

Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17>

ГРАБСКИЙ А.А.

Доктор техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой Горное дело
Российского государственного
геологоразведочного университета
им. Серго Орджоникидзе (МГРИ),
117997, г. Москва, Россия,
e-mail: grabskyaa@mgri.ru

СЕРГЕЕВ В.Ю.

Канд. техн. наук,
директор ООО «Тяжмашсервис»,
660094, г. Красноярск, Россия,
e-mail: SergeevVY@tmsmining.ru

ГРАБСКАЯ Е.П.

Канд. экон. наук,
доцент НИТУ «МИСиС»,
119049, г. Москва, Россия,
e-mail: pgmk@mail.ru

Рассмотрена проблема выбора стратегии технического обслуживания (ТО) при его проведении по классической системе, т.е. плано-предупредительными ремонтами (ППР) для поддержания должного технического состояния гидравлических экскаваторов путем анализа экономических затрат и их оптимизации. Предложен альтернативный вариант стратегии проведения ТО – организация фирменного сервисного обслуживания (ФСО) карьерных и шагающих экскаваторов силами специализированного сервисного предприятия по принципу соотношения экономических затрат и уровня технической готовности. Определены суммарные затраты на техническое обслуживание и уровень технической готовности экскаваторов разных марок по различным стратегиям за 10 лет эксплуатации. Установлено, при каких стратегиях проведение ТО гидравлических экскаваторов в различных условиях эксплуатации наиболее экономически эффективно. Показано, как правильный выбор стратегии ТО гидравлических экскаваторов влияет на эффективность технического обслуживания в зависимости от парка оборудования и условий эксплуатации.

Ключевые слова: техническое обслуживание, условия эксплуатации, карьерные экскаваторы, ремонт, уровень технической готовности, экономические затраты, сервисное обслуживание, выбор стратегии.

Для цитирования: Грабский А.А., Сергеев В.Ю., Грабская Е.П. Обоснование выбора стратегии технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов // Уголь. 2021. № 2. С. 14-17. DOI: 10.18796/0041-5790-2021-2-14-17.

ВВЕДЕНИЕ

Основу существующего парка карьерных экскаваторов РФ составляют в большинстве своем выпущенные в конце прошлого – начале нынешнего столетий механические лопаты и шагающие экскаваторы [1, 2]. В последние 15-20 лет к этому парку стали добавляться карьерные гидравлические экскаваторы зарубежного производства [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Большинство этих экскаваторов имеют значительный технический (а иногда и моральный) износ. В связи с этим вопрос оптимизации экономических затрат на поддержание должного технического состояния таких экскаваторов особенно актуален [10].

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ И РЕМОНТ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

В настоящее время техническое обслуживание (ТО) карьерных и шагающих экскаваторов проводится по классической системе плано-предупредительных ремонтов (ППР). Эта стратегия заключается в проведении через определенный промежуток времени текущих, средних и капитальных ремонтов. Поскольку реальное техническое состояние постоянно стареющего эксплуатируемого экскаваторного оборудования достаточно низкое, а периодичность проведения ремонтов не только не укорачивается, но и в большинстве случаев только увеличивается, нередко происходят внеплановые поломки и внеочередные аварийные ремонты, связанные с устранением этих поломок. В связи с высокой стоимостью заменяемых узлов и агрегатов, а также значительной трудоемкостью выполнения ремонтных работ в полевых условиях общие затраты на поддержание уровня технической готовности экскаваторов, обслуживаемых по системе ППР, довольно

значительны. При этом сам уровень технической готовности невысок по причине дополнительных простоев экскаватора, связанных с авариями, простои могут составлять от 11 до 25%, а трудоемкость ремонта карьерных экскаваторов – 25-40% от общей трудоемкости вспомогательных процессов на карьерах [2].

На рис. 1 представлен график изменения коэффициента технической готовности и суммарных затрат на проведение ТО экскаватора ЭКГ-10, обслуживаемого по системе ППР, за 10 лет эксплуатации (в ценах 2015 г.).

Очевидно, что уровень технической готовности имеет тренд к значительному уменьшению по сроку эксплуатации – после его относительного выравнивания при проведении планового ремонта (ТР – текущего; СР – среднего; КР – капитального; АР – аварийного), через некоторое время уровень снова падает.

Структура экономических затрат имеет ярко выраженный неравномерный вид, с пиковыми значениями в годы проведения плановых и аварийных ремонтов.

