

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ КАРЬЕРНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ В РЕАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Д.А. Шибанов¹, С.Л. Иванов², А.А. Емельянов², Е.В. Пумпур²

¹ ООО «ИЗ-КАРТЭК имени П.Г. Коробкова», Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: dan11188@yandex.ru

² Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация: Рассмотрены и проанализированы подходы к оценке работоспособности карьерных экскаваторов по коэффициенту технической готовности. Вопросу технического обслуживания и ремонта технологического оборудования на горнодобывающих предприятиях уделяется большое внимание, так как надежность парка горных машин напрямую влияет на плановые показатели предприятия по добыче горной массы. Материалы для оценки показателей работоспособности собраны в период проведенных долгосрочных экспериментальных наблюдений за эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом карьерных экскаваторов большой единичной мощности в условиях железорудного карьера. Существующие системы диспетчеризации карьеров позволяют выделить из фонда времени карьерных экскаваторов производительное время работы, время нахождения в ремонте и на техническом обслуживании, а также классифицировать иные затраты времени в случае с каждой конкретной машиной. На основе полученных статистических данных работы экскаваторов проведен анализ фактических и достигнутых затрат времени на выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонту, а также плановые показатели ремонтного подразделения ГОКа. Выявлено, что при выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту карьерных экскаваторов при существующей организации ТОиР имеется существенный потенциал для снижения ремонтных воздействий. Для повышения эффективности карьерных экскаваторов недостаточно только обновить их парк. Остро стоит вопрос о повышении надежности и долговечности горного оборудования, так как большая часть годового календарного фонда времени работы экскаваторов, задействованных на добыче полезного ископаемого, приходится на простои по причине ремонта, а затраты на техническое обслуживание и ремонт составляют существенную долю себестоимости экскавации горной массы.

Ключевые слова: показатели работоспособности, карьерный экскаватор, наработка, техническое обслуживание, ремонт, эффективность эксплуатации, коэффициент технической готовности, фонд рабочего времени, методика оценки.

Для цитирования: Шибанов Д. А., Иванов С. Л., Емельянов А. А., Пумпур Е. В. Оценка показателей работоспособности карьерных экскаваторов в реальных условиях эксплуатации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 10. – С. 86–94. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94.

Evaluation of working efficiency of open pit shovels in real operating conditions

D.A. Shibanov¹, S.L. Ivanov², A.A. Yemelyanov², E.V. Pumpur²

¹ IZ-KARTEX named after P.G. Korobkov Ltd., Saint-Petersburg, Russia, e-mail: dan1188@yandex.ru

² Saint-Petersburg Mining University, Saint-Petersburg, Russia

Abstract: The article reviews and analyzes approaches to evaluation of working efficiency of open pit shovels by the mechanical availability factor. Maintenance and repair of process equipment is given considerable attention in the mining industry since reliability of mining machines directly governs a mine production output. The data for the working efficiency evaluation were collected during the long-term experimental observations over operation, maintenance and repair of shovels of high unit capacity in the conditions of an operating open pit iron ore mine. The current dispatching control in open pit mines allows distinguishing the production time, maintenance time and repair time in the life cycle of open pit shovels, as well as enables classification of time consumptions of each specific machine. Using the received statistics on operation of shovels, the actual and achieved maintenance and repair times as well as the planned performance of the repair unit at the study mining and processing plant are analyzed. It is revealed that the current maintenance and repair management possesses an essential potential for cutting down the repair time. The fleet renewal is insufficient for efficiency enhancement of shovels in open pit mines. Improvement of reliability and durability of mining machines is a burning problem as most of the calendar year time of mining shovels fall at downtime for repair, while the maintenance and repair charges make a substantial share of rock mass excavation cost.

Key words: working efficiency indicators, open pit shovel, operating time, maintenance, repair, operating efficiency, mechanical availability factor, available machine time, evaluation procedure.

For citation: Shibanov D.A., Ivanov S.L., Yemelyanov A.A., Pumpur E.V. Evaluation of working efficiency of open pit shovels in real operating conditions. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(10):86-94. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-86-94.

Введение

Большая часть годового календарного фонда времени работы экскаваторов, задействованных на добыче полезного ископаемого, приходится на простои по причине ремонта, а затраты на техническое обслуживание и ремонт составляют существенную долю себестоимости экскавации горной массы.

