

КОРРЕКТИРОВКА РЕГЛАМЕНТА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ КАРЬЕРНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА НА РУДНИКЕ БУХАДРА

Агагена Абдельвахаб, Репкина К.С., Михайлов А.В.

Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II, Санкт-Петербург

Ключевые слова: добыча железной руды, условия Алжира, карьерные гидравлические экскаваторы, техническое обслуживание гидроцилиндров, ускоренное изнашивание, техническое состояние.

Аннотация. В статье представлен анализ условий эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов при разработке железорудных месторождений в условиях жесткого климата Алжира. На основе результатов лабораторных исследований по интенсивности изнашивания уплотнений силовых гидроцилиндров в условиях запыленности мелкодисперсной железорудной пылью даны рекомендации по замене гидроцилиндров в рамках предиктивного технического обслуживания на резервные через 240-320 тыс. циклов (двойных ходов) по причине ускоренного изнашивания в паре трения шток-уплотнения и сокращению периодичности замены рабочей жидкости и фильтров с коэффициентом 0,5 от норматива. Трудоемкость замены одного гидроцилиндра карьерного экскаватора составляет в среднем 8 ч. Контроль технического состояния и замена уплотнений штока на снятом гидроциindre производится в цеховых условиях.

ADJUSTING THE MAINTENANCE SCHEDULE OF THE HYDRAULIC EXCAVATOR AT THE OPEN-PIT BOUKHADRA MINE

Agaguena Abdelwahab, Repkina K.S., Mikhailov A.V.

Empress Catherine II Saint-Petersburg mining university, Saint-Petersburg

Keywords: iron ore mining, Algeria conditions, open pit hydraulic excavators, hydraulic cylinder maintenance, accelerated wear, technical condition.

Abstract. The article presents an analysis of the operating conditions of open pit hydraulic excavators in the production of iron ore mining in the harsh climate of Algeria. Laboratory research on wear intensity of hydraulic cylinder surface considering climate rigidity and mountainous terrain were carried out. Based on this it is recommended predictive maintenance of hydraulic cylinders after 240-320 thousand cycles with replacement to reserve ones. Replacement of working fluid and filters is carried out with a coefficient 0.5 of excavator's producer norms. Labor intensity of replacement of one hydraulic cylinder of a mining excavator averages 8 hours. Control of technical condition and replacement of rod seals on the removed hydraulic cylinder is performed in shop conditions.

Введение

Увеличение объемов открытой добычи железной руды во многом зависит от эффективности функционирования одноковшовых карьерных гидравлических экскаваторов, на производительность которых негативно влияет ряд внешних факторов: жесткость климата и особенность горно-геологических условий, несовершенство системы технического обслуживания, принятой в компании [1].

Повышенная запыленность рабочей зоны негативно влияет на функциональность гидроцилиндров экскаватора. Эксплуатация оборудования в условиях повышенной запыленности приводит к появлению статического слоя железорудной пыли на поверхности штоков гидроцилиндров. Свойства дробленых сыпучих материалов существенно зависят от их дисперсного состава. Коэффициент прочности железорудных кварцитов варьируется от 7,1 до 20,7 [2].

В каждом рабочем цикле погрузки абразивная мелкая железорудная пыль размерами PM_{10} и $PM_{2,5}$ составляет 25% общей фракции пыли в воздухе рабочей зоны; пыль оседает на поверхностях штоков силовых гидроцилиндров экскаватора, вызывая повышение интенсивности изнашивания поверхности штоков и уплотнений гидроцилиндров. Этот процесс характерен для экскаваторов, работающих в условиях жаркого сухого климата при температуре выше $40^{\circ}C$ [3, 4].

Целью статьи является выработка рекомендаций по корректировке регламента технического обслуживания силовых гидроцилиндров карьерного гидравлического экскаватора в условиях эксплуатации на руднике Бухадра.

Условия рудника Бухадра

Эксплуатируемое в настоящее время железорудное месторождение Бухадра является одним из крупнейших в Алжире (рис. 1) [5]. Оно расположено на востоке Алжира, в 45 км к северу от столицы провинции Тебесса в 13 км от алжиро-тунисской границы и в 190 км к югу от сталелитейного комплекса Аннаба.

Климат района континентальный и сухой, температура колеблется от 40°C летом до 0°C зимой, осадков мало, иногда выпадает небольшой снег. На участке добычи на высоте 1463 м над уровнем моря водоносный горизонт отсутствует [6].

