

ГОРНЫЕ МАШИНЫ MINING MACHINES

Научная статья

УДК 621.316

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-33-39

Левашова Елена Евгеньевна

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева

* для корреспонденции: pee5152@rambler.ru

ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ РЕМОНТНОГО ЦИКЛА ПАЛЬЦЕВ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА



Информация о статье

Поступила:

10 февраля 2025 г.

Одобрена после

рецензирования:

01 марта 2025 г.

Принята к печати:

05 мая 2025 г.

Опубликована:

05 июня 2025 г.

Ключевые слова:

рабочее оборудование, ось, ремонт, наплавка, текущий ремонт, ремонтный цикл

Аннотация.

На объемы добываемого угля влияют как количество горного оборудования (распределение экскаваторно-автомобильным комплексом), так и надежность, связанная с бесперебойной работой разреза. В связи с обстоятельствами страны, с которыми пришлось столкнуться, тенденция обновления экскаваторного парка слабая, поэтому поддержание технического состояния оборудования становится в приоритете. В статье представлены результаты исследований разработанной технологии восстановления пальцев ковшей карьерных экскаваторов, которая заключается в наплавке специального слоя и последующей локальной термической обработки, проведены такие исследования, как спектрально-акустический анализ, измерение микротвердости, металлографические исследования, по результатам видно, что применение новой технологии приводит к увеличению твердости и износостойкости поверхностного слоя. В связи с изменением технологии изготовления по расчетным данным увеличивается ресурс детали, что приведет к изменению структуры ремонтного цикла, что влечет за собой переход деталей из текущего ремонта Т1 в Т2. Графически изображены изменения ремонтного цикла, выполнены расчеты временных и финансовых затрат на ремонт трех вариантов выполнения текущего ремонта пальцев (осей) карьерных экскаваторов при внедрении технологии или выполнении ремонта без изменения технологии. При расчете установлено, что финансовые затраты могут сократиться от 60–97 %.

Для цитирования: Левашова Е.Е. Изменение структуры ремонтного цикла пальцев карьерного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. 2025. № 2 (178). С. 33-39. DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-33-39, EDN: KUSKDT

Введение

В условиях современного мира Кузбасс остается основным регионом в России по добыче угля, не смотря на нестабильные объемы добычи. Следует отметить, что на объемы добываемого угля влияет как экономическая составляющая, так и состояние парка карьерного оборудования. Основным оборудованием при производстве добычных и вскрышных работ, а также при формировании отвалов, являются карьерные экскаваторы. Их работа характеризуется высокой интенсивностью – наработка в год составляет порядка 20 000 моточасов.

Время производительной работы парка карьерных экскаваторов составляет 65-70 % от рабочего,

остальное время (30-35 %) теряется на простои по различным причинам, в том числе примерно половина (45-50 %) на аварийные остановки для устранения неисправностей.

Как показывает практика, ударные и статические нагрузки приходятся на рабочий орган карьерного экскаватора, а также не исключается износ деталей по естественным причинам и фактор окружающей среды. Основные нагрузки приходятся на узлы осей (пальцев) и втулок, в особенности на узел соединения ковша и коромысла. Износ пальца или втулки приводит к увеличению зазора и ускоренному разрушению сопряжения, от своевременной замены деталей зависит срок безаварийной