Эффективность использования оборудования по критерию его работоспособности на большинстве горнодобывающих предприятий оценивается коэффициентом технической готовности ($K_{тр}$) [1, 2]. В целом $K_{тр}$ характеризует технический уровень и уровень надежности объекта, позволяя сравнивать од-

нотипное горное оборудование в рамках одного горного предприятия.

На горнодобывающих предприятиях различают плановый и фактический [3] коэффициент технической готовности, которые определяются как отношение разности календарного фонда времени планируемого периода и времени ремонтных простоев (плановое и по факту соответственно) к календарному фонду времени планируемого периода.

Понятие «коэффициент технической готовности» часто используется при оценке взаиморасчетов между Потребителем (эксплуатирующей организацией) и Изготовителем (в частном случае поставщиком) нового оборудования. При

приобретении нового оборудования Поставщик и Покупатель совместно определяют среднее значение $K_{\text{тр}}$, оговоренное в контракте, которое гарантирует Поставщик [4, 5]. Обычно в период гарантийного срока эксплуатации коэффициент технической готовности карьерных экскаваторов составляет 0,80 – 0,88. Также $K_{\text{тр}}$ используется для оценки эффективности службы технического сервиса при выводе ремонтных подразделений на аутсорсинг или в фирменный технический сервис.

Коэффициент технической готовности не регламентируется ГОСТом и носит субъективный характер, то есть методики его расчета на горнодобывающих предприятиях различаются. Так, на одних ГОКах (разрезах) работы по смене зубьев ковша и канатов в разряд технических простоев, влияющих на $K_{\text{тр}}$, не включаются, т.к. их относят к разряду технологических, в то время как на иных предприятиях данные операции учитываются при оценке данного коэффициента.

Зачастую оценить и квалифицировать простои техники затруднительно в связи с отсутствием четких объективных критериев учета отдельных категорий непроизводительного времени работы. Соответственно, необходим постоянный объективный контроль работы оборудования и хронометраж проделанной работы.

Существующие системы диспетчеризации карьеров позволяют выделить из фонда времени карьерных экскаваторов производительное время работы, время нахождения в ремонте и на техническом обслуживании, а также классифицировать иные затраты времени в отношении каждой конкретной машины. Система Modular [6, 7] используется на большинстве предприятий, ведущих разработку открытым способом. Данные о времени работы, поступающие

в эту систему, во многом зависят от «оператора», вводящего значения в систему. Применительно к экскаватору, оператором является машинист, который в процессе работы должен фиксировать все простои экскаватора посредством ввода в компьютер информации о работе оборудования в конкретный момент времени (погрузка, зачистка подошвы, отказ, ожидание автосамосвала и прочее) [8].

Методика оценки коэффициента технической готовности

Коэффициент технической готовности (1) определяется как отношение разности календарного фонда времени и фактического времени ремонтных простоев к календарному фонду времени оцениваемого периода:

$$K_{\text{тр}} = \frac{T_{\text{КФВ}} - T_{\text{Ф.РЕМ}}}{T_{\text{КФВ}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{тр}}$ – коэффициент технической готовности, $T_{\text{КФВ}}$ – календарный фонд времени; $T_{\text{Ф.РЕМ}}$ – фактическое время простоев экскаватора на ремонтах и в ожидании ремонтов.

Основным различием в методиках оценки $K_{\text{тр}}$ является определение времени на проведение ремонтных работ, а именно учет простоев, связанных с заменой расходных материалов (зубья и защиты ковша, канаты), так как они не могут быть четко регламентированы и в значительной степени зависят от условий и режимов эксплуатации горной машины.

На одном из железорудных комбинатов России (далее ГОК) проведены натурные наблюдения за работой карьерных экскаваторов большой единичной мощности. Наблюдения проводились на протяжении календарного года за двумя экскаваторами с объемом ковша 20 м³ [9, 10, 4], в данной статье эти экскаваторы обозначены как ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2.

