaletov V.G. Basic properties of polymers: textbook.

Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University; 2010. 96 p.

15. Ganin A.R. The field of effective use of quarry excavators manufactured by P.G. Korobkov IZ-

KARTEX LLC. *Materials of the International Conference "Machines and equipment for open-pit mining operations 2014"*, Mining world Russia. April 9. Moscow. 2014.

© 2022 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:

Lyudmila I. Andreeva, chief researcher, Dr. Sc. in Engineering, Chelyabinsk branch of the Institute of Mining of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, (Russia, Chelyabinsk, st. Entuziastov, 30, office 718)

Sergey V. Abramov, Ch. mechanic of mining equipment repair department, C. Sc. in Engineering, Scientific Research Institute for the Efficiency and Safety of Mining Production (LLC NIIOGR), (Russia, Chelyabinsk, st. Entuziastov, 30, office 711)

Contribution of the authors:

Lyudmila I. Andreeva – formulation of a research task in collaboration with the staff of the laboratory of repair and operation of mining equipment; review of relevant literature; participation in experiments; analytical calculations; conclusions; writing a text.

Sergey V. Abramov – review of relevant literature; collection and analysis of information; analytical calculations; formulation of conclusions.

Author have read and approved the final manuscript.