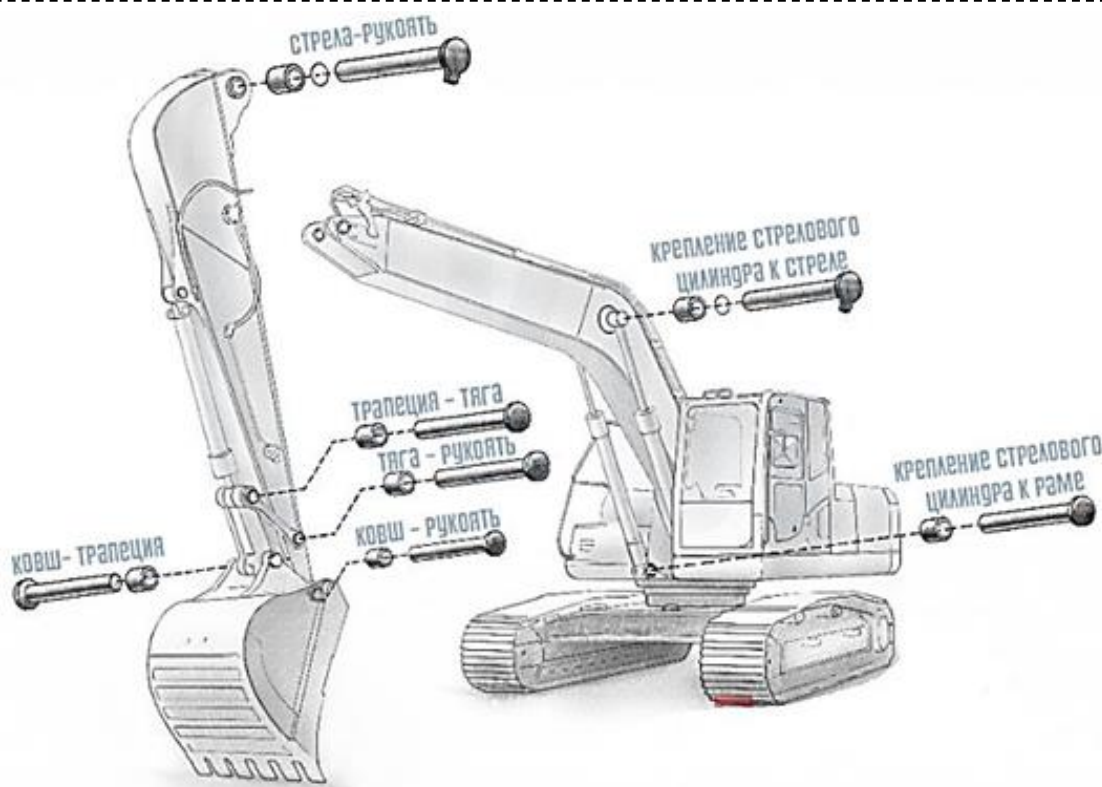


Рис. 1. Расположение пальцев на экскаваторе
Fig. 1. Location of fingers on the excavator

Таблица 1 - Режимы электродугового термического упрочнения
Table 1 - Modes of electric arc thermal hardening

№ п.п.	Сила тока, А	Плотность тока, А/мм ²	Напряже-ние на дуге, В	Погонная энергия, КДж/мм	Скорость вращения детали, м/с	Угол заточки электрода, °
1	60-70	19,1	22,1-22,5	0,06	0,47	30
2	40-50	12,7	22,1	0,29	0,09	60
3	80-90	25,5	22,8-23,2	0,19	0,21	60

работы экскаватора. Наибольшему износу подвергнуты пальцы, они подлежат замене при первых ощутимых следах износа (1-5 мм), импортные детали имеют сложный химический состав и структуру. Поскольку замена импортных деталей в настоящее время нецелесообразна из-за логистики, а покупка у сторонних организаций деталей-аналогов по цене ниже, но ресурс снижен на 40-50%, тогда единственным решением является восстановление работоспособности пальцев.

При эксплуатации карьерных экскаваторов вследствие больших нагрузок, приходящихся на оборудование (например, у экскаватора P&N 2800 XPC с номинальной полезной нагрузкой 59,0 м. т и номинальной емкостью ковша 26,8-33,6 м³, а у экскаватора P&N 4100XPC – 108,9 м. тонн и 52,8-61,2 м³ соответственно), происходит интенсивный износ подвижных соединений рабочего оборудования. К таким соединениям относятся пары «ось-втулка» в местах соединения (рис. 1): ковш с трапедией и ковш с рукоятью; рукоять с тягой и рукоять со стрелой; тяга с трапедией; стрелковый цилиндр со стрелой и стрелковый цилиндр с рамой. [1]

В работах [2, 3] представлена технология восстановления габаритных размеров и эксплуатац

онных свойств детали, с анализом механических свойств поверхностного слоя. Технология восстановления заключается в выполнении наплавки механизированным способом в среде защитного газа с последующим электродуговым термическим упрочнением для повышения механических свойств.

Электродуговое термическое упрочнение проводили на нескольких режимах (табл. 1). В качестве присадочного материала применяли вольфрамовый электрод на прямой полярности, защитных газ – аргон, охлаждающая жидкость – вода, шаг электродугового термического упрочнения составлял 1 мм (рис. 2).

При исследовании выполнены анализ спектро-графически, акустическим методов, металлографические исследования, измерение микротвердости и трибологические испытания [4-8].