Применяемая на ГОКе методика расчета $K_{тр}$ учитывает время на замену расходных материалов. Таким образом, при последовательном выполнении всех регламентных работ, рекомендованных заводом-изготовителем по нормативам периодичности и продолжительности, максимально достижимый $K_{тр}$ за месяц при отсутствии аварийных ремонтов не может превышать:

$$K_{тр} = \frac{T_{КФВ} - T_{Ф.РЕМ}}{T_{КФВ}} = \frac{T_{КФВ} - (TO_{СМ} + TO_{М} + TO_{ЭЛ.М} + T_{\text{подъем.к.}} + T_{\text{напор.к.}} + T_{\text{возвр.к.}} + T_{\text{зуб.}})}{T_{КФВ}} =$$

$$= \frac{720 - (0,5 \times 2 \times 30 + 1 \times 24 + 1 \times 12 + 1 \times 12 + 1 \times 12 + 0,5 \times 12 + 4 \times 4)}{720} = 0,844$$

где $TO_{СМ}$, $TO_{М}$, $TO_{ЭЛ.М}$ – время на проведение технического обслуживания сменного, месячного, электрических машин соответственно; $T_{\text{подъем.к.}}$, $T_{\text{напор.к.}}$, $T_{\text{зуб}}$ – время на проведение работ по замене подъемных канатов, напорных канатов, зубьев ковша, часов.

Периодичность замены расходных материалов (канатов, зубьев) взята по фактическому их расходу за период эксперимента, регламентная периодичность и продолжительность работ принята в соответствии с руководством по эксплуатации на данные экскаваторы.

В практике деятельности горных предприятий и сервисных компаний для сокращения времени на ТОиР отдельные виды работ совмещаются, например:

1. Ежемесячное ТО проводится во время приемки/сдачи смены или в другие организационные и технологические перерывы (при замене зубьев, канатов, ожидании автотранспорта), в том числе в обязательном порядке совмещается с другими видами работ по ТОиР.

2. Ежемесячное ТО электрической части проводят параллельно с ежемесячным техническим обслуживанием механической части.

Таким образом, $K_{тр}$ в рассматриваемом случае можно повысить до уровня:

$$K_{тр} = \frac{T_{КФВ} - T_{Ф.РЕМ}}{T_{КФВ}} = \frac{T_{КФВ} - (TO_{М} + T_{\text{подъем.к.}} + T_{\text{напор.к.}} + T_{\text{возвр.к.}} + T_{\text{зуб.}})}{T_{КФВ}} =$$

$$= \frac{720 - (1 \times 24 + 1 \times 12 + 1 \times 12 + 0,5 \times 12 + 4 \times 4)}{720} = 0,09$$

Следует отметить, что надежность и ресурс основных узлов экскаватора является ответственностью завода-изготовителя, организация ремонтов, их периодичность, продолжительность и прочие факторы – ответственность эксплуатирующего предприятия.

Анализ аварийных отказов узлов и деталей экскаваторов ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2

За время работы экскаваторов ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2 наиболее весомые простои по причине аварийного выхода из строя, как по вине завода-изготовителя (заводской брак узлов и деталей, указанные случаи за время эксперимента подтверждаются двусторонними актами), так и по ряду спорных случаев, отмечаются по следующим узлам: канаты; напорная ось; рукоять; натяжные колеса; литые детали; привод хода.

Таблица 1

Время устранения неисправностей отдельных узлов и деталей
Troubleshooting time per units and parts

Наименование узла	Среднее время устранения неисправностей, ч/мес	Доля аварийных простоев, % КФВ	Примечание
Напорные оси	27,7	3,85	Изменена конструкция. Оси находятся в неснижаемом запасе
Привод хода	10,6	1,48	Введен УЗК валов и шестерен
Рукоять	10,4	1,45	Выполнены усиления конструкции на эксплуатируемых машинах. На следующих выпущенных ЭКГ — рукоять новой конструкции. Введен дополнительный контроль (рентген, МПД)
Канаты (напор, возврат, подъем)	8,4	1,16	Изменена конструкция подвески. Даны рекомендации по использованию каната d 60,5мм
Натяжные колеса	4,1	0,57	Изменена система смазки, усилен входной контроль за качеством поставляемой бронзы
Брак литья	нет данных	0,50	Усилен входной контроль
ИТОГО	≈65	9,0	

Суммарное время на восстановление и ожидание ремонтов по указанным узлам для двух машин ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2 составило 1054 ч из 12 384 ч календарного фонда времени (КФВ). Таким образом, среднее время аварийных простоев по указанным выше узлам составляет порядка 65 ч в месяц (см. табл. 1), а средний $K_{тр}$ за указанный период составил 0,75.

По большей части случаев завод-изготовитель ведет постоянную работу по улучшению отдельных узлов и адаптации их конструкции к конкретным условиям эксплуатации машины.