Альтернативный вариант проведения сервисного обслуживания – организация фирменного сервисного обслуживания (ФСО) силами специализированного сервисного предприятия. ФСО подразумевает проведение упреждающих корректирующих ремонтов каждый год. Такие ремонты планируются на основе постоянного диагностического мониторинга реального технического состояния экскаватора современными средствами неразрушающего контроля. В результате такого мониторин-

га планируются и проводятся ремонтные работы только с теми узлами, которые действительно имеют недопустимый износ. Сами ремонтные работы организуются на основе агрегатно-узлового метода, то есть создается обменный фонд готовых отреставрированных ранее в заводских условиях узлов и механизмов. Во время полевых работ производятся только демонтаж изношенного узла и монтаж на его место отреставрированного. Кроме этого, необходимые работы с базовым оборудованием экскаватора, не подлежащим транспортировке и ремонту в заводских условиях (поворотные платформы, нижние рамы и другое), проводятся непосредственно на экскаваторе современным портативным передвижным станочным оборудованием (наплавочно-расточным, токарным, сверлильным и т.п.).

На рис. 2 представлен аналогичный график изменения коэффициента технической готовности и суммарных затрат на проведение ФСО экскаватора ЭКГ-10.

Фактические затраты меньше на 15% (за 10 лет затраты при ППР – 46 млн руб.; при ФСО – 40 млн руб.) за счет устранения дополнительных затрат на аварийные ремонты и сокращения трудоемкости дорогостоящих «полевых» работ. Кривая Ктг имеет гораздо более равномерный вид, его среднее значение выше аналогичного значения при системе ППР на 0,10 (0,85 против 0,75). Это достигается в первую очередь за счет устранения причин аварийных простоев и уменьшения сроков проведения самих ремонтов [10, 11].

Техническое обслуживание крупных гидравлических экскаваторов (ГЭ) зарубежного изготовления имеет свою специфику, связанную с конструктивными особенностями экскаваторов [3, 12] и необходимостью закупки основных запасных частей у зарубежного производителя (либо у его дилеров). Как правило, вышедшие из строя узлы не подлежат ремонту, либо их полное восстановление сопоставимо по затратам со стоимостью нового узла. В связи с этим существуют следующие стратегии ТО гидравлических экскаваторов:

- нулевая или базовая;
- групповая;
- индивидуальная.

Нулевая стратегия заключается в проведении в течение всего срока эксплуатации экскаватора только самых необходимых процедур: подтяжка креплений, смазка и т.п. Профилактические замены деталей и узлов не производятся, меняются только те узлы, которые полностью износились и вышли из строя. Групповая стратегия – назначается интервал, по истечении которого заменяются все однотипные детали и узлы. Такой метод эффективен при наличии у горного предприятия большо-