установили, что при увеличении погонной энергии глубина проплавления увеличивается, но уменьшаются значения микротвердости.

Для анализа эффективности выполненной технологии выполнили расчет прогнозирования ресурса детали после восстановления. Для расчета взяты характеристики работы карьерного экскаватора



а)



б)

Рис. 2. Проведение электродугового термического упрочнения, а – установка образца в патрон станка, б – поверхность образца после испытания
Fig. 2. Carrying out electric arc thermal hardening, a – installation of the sample in the machine chuck, b – surface of the sample after testing

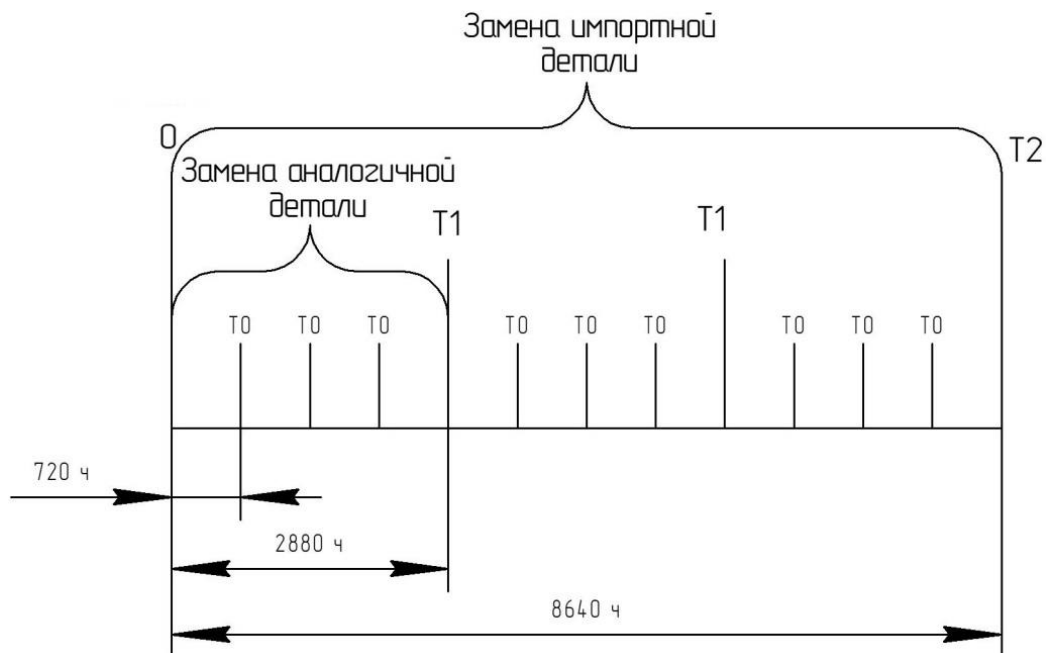


Рис. 3. Ремонтный цикл пальцев карьерного экскаватора
Fig. 3. Repair cycle of quarry excavator pins

R&N 2800XPC, с объемом ковша 33,6 м³ и номинальной грузоподъемность 122,5 м.тонн.

Расчет выполнялся на основе одной из прочностных характеристик материала, предела выносливости. В работе [2] представлены результаты измерения твердости поверхностного слоя после электродугового термического упрочнения, которые составляют 53,4 HRC согласно таблице сопоставления значений твердости HRC и предела прочности [6], который составляет 1 800 МПа.

Для определения остаточного ресурса детали после восстановления установили напряжения [9-12], действующие при эксплуатации, сделали с помощью метода конечно-элементного моделирования в трехмерной постановке [13-19].

При подготовке модели к расчету были приняты ряд допущений (рис. 2):

- моделирование проушин на стреле выполнено цилиндрическими телами;
- моделирование втулки проушины ковша выполнено цилиндрическим телом;
- нагрузки, действующие в конструкции, моделировались нагружением Bearing Load, так как ось и втулки представляют собой подшипник скольжения;
- коэффициент трения в контактных парах принимался для пары сталь-сталь;
- при моделировании ось закреплялась по торцам, а воздействия на ось передавались через цилиндрические тела.