Не вызывает сомнений тот факт, что работа горной техники полностью без аварийных выходов из строя невозможна [11 — 13]. В практике работы горнодобывающих предприятий РФ на неплано-вые работы по устранению аварийных отказов закладывают порядка 24 — 27 ч

в месяц, что составляет 3,3 — 3,8% КФВ. За анализируемый период аварийные ремонты вышеописанных узлов экскаваторов ЭКГ № 1 ЭКГ № 2 составили 9% КФВ. Из них большую долю (42%) занимали аварийные поломки напорной оси, причины возникновения которых являются спорными. Стоит отметить, что аварийные выходы из строя напорных осей имели место в первые полгода работы экскаваторов, для которых характерна приработка и адаптация машинистов [14, 15] к работе на новой (как по конструкции, так и по техническому оснащению) машине.

Таким образом, высокая доля аварийных простоев (9%) после внесения изменений в конструкцию экскаваторов имеет тенденцию к снижению. Планируется, что по результатам выполнения всех гарантийных работ по улучшению конструкции экскаваторов доля аварий-

Таблица 2

Сравнение средних плановых, фактических и достигнутых затрат времени на техническое обслуживание и ремонты экскаватора за период 01 января — 30 апреля
Comparison of average planned, actual and achieved times of shovel maintenance and repair over the period from January 1 to April 30

Вид ремонтных работ	Продолжительность ремонтов в месяц, ч			Отклонение фактических затрат времени от нормативных	
	факт	план ГОКа	норматив сервисной компании	время, ч	% КФВ
Ежесменное ТО (не учитывается в сумме за месяц)	нет данных	30	30	—	—
Ежемесячное ТО	61	24	24	+37	+5,1
Ежемесячное электрическое ТО	12	12	12	0	0
Работы по замене расходных материалов					
Замена зубьев	24,4	16	12	+11,5	+1,6
Замена защит	1,1	2			
Замена каната подъема	17	12	8	+9	+1,3
Замена каната напора	18	12	8	+10	+1,4
Замена каната возврата	3	6	4	-1	-0,1
ИТОГО	136	82	70	+66,5	+9,2

ных отказов будет находиться в допустимых пределах (3,3–3,8%). С учетом вышесказанного при устранении причин аварийных отказов средний $K_{тр}$ экскаваторов составит:

$$K_{тр} = 0,75 + (0,09 - 0,035) = 0,81.$$

После устранения аварийности перечисленных узлов, потенциал повышения $K_{тр}$ по фактору «завод-изготовитель» будет исчерпан. Следовательно, для достижения планового $K_{тр} = 0,85$ и выше одного устранения аварийности узлов недостаточно.

Анализ затрат времени на техническое обслуживание и ремонты экскаваторов

Нормы времени по продолжительности и трудоемкости ТОиР приведены в руководстве по эксплуатации экскаваторов. Нормы времени основаны на практическом опыте эксплуатации экс-

каваторов каждого конкретного типа-размера и подтверждаются фактически достигнутыми показателями.

На основе статистических данных работы экскаваторов ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2 в табл. 2 приведено сравнение фактических и достигнутых затрат времени на выполнение работ по ТОиР, а также плановые показатели ремонтного подразделения ГОКа.

С целью увеличения наработки зубьев ковша, сокращения времени на их замену, а также исключения случаев аварийных поломок зубьев рекомендуется использовать на экскаваторах ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2 зубья, апробированные заводом-изготовителем. В период проведения эксперимента ГОК применял зубья ковша, не соответствующие конструкторской документации, которые имеют отклонения в геометрических размерах от оригинальной конструкции.

Фактически применение подобных зубьев и приводит к увеличению времени на их замену, необходимости подгонки и регулированию посадочных размеров и, как следствие, аварийным поломкам зубьев. В результате происходит снижение $K_{\text{тр}}$.

Выводы

1. Среднее фактическое время на выполнение работ по техническому обслуживанию и ремонтам экскаваторов ЭКГ № 1 и ЭКГ № 2 составляет 136 ч в месяц против 82 ч по плану ремонтного подразделения ГОКа. В то же время сервисной компанией достигнута продолжительность ремонтных операций — 70 ч в месяц.

2. При выполнении работ по техническому обслуживанию и ремонту экскаваторов имеется потенциал для снижения времени ремонтных воздействий на 66,5 ч в месяц, что эквивалентно повышению $K_{\text{тр}}$ на 9,2 пункта.

Таким образом, при соблюдении нормативных сроков выполнения работ обеспечивается резерв времени на выполнение неплановых и аварийных работ по ремонту экскаватора.

