

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ, ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ И ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА РЕСУРС КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Агагена А., Михайлов А.В., Елисеев А.С.

Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

Ключевые слова: карьерный экскаватор, механизм подъема, факторы, износ, отказ, простои, надежность, ремонт.

Аннотация. Анализируются факторы, влияющие на отказы карьерного экскаватора. Отмечены факторы, вызывающие внеплановые простои экскаваторов. В статье рассмотрен пример влияния погодно-климатических, горно-геологических и организационно-технических факторов на механизм подъема карьерного экскаватора. Было установлено незапланированное время простоя из-за отказов различных систем экскаватора – привода лебедки, привода тяги, привода поворота, привода хода, рабочего оборудования и вспомогательного оборудования. Большая часть внеплановых простоев связана с отказами привода подъема, а наименьшая – с отказами привода поворота и вспомогательного оборудования. Благодаря заблаговременному выявлению факторов, оказывающих наибольшее влияние на карьерный экскаватор, будет доступна возможность управлять жизненным циклом и улучшить стратегию по техническому обслуживанию и ремонту под реальные условия и режимы эксплуатации.

THE IMPACT OF WEATHER, CLIMATIC, MINING, GEOLOGICAL, ORGANIZATIONAL, AND TECHNICAL FACTORS ON THE RESOURCE OF A MINING EXCAVATOR

Agagurna Abdelwahab, Mikhailov A.V., Eliseev A.S.

Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg

Keywords: mining excavator, lifting mechanism, factors, wear, maintenance, repair.

Abstract. Factors influencing the failures of a quarry excavator are analyzed. The factors causing unscheduled downtime of excavators are noted. The article considers an example of influence of weather-climatic, mining-geological and organizational-technical factors on the mechanism of a quarry excavator lifting. The time of unscheduled downtime related to failures of various excavator systems - the hoist drive, the head drive, the swing drive, the travel drive, the working equipment and auxiliary equipment - has been established. It was found out that the biggest number of unscheduled downtime is connected with failures of hoist drive, the smallest - with failures of swing drive and auxiliary equipment. Thanks to early identification of the factors that have the greatest impact on the open-pit excavator, it will be possible to manage the life cycle and improve the maintenance and repair strategy under the actual conditions and modes of operation.

Введение

С ростом добычи твердых полезных ископаемых открытым способом компании стали очень сильно зависеть от производительности функционирования циклических и циклично-поточных комплексах одноковшовых карьерных экскаваторов.

С ростом грузоподъемности автосамосвалов все больше находят применение экскаваторы с объемом ковша от 20м³ [1, 2].

Карьерные экскаваторы являются основной добывающей единицей при добыче полезных ископаемых открытым способом. Современные горнодобывающие компании заинтересованы в мощных карьерных экскаваторах, и для увеличения объемов производства они начали искать в высокопроизводительных экскаваторах. Объем горных работ в этом случае пропорционален количеству экскаваторов, удельный вес которых зависит от надежности экскаваторов и количества простоев оборудования.

1. Классификация деградационных и антидеградационных процессов

На ресурс карьерных экскаваторов влияют погодно-климатические, горно-геологические и организационно-технические факторы. Срок службы любого карьерного экскаватора всегда зависит от уровня технического обслуживания, а также от соблюдения норм технической эксплуатации машин [3].

Известно, что все горные машины, в том числе карьерные экскаваторы, работают в очень суровых условиях, связанных с погодой, горными и геологическими условиями добываемых полезных ископаемых, климатом и динамический характер напряжений, возникающих при функционировании горной машины [4].

Главным процессом, влияющим на ресурс карьерного экскаватора, является взаимодействие рабочего оборудования горной машины с разрушаемым массивом [5, 6].

На ресурс экскаватора влияет значительное количество деградационных и антидеградационных процессов, каждый из которых влияет по-разному [7]. Наиболее важными из них являются: горно-геологический фактор ($K_d=1,1-1,5$), возраст оборудования ($K_d=1,02-1,9$), погодно-климатический фактор ($K_d=1,01-1,11$), фактор качества подготовки забоя ($K_d=1,02-1,21$), фактор управления экскаватором ($K_d=1,2-1,9$), организационный фактор ($K_d=1,18-1,46$), стратегия технического обслуживания ($K_d=0,89-1,13$), здесь K_d – коэффициент деградации определяется как отношение времени работы при переменной температуре к продолжительности работы. Это коэффициент влияния при номинальных значениях в нормальных условиях эксплуатации [8].