Для расчета опорной нагрузки учитывались два варианта работы карьерного экскаватора R&N 2800XPC:

Замена детали изготовленной по технологии

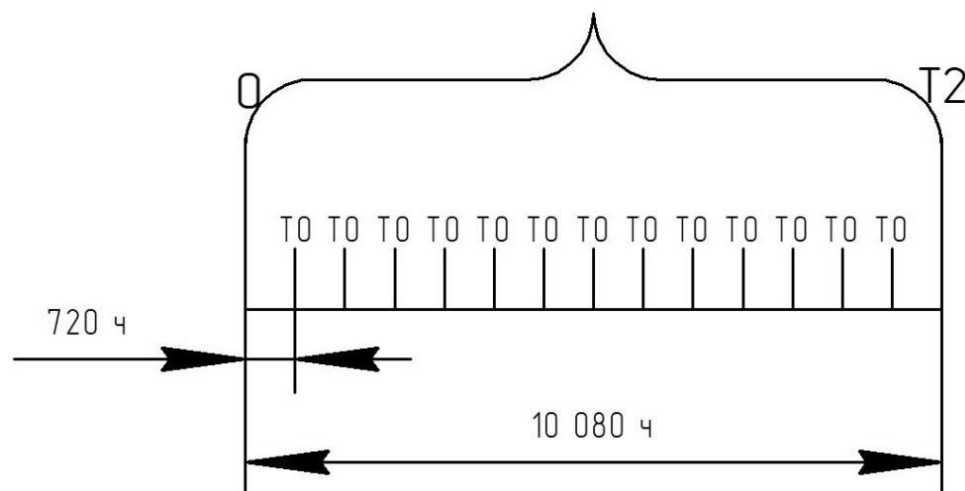


Рис. 4. Ремонтный цикл пальцев карьерного экскаватора выполненного по предлагаемой технологии

Figure 4. Repair cycle of the fingers of a quarry excavator made using the proposed technology

– полностью пустой ковш, при этом учитывалась масса пустого ковша
 $m_1 \approx 35\,280\text{ кг (345,97 кН)}$;

– полностью загруженный ковш, при этом учитывалась масса ковша
 $m_1 \approx 35\,280\text{ кг (345,97 кН)}$ и масса породы, загруженной в ковш до полного объема
 $m_2 \approx 122\,360\text{ кг (1\,201,3 кН)}$.

В [6], установлено, что максимальные напряжения, возникающие в модели оригинальной детали и детали после восстановления механизированной наплавкой с последующим электродуговым термическим упрочнением, отличаются на 0,1 МПа, что незначительно, влияет на остаточный ресурс детали.

Выполнен расчет ориентировочного количества циклов (3,4 млн.) работы детали «ось», который сопоставим с ресурсом оригинальной детали.

Применение разработанной технологии восстановления габаритных размеров пальца ковша с последующей локальной термической обработкой, в условиях разреза, позволяет сократить простои карьерного экскаватора за счет наличия собственной базы и не зависеть от посредников.

При проектировании технологии восстановления деталей для горных машин и оборудования, необходимо рассматривать изменение структуры ремонтного цикла. Как известно структура ремонтного цикла представляет собой перечень и последовательность циклически повторяющихся плановых ремонтов оборудования, выполняемых на протяжении ремонтного цикла, в свою очередь ремонтный цикл – наименьший период эксплуатации оборудования, в течение которого в определенной последовательности осуществляются установленные виды ТО и ремонта [7-9].

Система планово-предупредительных работ (ППР) включает в себя три вида ремонта (Т1, Т2, Т3), а также средний и капитальный. В настоящее время элементы рабочего оборудования относятся к текущему ремонту Т1 (быстроизнашиваемые детали, элементы рабочего оборудования) (рис. 3).

При внедрении технологии восстановления пальцев, заключающаяся в наплавке специального слоя и последующей термической обработки, появляются дополнительные варианты выполнения ремонта данных деталей. Тогда замена пальцев (осей) будет происходить при выполнении Т2 (рис.4).

При анализе внедрения технологии разработаны три варианта выполнения ремонтов пальцев карьерных экскаваторов:

1) замена пальца на новый (изготовленный сторонней организацией), палец после эксплуатации на утилизацию, при выборе данного варианта ремонтный цикл пальцев не изменяется и пальцы так и остаются в Т1 и детали меняются при каждом Т1 (если деталь отечественного производства), тогда финансовые затраты, при стоимости 300–500 тыс. руб., на семь пальцев могут составлять 2,1–3,5 млн руб., за один Т1, за год получается 6,3–10,5 млн руб.