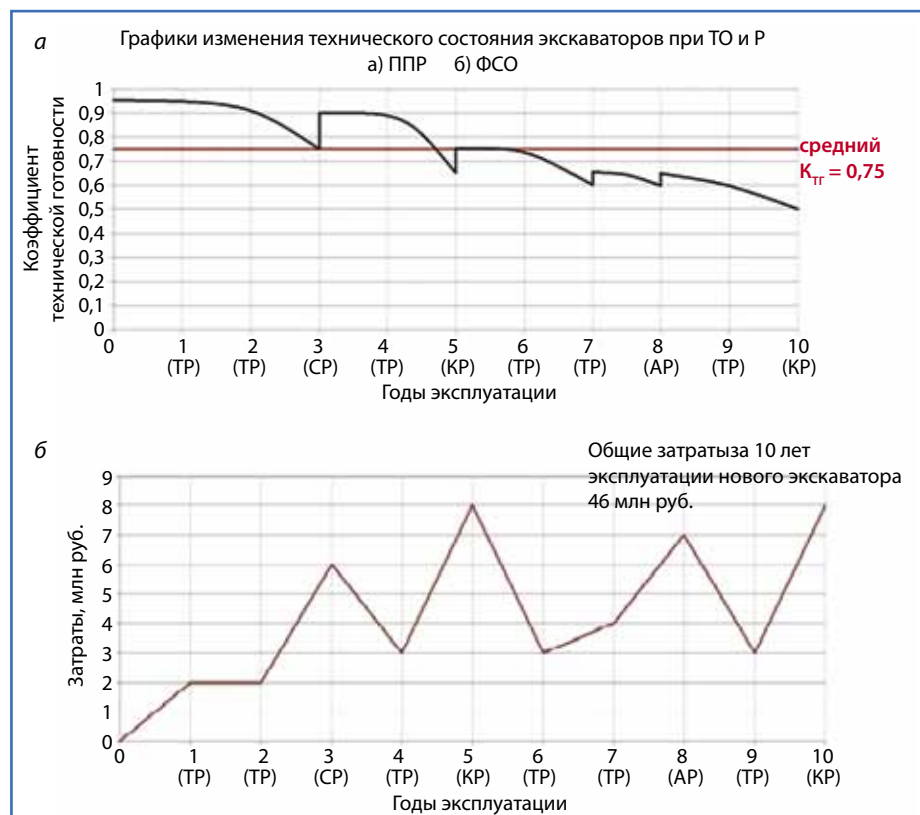


Рис. 1. График изменения коэффициента технической готовности (а) и суммарных затрат (б) на проведение ТО экскаватора ЭКГ-10, обслуживаемого по системе ППР, за 10 лет эксплуатации

Fig. 1. Schedule of changes in economic costs and level of technical readiness of the excavator EKG-10 for 10 years of operation, serviced by a system outage.

го парка однотипных машин и соответствующей базы ЗИПа. Индивидуальная стратегия подразумевает замену конкретных деталей по их наработке и используется при наличии хорошей статистической базы фактически вышедших из строя деталей (то есть «отказной» базы).

Суммарные затраты на ТО (тыс. евро), проводимое по различным стратегиям за 10 лет эксплуатации различных гидравлических экскаваторов, приведены в табл. 1.

Очевидно, что затраты при осуществлении базовой стратегии действительно меньше, так как замены узлов происходят только после их поломки. Однако такая «экономия» не совсем эффективна, поскольку за счет срока ожидания нового узла экскаватор простаивает, падает его реальная наработка, а значит, и объемы добытой горной массы. Более подробно значения технической готовности экскаваторов (К_{тг}) при различных стратегиях ТО приведены в табл. 2.

Уровень технической готовности значительно ниже при базовой стратегии (за счет гораздо больших сроков простоя в ожидании детали, узла). Техническая готовность при индивидуальной стратегии имеет наибольшие значения за счет своевременной (упреждающей) замены готового к поломке узла. Групповая стратегия имеет наиболее ровные и достаточно высокие показатели К_{тг}.

ВЫВОДЫ

Проведение ТО карьерных и шагающих экскаваторов по системе ФСО экономически эффективнее ТО по системе ППР на величину до 15%; уровень технической готовности при этом выше у системы ФСО на величину К_{тг} – 0,1.

Проведение ТО гидравлических экскаваторов эффективнее (по принципу соотношения экономических затрат и уровня технической готовности): при отсутствии необходимости их интенсивной эксплуатации – по базовой