Однако своевременное техническое обслуживание и ремонт квалифицированным персоналом позволит поддерживать системы в хорошем рабочем состоянии.

2. Анализ факторов, влияющих на карьерный экскаватор типа ЭКГ-18Р

Рассмотрим влияние четырех типов простоев экскаватора ЭКГ-18Р, а именно: погодных, организационно-технологических, внеплановых и простоев на ТОиР. Общее время простоя экскаватора составляет около 20% от годового рабочего времени [9]. Структура времени простоя показана на рисунке 1. Наибольший объем простоев связан с аварийными остановками (39%), техническим обслуживанием и ремонтом (43%), организационными и технологическими остановками (17%) и остановками из-за плохих погодных условий (1%).

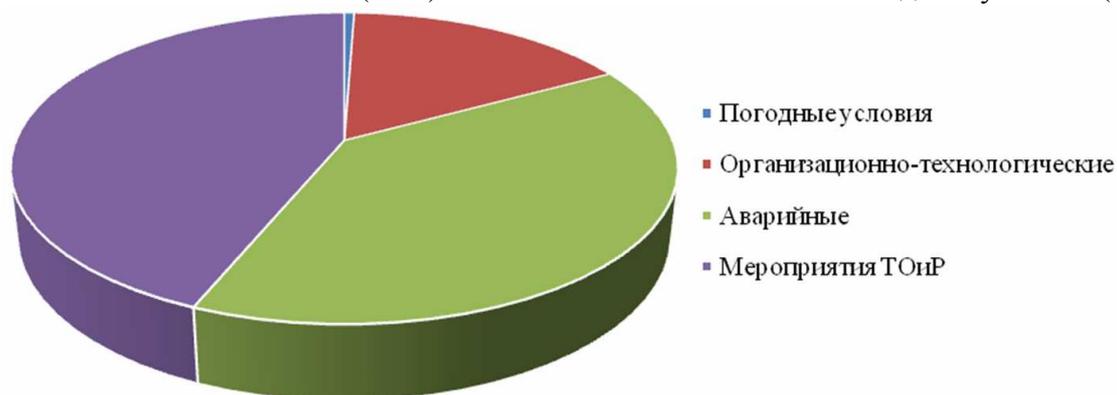


Рис. 1. Причины простоев карьерных экскаваторов

На практике доказано, что частота отказов оборудования возрастает по мере увеличения общего времени работы поверхностных экскаваторов. Это приводит к резкому увеличению времени ремонта оборудования и, соответственно, к снижению производительности экскаватора [10].

Был проанализирован вклад электрической и механической подсистем карьерных экскаваторов в суммарное количество отказов. На рисунке 2 видно, что отказы механических подсистем преобладают и составляют более 50% от их общего количества [11, 12].

Наиболее напряженным является привод подъемного механизма карьерного экскаватора. Редуктор механизма подъема является наиболее подверженным процессу износа, так как 100% рабочего времени находится под нагрузкой.

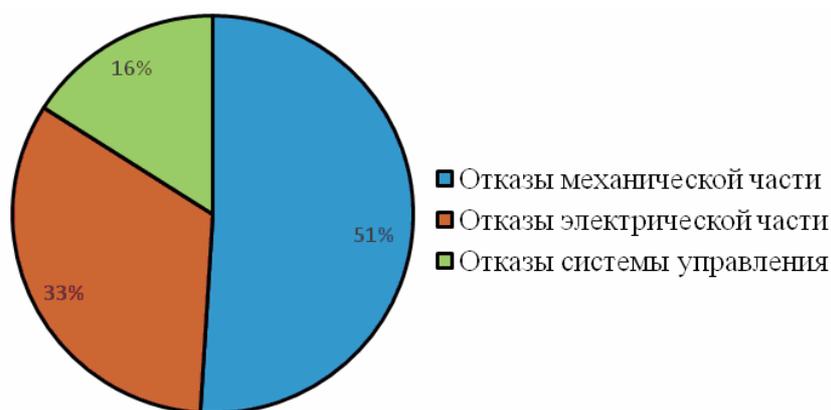


Рис. 2. Отказы оборудования экскаватора (распределение)

Во время разрушения горных пород практически всегда происходит интенсивное пылеобразование в зоне копания. Несмотря на принятые мероприятия, связанные с подавлением пыли, мелкие частички пыли проникают в смазку редуктора.