Национальная компания Ferphos (Fer et Phosphate) взяла на себя разработку и развитие исследований на всех месторождениях железной руды, существующих на территории страны [7-8].

Уровень добычи железной руды, по данным компании Ferphos в 2022 г., составил в среднем 300 тыс. т., из них 280 тыс. т. добывается открытым способом [9].

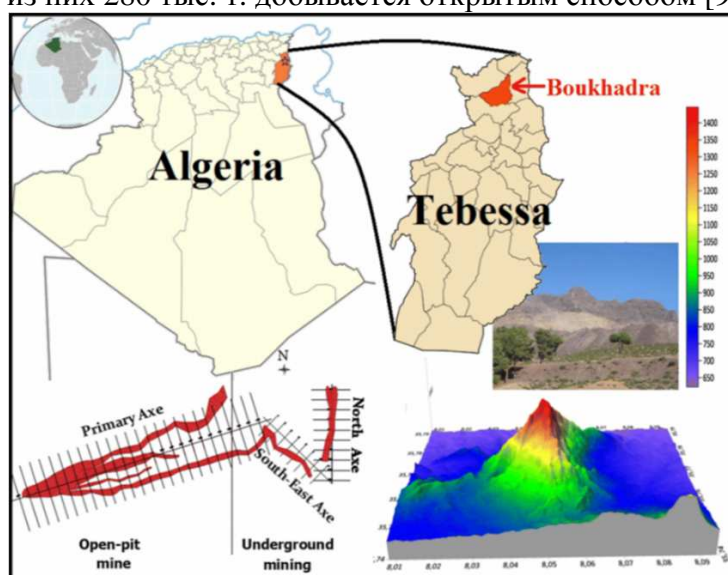


Рис 1. Географическое расположение железорудного месторождения Бухадра [8]

При погрузке железной руды рабочая зона экскаватора характеризуется значительным количеством абразивной железорудной мелкодисперсной пыли в воздухе.

Условия функционирования экскаватора

Условия функционирования карьерного гидравлического экскаватора на погрузке железной руды в самосвалы с повышенным пылеобразованием отмечается интенсивным изнашиванием пары трения шток-уплотнение силовых гидроцилиндров, что приводит к значительным простоям, нарушающим непрерывную разработку руды [10].

Гидравлический цилиндр по функциональным признакам – это объемный гидравлический двигатель, предназначенный для преобразования энергии потока рабочей жидкости в механическую энергию выходного звена с возвратно-поступательным движением. Подвижным звеном гидроцилиндра является шток.

Солнечная радиация, высокая температура воздуха до +40°C, запыленность до 3,2 г/м³, категория грунта, создают условия для повреждаемости штоков и уплотнений гидроцилиндров.

Повышенная температура рабочей жидкости и ее загрязнение мелкодисперсной пылью значительно влияет на ресурс уплотнений штока, вызывая преждевременное старение материала уплотнителей и интенсивное изнашивание. Так в летний период согласно данным, приведенным в работах [11-12], около 70% отказов гидроцилиндров приходится на

уплотнения, происходит интенсивное изнашивание уплотнений штока, нарушается герметичность гидроцилиндра.

Грязесъемные уплотнения штока:

- блокируют попадание внешних загрязнений в цилиндр и соответственно в гидравлическую систему;

- собирают смазочную пленку на штоке и пыль, когда шток втягивается в цилиндр.

Штоковые уплотнения:

- являются барьером для давления и удерживают рабочую жидкость внутри цилиндра;

- регулируют пленку рабочей жидкости, которая образуется на поверхности штока (для предотвращения коррозии штока, смазывания грязесъемника и смазывания самого уплотнения);

- собирают смазочную пленку и пыль после втягивания штока.

При недостаточном усилии масляная пленка между уплотняющей кромкой и металлической поверхностью штока увеличивается, что приводит к утечкам рабочей жидкости. Чрезмерное прижимное усилие, возникающее при высоком давлении и загрязнением мелкодисперсной пылью, становится причиной разрыва масляной пленки между уплотняющей кромкой и поверхностью штока. В этом случае недостаток смазки увеличивает трение, как следствие повышается температура, а срок службы уплотнения намного сокращается [13].

