

Рубрика 2. НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ РАЗРАБОТКИ
Направление – Электротехника

УДК [UDC] 621.879:622.2
DOI 10.17816/transsyst20206425-44

© **В. В. Москвичев¹, М. А. Ковалев²**

¹Красноярский филиал

Федерального исследовательского центра
информационных и вычислительных технологий
(Красноярск, Россия)

²ООО «УК «Сибантрацит»
(Новосибирск, Россия)

ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ КАРЬЕРНЫХ КАНАТНЫХ ЭКСКАВАТОРОВ

Аннотация. Стремительно развивающаяся тенденция снижения цен на уголь на мировом рынке, которая наблюдается в 2019–2020 гг., в совокупности с более медленными темпами снижения операционных затрат на производство будет вынуждать производителей угля поддерживать и повышать надежность работы эксплуатируемого карьерного парка оборудования для получения максимальной наработки при минимальных затратах на экскавацию горной массы. Поддержание и повышение надежности работы горновыемочного оборудования достижимо в том числе за счет проведения исследований эксплуатационной надежности основных групп оборудования и их компонентов с целью минимизации количества незапланированных простоев и поддержания оборудования в работоспособном состоянии.

В статье представлены результаты исследования эксплуатационной надежности основных групп оборудования и их компонентов канатных карьерных экскаваторов в условиях угольного разреза «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» за 2017–2019 гг. По результатам исследования проведено рейтинговое ранжирование групп оборудования экскаваторов марки ЭКГ-10 по надежности. Установлено, что наиболее высокую наработку на отказ среди анализируемого парка экскаваторов имеет группа оборудования «система смазки», а самую низкую наработку на отказ – группа «механическое оборудование».

Сделан вывод о текущем уровне надежности по основным группам оборудования экскаваторов и определены компоненты оборудования, требующие повышения эксплуатационной надежности. Разработаны рекомендации по поддержанию и повышению уровня надежности горновыемочного оборудования в условиях эксплуатации на разрезе «Колыванский».

Ключевые слова: канатные карьерные экскаваторы, ЭКГ-10, надежность экскаваторов, наработка на отказ, среднее время восстановления, рейтинг надежности.

Rubric 2. SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENTS

Field –Electrical Engineering

© Vladimir V. Moskvichev¹, Maksim A. Kovalev²

¹ Krasnoyarsk Branch Federal Research Center

Information and Computing Technologies

(Krasnoyarsk, Russia)

² LLC “MC “Sibanthracite”

(Novosibirsk, Russia)

ASSESSMENT OF OPERATIONAL RELIABILITY INDICATORS OF PIT ROPE-OPERATED EXCAVATORS

***Annotation.** The results of the study of operation reliability indicators of rope-operated excavators for 2017–2019 in the conditions of the Kolyvansky coal mine of Siberian Anthracite JSC are presented. The analysis of changes in reliability indicators of the main groups of equipment is performed. The conclusion is made about the current level of reliability for the main groups of excavator equipment and the components of the equipment that require increasing operational reliability are identified. The rating of reliability among rope-operated excavators used in the conditions of the Kolyvansky coal mine has been compiled. Recommendations have been developed to maintain and improve the reliability of the main groups of equipment and they components for rope-operated excavators in operating conditions at the Kolyvansky coal mine.*

***Keywords:** mining equipment, rope excavators, excavator reliability, time to failure, average recovery time, excavator reliability rating.*

ВВЕДЕНИЕ

В июне 2020 г. Правительство РФ утвердило Программу развития угольной промышленности России на период до 2035 г. По итогам реализации данной программы ожидается, что объемы добычи угля будут варьироваться в диапазоне от 485 млн т до 668 млн т в 2035 г. в зависимости от спроса на внутреннем и внешнем рынках угля. Доля открытой добычи угля предполагается на момент окончания программы на уровне 80–83 % или 390–554 млн т, при среднегодовой мощности разреза 4 млн т [1].