Для редукторов карьерных экскаваторов наиболее характерны следующие типы изнашивания: абразивное, адгезионное, усталостное, окислительное.

Проанализируем время простоев экскаватора ЭКГ-18Р за год. Как видно из рисунка 3, наибольшее время простоев связано с ремонтом механического оборудования, а именно 80% от общего времени. Больше время потрачено на ремонт механизма подъема и механизма хода экскаватора, 25% и 30% от времени, затраченного на ремонт механического оборудования соответственно. На ремонт механизма поворота и механизма напора потрачено 14% и 16% времени, затраченного на ремонт механического оборудования.

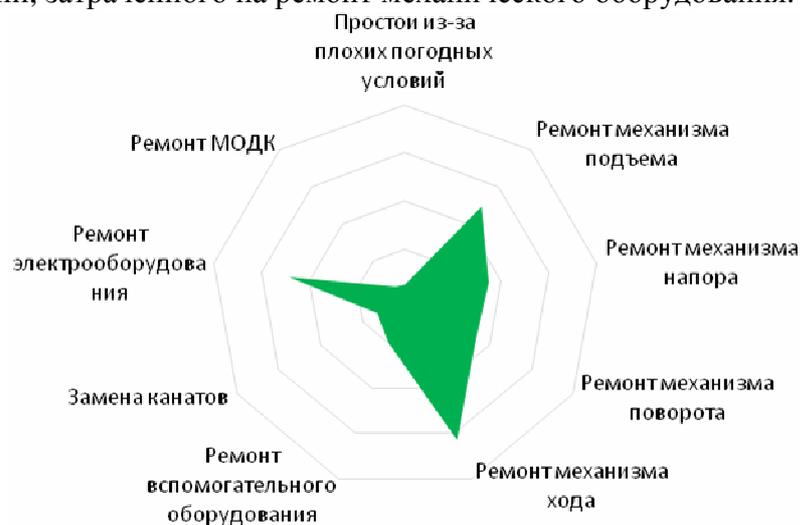


Рис. 3. Распределение времени простоев экскаватора ЭКГ-18Р за год

Для сокращения внезапных отказов целесообразно детально анализировать причины нерегламентированных остановов [13].

Успешная работа горного предприятия зависит как от технического оснащения и инновационного потенциала, так и от квалификации рабочего персонала. Квалификация машиниста карьерного экскаватора в высокой мере влияет на время цикла карьерного экскаватора и уровень эксплуатационной надежности горной машины [14].

Исходя из требований руководства по эксплуатации карьерных экскаваторов, машинист карьерного экскаватора обязан иметь опыт работы на схожем оборудовании более 5 лет.

Существует ряд методов оценки квалификации машиниста карьерного экскаватора. В работах Коха П.И. можно встретить предложение оценивать качество работы машиниста карьерного экскаватора по коэффициенту контроля, определяемому по следующей формуле [15]:

$$k_y = \frac{T_T}{T_\phi},$$

где T_T – теоретическое время цикла экскавации, с; T_ϕ – фактическое время цикла экскавации, с.

Домбровский Н.Г. выдвинул идею о том, что в качестве критерия оценки уровня квалификации машиниста карьерного экскаватора можно применить коэффициент k_m , который может быть рассчитан как отношение эксплуатационных и технических показателей работы экскаватора [16]:

$$k_M = \frac{Q_\phi}{Q_T},$$

где Q_ϕ – фактическая производительность экскаватора, м³/ч; Q_T – техническая производительность машины, м³/ч.

Критерий оценки квалификации машиниста карьерного экскаватора, принятый Домбровским Н.Г., наиболее полно характеризует работу машиниста.

Заключение

Можно отметить, что перечисленные факторы приводят к разрушению узлов карьерных экскаваторов по-разному. Наиболее сильно влияет фактор управления экскаватором.