3. При устранении аварийности и доведения продолжительности ремонтов до нормативных показателей можно достигнуть $K_{\text{тр}}$ на уровне

$$K_{\text{тр}} = 0,75 + (0,09 - 0,035) + 0,092 = 0,90.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Великанов В. С., Гуров М. Ю. Развитие научно-методологических основ совершенствования карьерных экскаваторов на базе нечетко-множественного подхода: монография. — Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2018. — 217 с.

2. Емельянов А. А., Иванов С. Л., Шибанов Д. А. К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — СВ 38. — С. 442—453.

3. Иванова П. В., Иванов С. Л., Кувшинкин С. Ю., Шибанов Д. А. Выбор рациональной системы организации технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов для заданных горнотехнических условий / Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Т. II. — СПб.: НМСУ «Горный», 2015. — С. 94—98.

4. Ганин А. Р., Донченко Т. В., Шибанов Д. А. Развитие ряда экскаваторов класса 20—25 куб. м производства ИЗ-КАРТЭКС для горной промышленности // Уголь. — 2015. — № 8. — С. 79—81.

5. Anistratov K., Donchenko T., Shibano D. Digging up potential // World Coal. 2018. Vol. 27. No 7. Pp. 45—47.

6. Трифанов М. Г., Шишляников Д. И. Средства объективного контроля, как инструмент повышения эффективности эксплуатации проходческо-очистных комбайнов калийных рудников / Инновации на транспорте и в машиностроении: сборник трудов III Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, 14–15 апреля 2015. Т. I. — СПб., 2015. — С. 106–108.

7. Brodny J., Stecula K., Tutak M. Application of the TPM strategy to analyze the effectiveness of using a set of mining machines / 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference. 2016. Pp. 65—72. DOI: 10.5593/SGEM 2016B12/S03.009.

8. Шибанов Д. А. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ-18Р/20К, для планирования технического обслуживания и ремонтов: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.06. — СПб., 2015. — 201 с.

9. Подэрни Р. Ю. Анализ современного состояния рынка поставок карьерной техники в мире // Горная промышленность. — 2013. — № 4 (110). — С. 48—54.


10. Иванов И. Ю., Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С. Интенсификация процессов экскавации горных пород // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. – 2015. – № 3. – С. 94–100.

11. Kuvshinkin S. Y., Ivanova P. V. Developing a methodology for estimation of excavation techniques for given operating conditions // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 378. Article 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012121.

12. Dindarloo S. R., Siami-Irdemoosa E., Frimpong S. Measuring the effectiveness of mining shovels // Mining Engineering, 2016. Vol. 68. No 3. Pp. 45–50.

13. Nehring M., Knights P., Kizil M. S., Hay E. A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems // International Journal of Mining Science and Technology. 2018. Vol. 28. Pp. 205–214. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.12.026.

14. Касьянов П. А., Шестаков В. С., Захаров А. А. Расчет усилий в подъемных канатах карьерного экскаватора «прямая лопата» / Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: сборник трудов XV Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург, 2017. – С. 283–286.

15. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Лукашук О. А. Оценка режимных параметров главных механизмов экскаватора «Горный» // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – № 3 (143). – С. 3–8. 

REFERENCES

1. Velikanov V. S., Gurov M. Yu. *Razvitie nauchno-metodologicheskikh osnov sovershenstvovaniya kar'ernykh ekskavatorov na baze nechetko-mnozhestvennogo podkhoda*: monografiya [Development of the scientific-methodological basis for the career excavators improvement on the basis of an indistinct – multiple approach: monograph], Magnitogorsk, Izd-vo MGTU, 2018, 217 p.

2. Emel'yanov A. A., Ivanov S. L., Shibanov D. A. To a question of the operator qualification influence estimation on the excavator technical condition. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2017. Special edition 38, pp. 442–453. [In Russ].

3. Ivanova P. V., Ivanov S. L., Kuvshinkin S. Yu., Suibanov D. A. Selection of the rational system of organization of maintenance service and repair of the quarry excavators for the given mining engineering conditions. *Innovatsii na transporte i v mashinostroenii: sbornik trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. II* [Innovations on transport and in engineering: a collection of works of III International scientific-practical conference Vol. 2], Saint-Petersburg, NMSU «Gornyy», 2015, pp. 94–98.

4. Ganin A. R., Donchenko T. V., Shibanov D. A. Development of a number of the excavators of 20–25 cubic meters class produced by IZ-KARTEX for mining industry. *Ugol'*. 2015, no 8, pp. 79–81. [In Russ].