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики в 2019 г. в России объем добычи бурого и каменного угля составил 439,2 млн т, из которых открытым способом 334,2 млн т, при этом степень износа основных фондов предприятий по добыче полезных ископаемых на начало 2019 г. составила по группам: «машины и оборудование» – 64,6 %, «транспортные средства» – 60,4 % [2]. Стоящие перед угольной отраслью задачи по увеличению среднегодовой производственной мощности угольных разрезов с 2,5 до 4 млн т или в 1,6 раза с одновременным

увеличением производительности труда могут быть достигнуты как за счет введения в эксплуатацию нового более производительного оборудования, которым являются экскаваторы большей единичной мощности, так и за счет повышения надежности работы эксплуатируемого парка карьерных экскаваторов.

В 2019 г. по сравнению с предыдущими годами отмечено значительное снижение цен на уголь на мировом рынке (на 10–40 % в разные периоды в течение года) [3]. Данная тенденция снижения цен на уголь в совокупности с более медленной тенденцией снижения операционных затрат на производство не позволит угольным компаниям в ближайшее время осуществить реновацию парка горнодобывающей техники. Угольные компании будут вынуждены поддерживать и повышать надежность работы эксплуатируемого карьерного парка оборудования для получения максимальной наработки при минимальных затратах на экскавацию горной массы. В тоже время ежегодный рост эксплуатационных затрат наряду со снижением наработки экскаватора и его остаточного ресурса ведут к неэффективному использованию ресурсов угледобывающих предприятий. Для достижения поставленных целей необходимо проводить оценку условий эксплуатации парка горновыемочного оборудования и минимизировать количество незапланированных простоев, которые могут достигать до 35 % фонда рабочего времени карьерных экскаваторов [4].

На надежность работы канатных карьерных экскаваторов оказывают влияние геология месторождения, температура окружающей среды, нагруженность, технология разработки, качество проведения буровзрывных работ, подготовки забоя, уровень квалификации машиниста. Указанные факторы приводят к изменению технического состояния систем и компонентов систем экскаваторов (механической, электрической, металлоконструкций и пр.), что является основными причинами простоя экскаваторов [4, 5, 6, 7]. Анализ показателей наработки позволяет выявить наименее надежные системы экскаватора и разработать мероприятия по повышению их производительности.

С целью повышения эффективности использования экскаваторного парка на разрезе «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» (Искитимский район, Новосибирская область) проанализирована работа канатных карьерных экскаваторов (ККЭ) ЭКГ-10 производства дочерних предприятий ОАО «ОМЗ» (Объединённые машиностроительные заводы) (Табл. 1) за период 2017–2019 гг. и исследованы показатели эксплуатационной надежности: среднее время между отказами – МТБФ, час., среднее время восстановления системы после отказа – МТТР, час., коэффициент готовности – кг; вероятность безотказной работы – $P(t)$ в соответствии с [8, 9].

Таблица 1. Основные технические параметры ККЭ на разрезе «Колыванский»

Параметры	ЭКГ-10
Исходный объем ковша, м ³	10
Средняя наработка на 01.01.20 г., м/ч	23 677
Год ввода в эксплуатацию	2008-2014
Эксплуатационная масса, т	442
Давление на грунт, кПа	204
Расчетная продолжительность цикла на угол 900, с	26
Количество эксплуатируемых экскаваторов, ед.	5

СТРУКТУРА ПРОСТОЕВ ОСНОВНЫХ ГРУПП ОБОРУДОВАНИЯ ПАРКА ККЭ

В статистику отказов оборудования парка ККЭ включены простои следующих основных групп: механическое оборудование, электрическое оборудование, система смазки, а также простои по причинам, оказывающим влияние на восстановление и время нахождения экскаватора в работе. К ним относятся ожидание ремонта – «ожидание ремонта в сервисе», «отсутствие ремонтной бригады», «отсутствие запасных частей» и внешние причины – «отключение внешнего электроснабжения», «климатические условия», «остановка контролирующими органами».