Скорость выработки ресурса поверхностного экскаватора зависит от правильного выбора стратегии и системы технического обслуживания, адекватности нормативной базы и качества технического обслуживания, выполняемого квалифицированным персоналом. Соответствующая структура и параметры ремонтного цикла поверхностного экскаватора могут снизить интенсивность его эксплуатации и увеличить срок службы.

Ремонтный цикл должен корректироваться с учетом естественного старения экскаватора и факторов: природно-климатических, горно-геологических, качества подготовки забоя, управления экскаватором, организационного фактора, а также стратегии технического обслуживания. Воздействие как внешних условий, так и естественных процессов, протекающих при эксплуатации карьерного экскаватора, предлагается оценивать с использованием соответствующих коэффициентов деградации.

Список литературы

1. Moradi A., Askari-Nasab H. Mining fleet management systems: a review of models and algorithms // *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2017, vol. 31, no. 1, pp. 42-60. DOI: 10.1080/17480930.2017.1336607.
2. Xu X., Wang H., Zang N., Liu Z., Wang X. Review of fault Mechanism and Diagnostic Technique for the Range Extender Hybrid Electric Vehicle // *Journal of Institute of Electric Electronics Engineers*. 2017, vol. 5, pp. 14234-14244. DOI: 10.1109/Access.2017.2725298.
3. Анистратов К.Ю., Конопелько С.А. Оптимальный срок службы карьерных одноковшовых экскаваторов с электрическим приводом // *Горная Промышленность*. – 2012. – №3(103). – С. 8-9.
4. Шибанов Д.А., Иванов С.Л., Чишегов Д.А. Применение технологии «цифрового двойника» рабочего оборудования карьерного экскаватора на стадии проектирования // *Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XVIII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», проведенной в рамках Уральской горнопромышленной декады*. – Екатеринбург, 2020. – С. 266-269.
5. Анистратов К.А., Донченко Т.А., Шибанов Д.А. Раскапывая потенциал // *Мировой уголь*. – 2018. – Т. 27, №7. – Р. 45-47.
6. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л., Кувшинкин С.Ю. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2017. – №7. – С. 52-53.
7. Чишегов Д.А., Шибанов Д.А. Влияние природно-техногенных и организационно-технических факторов на процесс износа механизма поворота карьерного экскаватора // *Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых*. – 2020. – Т. 1. – С. 305-311.
8. Пумпур Е.В. Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. – 2019. – №12 (специальный выпуск 41). – С. 3-19. – DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-41-3-19.
9. Lazarević O. Determining the dynamic characteristics of hydraulic excavators // *Vojnotehnički glasnik*. 2018, vol. 66, iss. 1, pp. 41-62. DOI: 10.5937/vojtehg66-14400 (inSerbian).

10. Жариков С.Н. Совершенствование расчета производительности карьерного экскаватора // Записки Горного института. – 2018. – Т. 229. – С. 56-61. – DOI: 10.25515/pmi.2018.1.56.
11. Иванова П.В., Иванов С.Л. Анализ отказов механического оборудования карьерных экскаваторов // Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование: Тезисы докладов. – СПб.: НМСУ «Горный», 2015, С. 54-55.
12. Пашкин Л.Н. Повышение эффективности системы технического сервиса горного погрузочного оборудования в условиях ОАО «Апатит»: Автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – СПб.: СПГИ (ТУ), 2005. – 23 с.
13. Enyindah N., Amadi R. Using Diagnosis and Life Cycle Cost to Improve Reliability of an Excavator // European Journal of Engineering Research and Science. 2019, vol. 4, iss. 3, pp. 22-26. DOI: 10.24018/ejers.2019.4.3.1107.
14. Абдрахманов А.А., Сафин Г.Г., Габитов И.А., Титанов А.В., Чернухин С.А., Великанов В.С. Квалификация персонала как инструмент в повышении эффективности эксплуатации карьерных экскаваторов // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – №12-2. – С. 193-198.
15. Кох П.И. Надежность механического оборудования карьеров. – М.: Недра, 1978. – 190 с.
16. Домбровский Н.Г. Экскаваторы: общие вопросы теории, проектирования, исследования и применения. – М.: Машиностроение, 1969. – 319 с.