2) на ремонтно-механических участках (по предлагаемой технологии с выполнением наплавки, обточки и локальной термической обработкой), ремонтный цикл пальцев изменится и ремонт данной детали перейдет в Т2, из-за увеличения износостойкости и твердости, из-за чего изменятся финансовые затраты на ремонт и могут составлять при затратах на расходные материалы 50 тыс. руб., на семь пальцев будет составлять 350 тыс. руб.

3) с помощью передвижных ремонтных мастерских, с выполнением наплавки, обточки и локальной термической обработкой, ремонтный цикл пе-

рейдет аналогичным образом, как в варианте 2, т.е. в Т1, но с учетом обустройства дополнительной передвижной ремонтной мастерской стоимость будет увеличена, но только на первый ремонт, а последующие будут стоить, как в варианте 2. Примерная стоимость обустройства передвижной ремонтной мастерской будет складываться из стоимости сварочного оборудования, которое применяется также и для локальной термической обработки (200 тыс. руб.) и стоимость мобильного обточного станка (может достигать до 2 млн руб.). При расчете стоимости ремонта при выборе варианта 3, денежные затраты составят 2,55 млн руб. за первый Т2, но с учетом обустроенной передвижной мастерской последующие ремонты будут составлять 350 тыс. руб.

Выводы.

1. Выполнен анализ вариантов изменения ремонтного цикла тяжело нагруженных деталей (пальцев) карьерного экскаватора Р&Н 2800ХРС, при внедрении новой технологии восстановления.
2. Показано, что при внедрении технологии восстановления, ремонтный цикл пальцев (осей) карьерных экскаваторов увеличится на 20%.
3. Установлено, что при внедрении новой технологии ремонтный цикл изменится и пальцы будут ремонтироваться при Т2, что сократит затраты из ремонтного фонда предприятий на пальцы на 95-97 %, при варианте 2, и на 60–76 % при варианте 3.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левашова Е.Е. Разработка алгоритма технологического процесса восстановления быстроизнашиваемых деталей карьерного экскаватора // Горное оборудование и электромеханика. – 2019.- № 6 - С. 25-32.
2. Князьков В. Л. Механические и трибологические характеристики восстановленной детали горного оборудования после упрочнения/ В. Л. Князьков, Е. Е. Левашова, М. В. Пимонов // XVII Международная научно-практическая конференция «ПРИРОДНЫЕ И ИНТЕЛЕКТУАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ СИБИРИ. СИБРЕСУРС – 2018». – Кемерово, 2018 – С. 406.1 – 406.7.
3. Левашова Е. Е. Анализ изменения акустических и магнитных характеристик, наплавленных образцов до и после электродугового термического упрочнения поверхностных слоев / Е. Е. Левашова, В. Л. Князьков, Н. В. Абабков, М. В. Пимонов // Сборник трудов IV Всероссийской молодежной научно-практической школы с международным участием "Упрочняющие технологии и функциональные покрытия в машиностроении". – Кемерово, 2018 – С. 21.1 – 21.5.
4. Никитина Н. Е. Преимущества метода акустоупругости для неразрушающего контроля механических напряжений в деталях машин / Н. Е. Никитина, С. В. Казачек // Вестник научно-технического развития. – 2010. – №4 (32). – С. 18–28.
5. Смирнов А. Н. Анализ физико-механических показателей и состояния длительно работающего металла энергооборудования / А. Н. Смирнов, Н. В. Абабков, А. С. Глинка и др. // Упрочняющие технологии и покрытия, 2011. – № 11 (83). – С. 40–48.
6. Левашова Е. Е. Расчет ресурса детали «ось» после восстановления/ Е. Е. Левашова, М. В. Пимонов, Н. В. Абабков // Горное оборудование и электромеханика. – 2020.- № 6 - С. 3-9.
7. Вильчик Г.В. Общее руководство по капитальному ремонту экскаваторов. – НИИОГР, 1979. – 159 с.
8. Шибанов Д.А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ - 18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов: дис. ... канд. тех. наук. С.-П., 2015. С. 37–43.
9. Воробьев Л.Н. Технология машиностроения и ремонта машин. – М.: Машиностроение, 1981.
10. Восстановление деталей машин: Справочник / Под ред. Ф.И. Пантелеенко. – М. Машиностроение, 2003. - С. 672.
11. Трегубов Н.М., Акастелов Л.Ф. Ремонт горных машин. – М.:Недра, 1978.
12. Кубачек, В.Р. Основы надежности горных машин : Учеб. пособие / В. Р. Кубачек, Л. Г. Куклин. - Свердловск : СГИ, 1982. - 78 с.
13. Моделирование напряженно-деформированного состояния вибропитателя секции крепи с выпуском угля подкровельной толщи / В. И. Клишин, Н. В. Абабков, М. В. Пимонов, Е. А. Худынцев // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №2. – С. 57-63.
14. Использование УЗ-сигналов для идентификации НДС / А. Н. Смирнов, В. Ю. Блюменштейн, А. А. Кречетов, Н. А. Хапонен, Ю. М. Шатунов // Безопасность труда в промышленности. – 2002. – № 3. – С. 32-35.
15. Дышловенко, П. Е. Математические основы конечно-элементных методов моделирования: методические указания по решению задач. – Ульяновск : УлГТУ, 2011. – 54 с.
16. Стренг, Г. Теория метода конечных элементов: пер. с англ. – М.: Мир, 1977. – 349 с.
17. Чигарев А. В., Кравчук А. С., Смалюк А. Ф. ANSYS для инженеров: Справ. пособие. – М.:Машиностроение, 2004. – 511с.
18. Басов, К. А. ANSYS в примерах и задачах. – Под общ.ред. Д. Г. Красковского. – М: КомпьютерПресс, 2002. – 224 с: ил.
19. Инженерный анализ в Ansys Workbench. Часть 1. / В. А. Бруйка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова и др. – Учебное пособие. – Самара: Самар. гос. техн.ун-т, 2010. – 271 с.
20. Инженерный анализ в Ansys Workbench. Часть 2. / В. А. Бруйка, В. Г. Фокин, Е. А. Солдусова и др. – Учебное пособие. – Самара: Самар. гос. техн.ун-т, 2013. – 148 с.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Об авторах:

Левашова Елена Евгеньевна, старший преподаватель кафедры технологии машиностроения, Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28), pee5152@rambler.ru.

Заявленный вклад авторов:

Левашова Елена Евгеньевна – постановка исследовательской задачи, научный менеджмент, обзор соответствующей литературы, концептуализация исследования, сбор и анализ данных, обзор соответствующей литературы, выводы, написание текста.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Original article

DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-33-39

Elena E. Levashova

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University

* for correspondence: pee5152@rambler.ru

CHANGE IN THE REPAIR CYCLE OF EXCAVATOR FINGERS



Article info

Received:

10 February 2025

Accepted for publication:

01 March 2025

Accepted:

05 May 2025

Published:

05 June 2025

Keywords: working equipment, fingers, repair, surfacing, routine repair, repair cycle.

Abstract.

The volumes of mined coal are affected by both the amount mining equipment (distribution by excavator-truck complex) and reliability associated with the smooth operation the open pit. Due to the circumstances of the country that had to be faced, the tendency to update the excavator fleet is weak, so maintaining the technical condition equipment becomes a priority. The article presents the results of studies the developed technology for restoring the fingers quarry excavators buckets, which consists in surfacing a special layer and subsequent local heat treatment, such studies as spectral-acoustic analysis, microhardness measurement, metallographic studies were carried out, according to the results it is clear that the use of the new technology leads to an increase in the hardness and wear resistance of the surface layer. Due to the change in the manufacturing technology, according to the calculated data, the resource part increases, which will lead to a change in the structure the repair cycle, which entails the transition parts from current repair T1 to T2. Changes in the repair cycle are graphically depicted, calculations of time and financial costs for repair of three options for performing routine repair of pins (axles) of quarry excavators during the implementation of technology or performing repairs without changing the technology are performed. The calculation established that financial costs can be reduced by 60–97%.

For citation: Levashova E.E. Change in the repair cycle of excavator fingers. Mining Equipment and Electromechanics, 2025; 2(178):33-39 (In Russ., abstract in Eng.). DOI: 10.26730/1816-4528-2025-2-33-39, EDN: KUSKDT

REFERENCES

1. Levashova E.E. Development of an algorithm for the technological process of restoring quick-wear parts of a quarry excavator/ Levashova E.E.// Mining equipment and electromechanics. – 2019.- No. 6 - pp. 25-32.
2. Knyazkov V. L. Mechanical and tribological characteristics of the restored mining equipment part after hardening/ V. L. Knyazkov, E. E. Levashova, M. V. Pimonov// XVII International Scientific and Practi-

cal Conference "NATURAL AND INTELLECTUAL RESOURCES OF SIBERIA. SIBRESURS – 2018". Kemerovo, 2018– pp. 406.1 – 406.7.