Как видно из Табл. 2 и Рис. 1, основные группы отказов экскаваторов составляют отказы механической (54,8 %) и электрической (17,5 %) систем, что подтверждает выводы, полученные в [6].

Таблица 2. Структура простоев ККЭ в разрезе основных групп оборудования за 2017–2019 гг.

№	Категория отказа по группе оборудования	ЭКГ-10
1	Механическое (МО)	54,8 %
2	Электрическое (ЭО)	17,5 %
3	Система смазки (СС)	0,5 %
4	Ожидание ремонта (ОР)	9,3 %
5	Внешние причины (ВП)	17,9 %

Высокий уровень простоев по группе «ожидание ремонта» обусловлен непроведением ремонтов в ночную смену и отсутствием запасных частей. По группе «внешние причины» наибольшее количество простоев получено в связи с отсутствием электрической энергии внутри участка или от подстанции.

Исследованием показателей надежности основных систем канатных карьерных экскаваторов и повышением их производительности занимались как российские, так и иностранные авторы. Результаты анализа отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов

приведены в работе [10], результаты комплексной оценки факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства ИЗ-КАРТЭКС представлены в [5], причины и характер хрупких разрушений металлоконструкций экскаваторов ЭКГ-10 рассматривались в [11], закономерности изменения наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования анализировались в [12], исследования напряженного состояния сочлененной стрелы карьерного экскаватора ЭКГ-15 представлены в [13], опыт применения канатных экскаваторов на карьере Мурунтау Навоийского ГМК отражен в [14]. В работах зарубежных авторов рассматривались причины разрушения конструкции ковшового колесного экскаватора [15], отказы рабочего оборудования ковшового экскаватора ERS 1250 Gacko в [16], результаты испытаний и анализа сложных динамических нагрузок, выполненных на ковшовом экскаваторе SchRs 650/5 × 24 Krup в [17].

Обобщая результаты проведенных исследований следует отметить, что повышение общего уровня эксплуатационной надежности ККЭ может быть достигнуто за счет обеспечения безотказной работы всех его компонентов основных систем.