Несистематизированные процедуры обслуживания приводят к сокращению эффективного жизненного цикла машин. Техническое обслуживание по состоянию, также называемое предиктивным техническим обслуживанием, – это стратегия, при которой работы по техническому обслуживанию выполняются, когда этого требует состояние оборудования. При такой стратегии технического обслуживания работы по замене или ремонту выполняются до возникновения отказа. Когда вероятность отказа наиболее высока, выдается заказ на техническое обслуживание [14].

На рисунке 2 показано состояние гидроцилиндров экскаваторов на руднике Бухадра. Следует отметить утечки рабочей жидкости по штоку и налипание пыли на потеки рабочей жидкости.



Рис. 2. Состояние гидроцилиндров экскаваторов Komatsu PC1250-7 и Liebherr R9100 G6 на руднике Бухадра

Следует отметить недостаточный уровень технического обслуживания по причине низкой квалификации обслуживающего персонала, а также в связи с недостаточным техническим оснащением измерительными приборами и специальным инструментом [12].

В работе [15-16] показано, что с ростом числа циклов (двойных ходов штока гидроцилиндра) в условиях воздействия мелкодисперсной абразивной пыли отмечается повышенное изнашивание в паре трения шток-уплотнение с утечкой рабочей жидкости. В

диапазоне числа циклов 240-320 тыс. наблюдается увеличение пропуска частиц железорудной пыли через уплотнения штока и происходит загрязнение рабочей жидкости.

В работе [11] отмечается, что вероятность безотказной работы горных машин зависит от параметров жесткости климата и характера рельефа местности. Учитывая жесткость климата и гористый рельеф рудника Бухадра, а также негативное воздействие абразивной мелкодисперсной железорудной пыли техническое обслуживание силовых гидроцилиндров карьерных экскаваторов должно выполняться на основе диагностирования их технического состояния.

Так, например, в Руководстве по эксплуатации карьерного гидравлического экскаватора Komatsu PC1250-7 предусмотрена периодичность технического обслуживания элементов гидросистемы.

Мелкодисперсные частицы пыли (средний размер 14 мкм) практически не задерживаются фильтрующими элементами гидросистемы экскаватора. При проведении технического обслуживания силовых гидроцилиндров в условиях повышенной запыленности рабочей зоны карьерного экскаватора согласно нормам по эксплуатации экскаватора в тяжелых рекомендуется корректировка регламента проведения ТО:

1) в рамках ТО-10 и ТО-50:

– регулярный визуальный контроль гидроцилиндров на предмет утечки рабочей жидкости по штоку;

– ежесменная очистка поверхности штока от загрязнений (пыли) для исключения ее аккумуляирования слоем более 5 мм;

– контроль движения штока гидроцилиндра (рывки при движении указывает на нарушение состояния трущихся поверхностей штока);

2) в рамках ТО-250:

– очистка сапуна гидробака с заменой сетки;

3) в рамках ТО-500:

– замена рабочей жидкости гидросистемы с заменой фильтра.

Кроме этого, по наработке гидроцилиндром 240-320 тыс. циклов (двойных ходов) рекомендуется проведение предиктивного технического обслуживания с демонтажом гидроцилиндра и заменой его на резервный (трудоемкость 8 часов). Контроль технического состояния и замена уплотнений штока на снятом гидроцилиндре производится в цеховых условиях. Таким образом, простой экскаватора будет минимальным, так как техническое обслуживание гидроцилиндра производится в не времени рабочего цикла экскаватора.

Заключение

Существующие правила технического обслуживания на объекте не в полной мере учитывают особенности природно-климатических факторов рудника Бухадра, в связи с чем использование машин производится недостаточно эффективно.

С учетом коэффициентов жесткости климата и рельефа местности при повышенной запыленности рабочей зоны абразивной мелкодисперсной пылью следует скорректировать регламент технического обслуживания гидроцилиндров с периодичностью их замены на резервные через 240-320 тыс. циклов (двойных ходов) по причине ускоренного изнашивания в паре трения шток-уплотнения.

Рекомендуется сокращение периодичности проведения технического обслуживания элементов гидросистемы с коэффициентом 0,5 от норматива замена рабочей жидкости; замена фильтра; очистка сапуна гидробака с заменой сетки.