5. Anistratov K., Donchenko T., Shibanov D. Digging up potential. *World Coal*. 2018. Vol. 27. No 7. Pp. 45–47.

6. Trifanov M. G., Shishlyannikov D. I. Objective control means as an instrument to increase the efficiency of operation of the roadheading and cleaning combines of the potash mines. *Innovatsii na transporte i v mashinostroenii: sbornik trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii*. Sankt-Peterburg, 14–15 aprelya 2015. T. I. [Innovations in transport and machine building: collection of III International scientific-practical conference. Saint-Petersburg, 14–15 April 2015. Vol. I], Saint-Petersburg, 2015, pp. 106–108. [In Russ].

7. Brodny J., Stecuta K., Tutak M. Application of the TPM strategy to analyze the effectiveness of using a set of mining machines. *16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference*. 2016. Pp. 65–72. DOI: 10.5593/SGEM 2016B12/S03.009.

8. Shibanov D. A. *Kompleksnaya otsenka faktorov, opredelyayushchikh narabotku ekskavatorov EKG-18R/20K, dlya planirovaniya tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remontov* [Compre-

hensive assessment of factors that determine the operating time of EKG-18R/20K excavators for planning maintenance and repairs], Candidate's thesis, Saint-Petersburg, 2015, 201 p.

9. Poderni R. Yu. Analysis of the state-of the art of the surface mine machinery world market. *Gornaya promyshlennost'*. 2013, no 4 (110), pp. 48 – 54. [In Russ].

10. Ivanov I. Yu., Komissarov A. P., Lagunova Yu. A., Shestakov V. S. Intensification of the rock excavation processes. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Gornyy zhurnal*. 2015, no 3, pp. 94 – 100. [In Russ].

11. Kuvshinkin S. Y., Ivanova P. V. Developing a methodology for estimation of excavation techniques for given operating conditions. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 378. Article 012121. DOI: 10.1088/1755-1315/378/1/012121.

12. Dindarloo S. R., Siami-Irdemoosa E., Frimpong S. Measuring the effectiveness of mining shovels. *Mining Engineering*. 2016. Vol. 68. No 3. Pp. 45 – 50.

13. Nehring M., Knights P., Kizil M. S., Haÿ E. A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. Vol. 28. Pp. 205 – 214. DOI: 10.1016/j.ijmst.2017.12.026.

14. Kas'yanov P. A., Shestakov V. S., Zakharov A. A. Calculation of the efforts in the hoisting ropes of the excavator «straight shovel». *Tekhnologicheskoe oborudovanie dlya gornoy i neftegazovoy promyshlennosti: sbornik trudov XV Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Technological equipment for mining and oil and gas industry collection of works of XV International scientific and technical conference], Yekaterinburg, 2017, pp. 283 – 286. [In Russ].

15. Komissarov A. P., Lagunova Yu. A., Shestakov V. S., Lukashuk O. A. Estimation of the mode parameters of the main mechanisms of an excavator «Gornyy». *Gornoe oborudovanie i elektromekhanika*. 2019, no 3 (143), pp. 3 – 8. [In Russ].

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Шибанов Даниил Александрович – канд. техн. наук, менеджер продукта, ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», e-mail: dan11l88@yandex.ru,

Иванов Сергей Леонидович¹ – д-р техн. наук, профессор, e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru,

Емельянов Андрей Алексеевич¹ – аспирант,

Пумпур Евгений Викторович¹ – аспирант,

¹ Санкт-Петербургский горный университет.

Для контактов: Шибанов Д.А., e-mail: dan11l88@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

D.A. Shibanov, Cand. Sci. (Eng.), Product Manager, IZ-KARTEX named after P.G. Korobkov Ltd., 196650, Saint-Petersburg, Russia, e-mail: dan11l88@yandex.ru,

S.L. Ivanov¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor,

e-mail: Ivanov_SL@pers.spmi.ru,

A.A. Yemelyanov¹, Graduate Student,

E. V. Pumpur¹, Graduate Student,

¹ Saint-Petersburg Mining University, 199106, Saint-Petersburg, Russia.

Corresponding author: D.A. Shibanov, e-mail: dan11l88@yandex.ru.

Получена редакцией 15.01.2020; получена после рецензии 25.06.2020; принята к печати 20.09.2020.

Received by the editors 15.01.2020; received after the review 25.06.2020; accepted for printing 20.09.2020.