References

1. Moradi A., Askari-Nasab H. Mining fleet management systems: a review of models and algorithms // International Journal of Mining, Reclamation and Environment. 2017, vol. 31, no. 1, pp. 42-60. DOI: 10.1080/17480930.2017.1336607.
2. Xu X., Wang H., Zang N., Liu Z., Wang X. Review of fault Mechanism and Diagnostic Technique for the Range Extender Hybrid Electric Vehicle // Journal of Institute of Electric Electronics Engineers. 2017, vol. 5, pp. 14234-14244. DOI: 10.1109/Access.2017.2725298.
3. Anistratov K.Yu., Konopelko S.A. Optimal service life of open-pit single-bucket excavators with electric drive // Mining Industry. 2012, no. 3(103), pp. 8-9.
4. Shibanov D.A., Ivanov S.L., Chishegorov D.A. Application of "digital twin" technology of working equipment of open-pit excavator at the design stage // Technological equipment for mining and oil and gas industries: proceedings of XVIII International Scientific and Technical Conference "Readings in memory of V.R. Kubachek" held as part of the Ural Mining Week. – Ekaterinburg, 2020. – P. 266-269.
5. Anistratov K.A., Donchenko T.A., Shibanov D.A. Digging up potential // World Coal. 2018, vol. 27, no. 7, pp. 45-47.
6. Ivanova P.V., Asonov S.A., Ivanov S.L., Kuvshinkin S.Yu. Analysis of the structure and reliability of modern mining excavators // Mining Information and Analytical Bulletin. 2017, no. 7, pp. 52-53.
7. Chishegorov D.A., Shibanov D.A. Influence of natural-technogenic and organizational-technical factors on the wear process of the mechanism of a quarry excavator turning // Problems of Hydrocarbon and Ore Mineral Fields Development. 2020, vol. 1, pp. 305-311.
8. Pumpur E.V. Evaluation of influence factors on the choice of excavator maintenance strategy // Mining Information and Analytical Bulletin. 2019, no. 12 (special issue 41), pp. 3-19. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-12-41-3-19.
9. Lazarević O. Determining the dynamic characteristics of hydraulic excavators // Vojnotehničkiglasnik. 2018, vol. 66, iss. 1, pp. 41-62. DOI: 10.5937/vojtehg66-14400 (inSerbian).
10. Zharikov S.N. Improvement of the calculation of the productivity of the open-pit excavator / Journal of Mining Institute. 2018, vol. 229, pp. 56-61. DOI: 10.25515/pmi.2018.1.56.
11. Ivanova P.V., Ivanov S.L. Analysis of failures of mechanical equipment of quarry excavators // Mining in the XXI century: technology, science, education: Abstracts. – SPb.: NMSU "Gorny", 2015. – P. 54-55.
12. Pashkin L.N. Increasing the efficiency of the technical service system of mining loader equipment in the conditions of Apatite JSC: Abstract of diss. ... cand. of tech. sc. – SPb.: SPbSMI (TU), 2005. – 23 p.
13. Enyindah N., Amadi R. Using Diagnosis and Life Cycle Cost to Improve Reliability of an Excavator // European Journal of Engineering Research and Science. 2019, vol. 4, iss. 3, pp. 22-26. DOI: 10.24018/ejers.2019.4.3.1107.
14. Abdrakhmanov A.A., Safin G.G., Gabitov I.A., Titanov A.V., Chernukhin S.A., Velikanov V.S. Personnel qualification as a tool in increasing the efficiency of operation of open-pit excavators // Modern Science-Intensive Technologies. 2015, no. 12-2, pp. 193-198.
15. Kokh P.I. Reliability of mechanical equipment of quarries. – М.: Nedra, 1978. – 190 с.
16. Dombrovsky N.G. Excavators: General Questions of Theory, Design, Research and Application. – М.: Mechanical Engineering, 1969. – 319 p.

Сведения об авторах:

Information about authors:

Агагена Абдельвахаб – аспирант	Agaguena Abdelwahab – postgraduate student
Михайлов Александр Викторович – доктор технических наук, профессор кафедры машиностроения	Mikhailov Alexander Viktorovich – doctor of technical science, professor
Елисеев Андрей Сергеевич – аспирант	Eliseev Andrey Sergeevich – postgraduate student
s205087@stud.spmi.ru	

Получена 30.11.2022