Список литературы

1. Булес П. Обеспечение надежности работы карьерных гидравлических экскаваторов при их эксплуатации на открытых разработках России: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: НИТУ «МИСиС», 2016. – 22 с.
2. Мосейкин В.В., Абсаров С.Х. Минеральный состав железистых кварцитов Лебединского месторождения и его взаимосвязь с процессами разрушения пород // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – №2. – С. 97-103.

3. Ministère du Travail et des affaires sociales. Contrôle de la concentration en silice cristalline dans l'atmosphère des lieux de travail. – Paris: Institut national de recherche et de sécurité, 1998. – 25 p.
4. Панфилов И.А., Антамошкин О.А., Федорова Н.В., Дерюгин Ф.Ф., Бянкин В.Е. Профилактика загрязнения воздушной среды при открытой разработке рудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 252-264. – DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_252.
5. Gadri L., Boumazbeur A., Nouioua I., Boukeloul M., Hamdane A., Mouici R., Mebrouk F., Ibrahim H. Study of fractured rock masses deformation in Boukhadra (Tebessa) underground mine empirical and numerical approach (NE Algeria) // Journal of Geology and Mining Research. 2012, vol. 4, no. 2, pp. 23-34. DOI: 10.5897/JGMR11.041.
6. Benyoucef A.A., Gadri L., Hadji R., Mebrouk F., Harkati E. Mining operations and geotechnical issues in deep hard rock mining – case of Boukhadra iron mine // Geomatics, Landmanagement and Landscape. 2022, no. 4, pp. 27-46. DOI: 10.15576/GLL/2022.4.27.
7. Otmanine A. Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tébessa-Morsott. Relation entre la paléogéographie albo-aptienne, diapirisme, structure et métallogénie: Résumé de la thèse Doctorat. – Paris: Université Pierre et Marie Curie, 1987. – 58 p.
8. Kerbati N. R. Diagnostic de la stabilité d'anciennes xploitations souterraines et utilisation du remblayage comme un support des terrains adjacents. (Cas de la mine de fer de Boukhadra): Résumé de la thèse Doctorat. – Annaba: Université Badji Mokhtar, 2021. – 30 p.
9. Lemrabet A., Tayebi A. Approche comparative de deux gisements de fer Boukhadra et Rouina: Contexte géologique et Méthodes d'exploitation: Mémoire de Master. – Bejaia: Université Abderrahmane Mira, 2015. – 86 p.
10. Aoulmi Z., Nouri Y., Abdi N. Contribution to the maintenance of T4 BH drilling machine (case of the mine of Boukhadra, Algeria) // Mining Science. 2017, vol. 24, pp. 73-83. DOI: 10.5277/msc172404.
11. Чооду О.А., Евтюков С.А. Техническая эксплуатация горных машин в условиях Республики Тыва // Успехи современной науки. – 2017. – Т. 4, № 1. – С. 60-64.
12. Слесарев Б.В., Булес П. Исследование условий и параметров экскавации мощных карьерных гидравлических экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № S1-2. – С. 42-51.
13. Шекунов А., Васильченко В. Конструктор для машиностроителей. Уплотнения штоков и поршней // Основные средства. – 2005. – № 8. – Режим доступа: <https://os1.ru/article/7158-konstruktor-dlya-mashinostroiteley-uplotneniya-shtokov-i-porshney>.
14. Anwar U., Sabir I., Sikandar B. K., Safi U. R., Shahid M., Misbah U., Rehman A., Rashid N. Maintenance system for heavy earth moving equipment // Journal of Engineering and Applied Science. 2015, vol. 34, no. 2, pp. 47-53.
15. Белоцерковский М.А., Дудан А.В., Яловик А.П. Восстановление и испытания штоков силовых гидроцилиндров // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В, Промышленность. Прикладные науки. – 2021. – № 3. – С. 42-48.
16. Абдельвахаб Агагена, Михайлов А. В. Влияние железорудной пыли на изнашивание поверхности штоков гидроцилиндров карьерного экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2023. – № 11-1. – С. 5-23. – DOI: 10.25018/02 36_1493_2023_111_0_5.