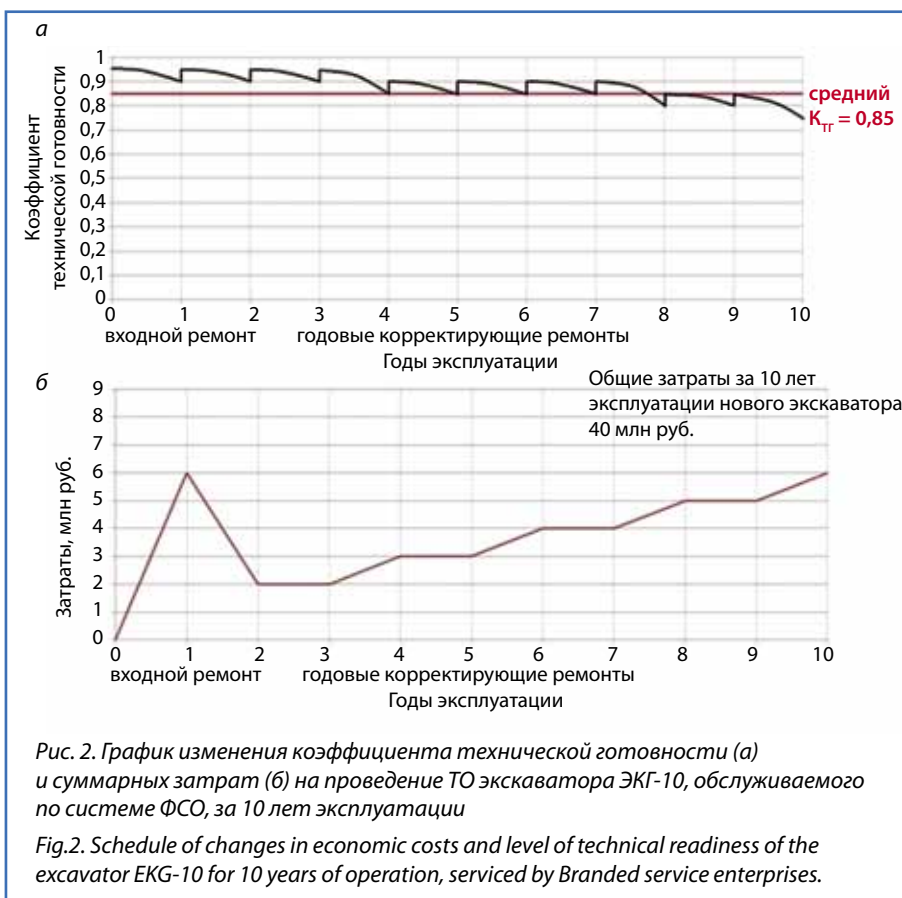


Рис. 2. График изменения коэффициента технической готовности (а) и суммарных затрат (б) на проведение ТО экскаватора ЭКГ-10, обслуживаемого по системе ФСО, за 10 лет эксплуатации

Fig.2. Schedule of changes in economic costs and level of technical readiness of the excavator EKG-10 for 10 years of operation, serviced by Branded service enterprises.

стратегии, при наличии большого парка однотипных машин – по групповой стратегии, во всех остальных случаях – по индивидуальной стратегии.

Список литературы

1. Галиева Н.В., Грабская Е.П. Современное состояние экскаваторного парка угольных разрезов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 5. С. 105-108.
2. Грабский А.А. Основы эксплуатации горных машин и оборудования. Практикум. Учебное пособие. М: МГГУ, 2009. С. 116.
3. Подэрни Р.Ю., Булес П. Эффективность применения мощных гидравлических экскаваторов – результат повышения их надежности // Горная промышленность. 2015. № 1. С. 46-51.

Таблица 1

Суммарные затраты на ТО, тыс. евро

Стратегия ТО	PC 3000E	PC 3000D	PC 5500E	PC 5500D	PC 8000E	PC 8000D
Базовая	4335	4500	7880	8200	10250	10700
Групповая	5100	5250	9240	9600	12050	12540
Индивидуальная	5500	5700	10050	10450	13250	13750

Таблица 2

Значения технической готовности экскаваторов (Ктг) при различных стратегиях их ТО

Стратегия ТО	PC 3000E	PC 3000D	PC 5500E	PC 5500D	PC 8000E	PC 8000D
Базовая	0,78	0,76	0,76	0,75	0,74	0,72
Групповая	0,88	0,86	0,85	0,84	0,83	0,81
Индивидуальная	0,95	0,93	0,93	0,92	0,92	0,91

4. Geu Flores F., Kecskemethy A., Pottker A. Workspace analysis and maximal force calculation of a face-shovel excavator using kinematical transformers / 12th IFToMM World Congress, Besancon, June 18–21. 2007. P. 6.
5. Hall A. Characterizing the operation of a large hydraulic excavator. Master Diss. School of Engineering the University of Queensland, Brisbane, Australia, 2002. P. 150.
6. Hall A.S., McAree P.R. Robust bucket position tracking for a large hydraulic excavator // *Mechanism and Machine Theory*, Elsevier. 2005. Vol. 40. P. 1-16.
7. Heusler H., Wesrermann R. Losen hydraulikbagger auch grobe seilbagger ab? // *Baumaschine und Bautechnik*. 1976. N 5. P. 243-252.
8. Fujita K., Murata H., Yamamoto H. «Pioneering» Product and market development of large electrically driven hydraulic excavators enjoying strong demand in emerging economies // *Hitachi Review*. 2009. Vol. 58. N 12. P. 251-256.
9. Fujita K., Yasuda T., Imaie K. Ultra large hydraulic excavators and dump trucks for large open-pit mines // *Hitachi Review*. 2011. Vol. 60. N 8. P. 267-271.
10. Сергеев В.Ю. Технология и экономика сервисного обслуживания как части стоимости владения горного оборудования // *Горное оборудование и электромеханика*. 2015. № 6. С. 26-29.
11. Сергеев В.Ю. Зависимость технической готовности одноковшовых экскаваторов и затрат на их техническое обслуживание от выбора тактики проведения планово-предупредительных ремонтов // *Горное оборудование и электромеханика*. 2012. № 10. С. 20-23.
12. Подэрни Р.Ю., Булес П. Экономико-вероятностная модель оценки стоимости эксплуатации, технического обслуживания и оптимального срока службы карьерного гидравлического экскаватора (КГЭ) // *Горная промышленность*. 2015. № 6. С. 52-54.