3. Levashova E. E., Knyazkov V. L., Ababkov N. V., Pimonov M. V. Analysis of changes in acoustic and magnetic characteristics of deposited samples before and after electric arc thermal hardening of surface layers//Proceedings of the IV All-Russian Youth Scientific and Practical School with international participation "REINFORCING TECHNOLOGIES AND

4. Nikitina, N. E. Advantages of the acoustoelasticity method for non-destructive testing of mechanical stresses in machine parts / N. E. Nikitina, S. V. Kazachek // Bulletin of Scientific and Technical Development. – 2010. – №4 (32). – Pp. 18-28.

5. Smirnov, A. N. Analysis of physico-mechanical parameters and the state of long-term working metal of power equipment / A. N. Smirnov, N. V. Ababkov, A. S. Glinka et al. // Hardening technologies and coatings, 2011. – № 11 (83). – Pp. 40-48.

6. Levashova E. E. Calculation of the life of the axis part after restoration/ E. E. Levashova, M. V. Pimonov, N. V. Ababkov // Mining equipment and electromechanics. - 2020.- No. 6 - pp. 3-9.

7. Wilchik G.V. General guidelines for the overhaul of excavators. – NIOGR, 1979. – 159 p.

8. Shibanov D.A. Comprehensive assessment of the factors determining the operating time of EKG - 18R/20K excavators for planning maintenance and repairs: dis. ... Candidate of Technical Sciences. S.-P., 2015. pp. 37-43.

9. Vorobyov L.N. Technology of mechanical engineering and repair of machines. Moscow: Mashinostroenie, 1981.

10. Restoration of machine parts: A reference book / Edited by F.I. Panteleenko. – M. Mashinostroenie, 2003. - p. 672.

11. Tregubov N.M., Akastelov L.F. Repair of mining machinery. – M.: Nedra, 1978.

12. Kubachek, V.R. Osnovy` nadezhnosti gorny`x mashin : Ucheb. posobie / V. R. Ku-bachek, L. G. Kuklin. - Sverdlovsk : SGI, 1982. - 78 s. : il.; 19 sm.

13.

14. Modeling of the stress-strain state of the vibrating feeder of the support section with the release of coal from the roof / V. I. Klishin, N. V. Ababkov, M. V. Pimonov, E. A. Khudyntsev // Mining equipment and electromechanics. – 2020. – №2. – C. 57-63.

15. The use of ultrasonic signals for VAT identification / A. N. Smirnov, V. Y. Blumenshtein, A. A. Krechetov, N. A. Haponen, Yu. M. Shatunov // Occupational safety in industry. - 2002. – No. 3. – pp. 32-35.

16. Dyshlovenko, P. E. Mathematical foundations of finite element modeling methods: guidelines for solving problems. – Ulyanovsk :UISTU, 2011. – 54 p.

17. Streng, G. Theory of the finite element method: translated from English, Moscow: Mir, 1977, 349 p.

18. Chigarev A.V., Kravchuk A. S., Smalyuk A. F. ANSYS for engineers: Reference. the manual. – M.: Mechanical Engineering, 2004. – 511c.

19. Basov, K. A. ANSYS in examples and tasks. – Under the general editorship of D. G. Kraskovsky. – Moscow: ComputerPress, 2002. – 224 p.: ill.

20. Engineering analysis in Ansys Workbench. Part 1. / V. A. Bruyaka, V. G. Fokin, E. A. Soldusova et al. – A textbook. Samara: Samara State Technical University.Univ., 2010. – 271 p.

21. Engineering analysis in Ansys Workbench. Part 2. / V. A. Bruyaka, V. G. Fokin, E. A. Soldusova et al. – A textbook. Samara: Samara State Technical University.Univ., 2013. 148 p.

© 2025 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 author:

Elena E. Levashova, graduate student, senior lecturer at the Department of mechanical engineering technology (650000, Russia, Kemerovo, Vesennaya str., 28), pee5152@rambler.ru

Contribution of the authors:

Elena E. Levashova – formulation of a research task, scientific management, review of relevant literature, conceptualization of research, collection and analysis of data, review of relevant literature, conclusions, writing the text.

The claimed contribution of the authors:

Authors have read and approved the final manuscript.