References

1. Bules P. Ensuring the reliability of the operation of quarry hydraulic excavators during their operation in open-pit mining in Russia: abstract. diss. ... cand. of tech. sc. – М.: NRTU MISIS, 2016. – 22 p.
2. Moseikin V. V., Absatarov S. Kh. Mineral composition of ferruginous quartzites of Lebedinsky deposit and its interrelation with the processes of rock destruction // Mining information and analytical bulletin. 2008, no. 2, pp. 97-103.
3. Ministère du Travail et des affaires sociales. Contrôle de la concentration en silice cristalline dans l'atmosphère des lieux de travail. – Paris: Institut national de recherche et de sécurité, 1998. – 25 p.
4. Panfilov I.A., Antamoshkin O.A., Fedorova N.V., Deryugin F.F., Byankin V.E. Prevention of air pollution during openpit mining of ore deposits // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 11-1, pp. 252-264. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_252.
5. Gadri L., Boumazbeur A., Nouioua I., Boukeloul M., Hamdane A., Mouici R., Mebrouk F., Ibrahim H. Study of fractured rock masses deformation in Boukhadra (Tebessa) underground mine empirical and numerical approach (NE Algeria) // Journal of Geology and Mining Research. 2012, vol. 4, no. 2, pp. 23-34. DOI: 10.5897/JGMR11.041.
6. Benyoucef A.A., Gadri L., Hadji R., Mebrouk F., Harkati E. Mining operations and geotechnical issues in deep hard rock mining – case of Boukhadra iron mine // Geomatics, Landmanagement and Landscape. 2022, no. 4, pp. 27-46. DOI: 10.15576/GLL/2022.4.27.
7. Otmanine A. Les minéralisations en fluorine, barytine, Pb, Zn et fer sidéritique autour du fossé de Tébessa-Morsott. Relation entre la paléogéographie albo-aptienne, diapirisme, structure et métallogénie: Résumé de la thèse Doctorat. – Paris: Université Pierre et Marie Curie, 1987. – 58 p.

8. Kerbati N. R. Diagnostic de la stabilité d'anciennes exploitations souterraines et utilisation du remblayage comme un support des terrains adjacents. (Cas de la mine de fer de Boukhadra): Résumé de la thèse Doctorat. – Annaba: Université Badji Mokhtar, 2021. – 30 p.
9. Lemrabet A., Tayebi A. Approche comparative de deux gisements de fer Boukhadra et Rouina: Contexte géologique et Méthodes d'exploitation: Mémoire de Master. – Bejaia: Université Abderrahmane Mira, 2015. – 86 p.
10. Aoulmi Z., Nouiri Y., Abdi N. Contribution to the maintenance of T4 BH drilling machine (case of the mine of Boukhadra, Algeria) // Mining Science. 2017, vol. 24, pp. 73-83. DOI: 10.5277/msc172404.
11. Choodu O.A., Evtyukov S.A. Technical operation of mining machines in the conditions of the Republic of Tyva // Successes of modern science. 2017, vol. 4, no. 1, pp. 60-64.
12. Slesarev B.V., Bules P. Study of conditions and parameters of excavation of powerful open-pit hydraulic excavators // Mining information and analytical bulletin. 2015, № S1-2, pp. 42-51.
13. Shekunov A., Vasilchenko V. Designer for machine builders. Seals of rods and pistons // Fixed assets. 2005, no. 8. – Access mode: <https://os1.ru/article/7158-konstruktor-dlya-mashinostroiteley-uplotneniya-shtokov-i-porshney>.
14. Anwar U., Sabir I., Sikandar B. K., Safi U. R., Shahid M., Misbah U., Rehman A., Rashid N. Maintenance system for heavy earth moving equipment // Journal of Engineering and Applied Science. 2015, vol. 34, no. 2, pp. 47-53.
15. Belotserkovsky M.A., Dudan A.V., Yalovik A.P. Restoration and testing of the power hydraulic cylinder rods // Bulletin of Polotsk State University. Series B, Industry. Applied Sciences. 2021, no. 3, pp. 42-48.
16. Abdelwahab Agaguena, Mikhailov A. V. Iron ore dust influence on the wear surface of quarry excavator hydraulic cylinder rods // Mining information and analytical bulletin. 2023, no. 11-1, pp. 5-23. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_111_0_5.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Агагена Абдельвахаб – аспирант	Agaguena Abdelwahab – postgraduate
Репкина Ксения Сергеевна – студент	Repkina Kseniya Sergeevna – student
Михайлов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Машиностроения	Mikhailov Aleksandr Viktorovich – doctor of technical science, professor, professor of mechanical engineering Department
s205087@stud.spmi.ru	

Получена 14.02.2024