Original Paper

UDC 658.58:621.879:657.471 © A.A. Grabsky, V.Yu. Sergeev, E.P. Grabskaya, 2021
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2021, № 2, pp. 14-17
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17>

Title**RATIONALE FOR CHOOSING A STRATEGY FOR MAINTENANCE AND REPAIR OF QUARRY EXCAVATORS****Authors**Grabsky A.A.¹, Sergeev V.Yu.², Grabskaya E.P.³¹ Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, 117997, Russian Federation² "Tyazhmashservis" LLC, Krasnoyarsk, 660094, Russian Federation³ National University of Science and Technology "MISIS" (NUST "MISIS"), Moscow, 119049, Russian Federation**Authors' Information**

Grabsky A.A., Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Mining engineering, e-mail: grabskyaa@mgri.ru
Sergeev V.Yu., PhD (Engineering), Director, e-mail: SergeevVY@tmsmining.ru
Grabskaya E.P., PhD (Economic), Associate Professor, e-mail: pgmk@mail.ru

Abstract

The paper considers the problem of choosing maintenance strategies when they are carried out according to the classical system, that is, planned preventive repairs (PPR) to maintain the proper technical condition of hydraulic excavators by analyzing economic costs and optimizing them. Proposed alternative strategy for the organization of firm (corporate) service career and draglines forces specialized service enterprises, according to the correspondence principle, economic cost and level of technical readiness. Determined the total cost of maintenance and the level of technical readiness of the excavator of different brands on the various strategies over 10 years of operation. Determined under what policies maintenance of hydraulic excavators in various service conditions most cost effectively. It is shown how the correct choice of service strategy for hydraulic excavators affects the efficiency of maintenance depending on equipment and operating conditions.

Keywords

Maintenance, operating conditions, quarry excavators, repair, level of technical readiness, economic costs, maintenance, strategy selection.

References

- Galieva N.V. & Grabskyay E.P. The current state of the Park excavating coal mines. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2010, (5), pp. 105-108. (In Russ.).
- Grabsky A.A. Fundamentals of operation of mining machines and equipment. Workshop. Textbook. Moscow, MGGU Publ., 2009, pp. 116. (In Russ.).
- Poderni R.Yu. & Boulez P. Efficiency of use of powerful hydraulic excavators – the result of the increase of their reliability. *Gornaya promyshlennost'*, 2015, (1), pp. 46-51. (In Russ.).

- Geu Flores F., Kecskemethy A. & Pottker A. Workspace analysis and maximal force calculation of a face-shovel excavator using kinematical transformers / 12th IFToMM World Congress, Besancon, June 18–21, 2007, pp. 6.
- Hall A. Characterizing the operation of a large hydraulic excavator. Master Diss. School of Engineering the University of Queensland, Brisbane, Australia, 2002, pp. 150.
- Hall A.S. & McAree P.R. Robust bucket position tracking for a large hydraulic excavator. *Mechanism and Machine Theory*, Elsevier, 2005, (40), pp. 1-16.
- Heusler H. & Wesrermann R. Losen hydraulikbagger auch grobe seilbagger ab? *Baumaschine und Bautechnik*, 1976, (5), pp. 243-252.
- Fujita K., Murata H. & Yamamoto H. «Pioneering» Product and market development of large electrically driven hydraulic excavators enjoying strong demand in emerging economies. *Hitachi Review*, 2009, Vol. 58(12), pp. 251-256.
- Fujita K., Yasuda T. & Imaie K. Ultra large hydraulic excavators and dump trucks for large open-pit mines. *Hitachi Review*, 2011, Vol. 60(8), pp. 267-271.
- Sergeev V.Yu. Technology and Economics of service as part of the cost of ownership mining equipment. *Mining machinery and electromechanics*, 2015, (6), pp. 26-29. (In Russ.).
- Sergeev V.Yu. Dependence of technical readiness of the shovel excavator and the cost of their maintenance from the choice of tactics of carrying out of preventive maintenance. *Mining machinery and electromechanics*, 2012, (10), pp. 20-23. (In Russ.).
- Poderni R.Yu., Boulez P. Economic-probabilistic model of estimation of cost of operation, maintenance and optimum life career hydraulic excavator (AEG). *Gornaya promyshlennost'*, 2015, (6), pp. 52-54. (In Russ.).

For citation

Grabsky A.A., Sergeev V.Yu. & Grabskaya E.P. Rationale for choosing a strategy for maintenance and repair of quarry excavators. *Ugol'*, 2021, (2), pp. 14-17. (In Russ.). DOI: [10.18796/0041-5790-2021-2-14-17](http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2021-2-14-17).

Paper info

Received November 28, 2020

Reviewed December 23, 2020

Accepted January 12, 2021

MINING EQUIPMENT