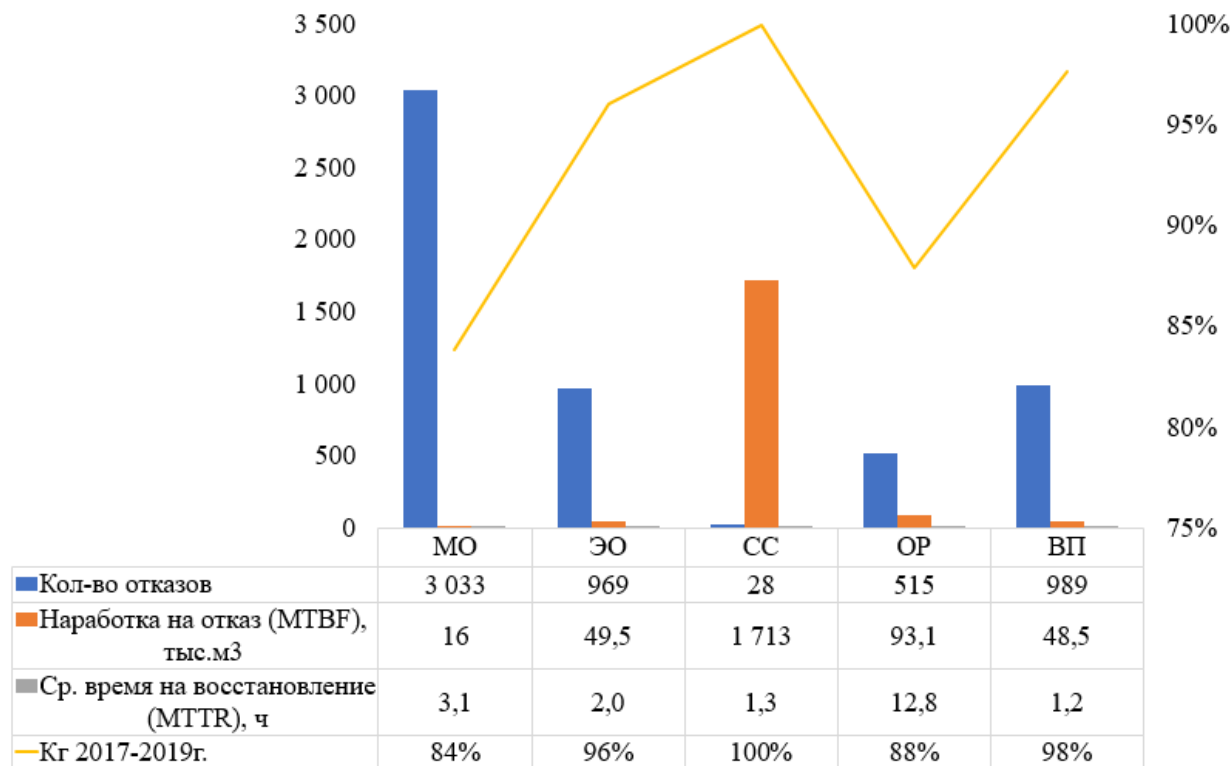


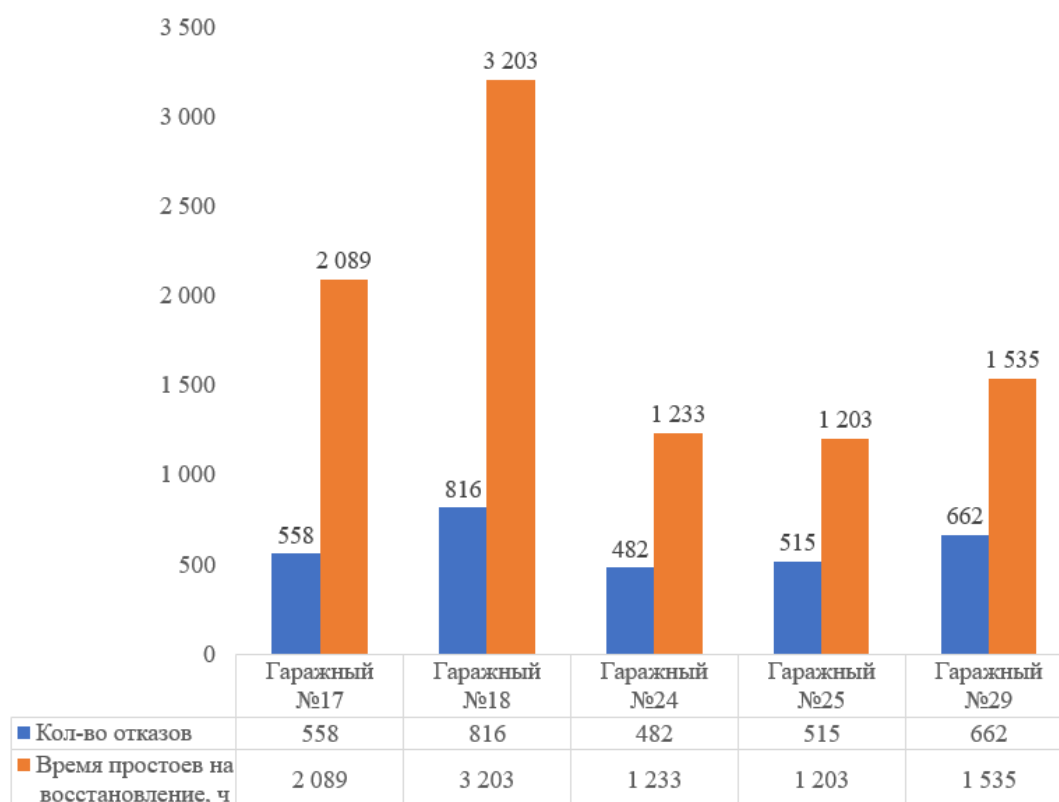
Рис. 1. Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по основным группам и показателям их оценки: MTBF, MTTR

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

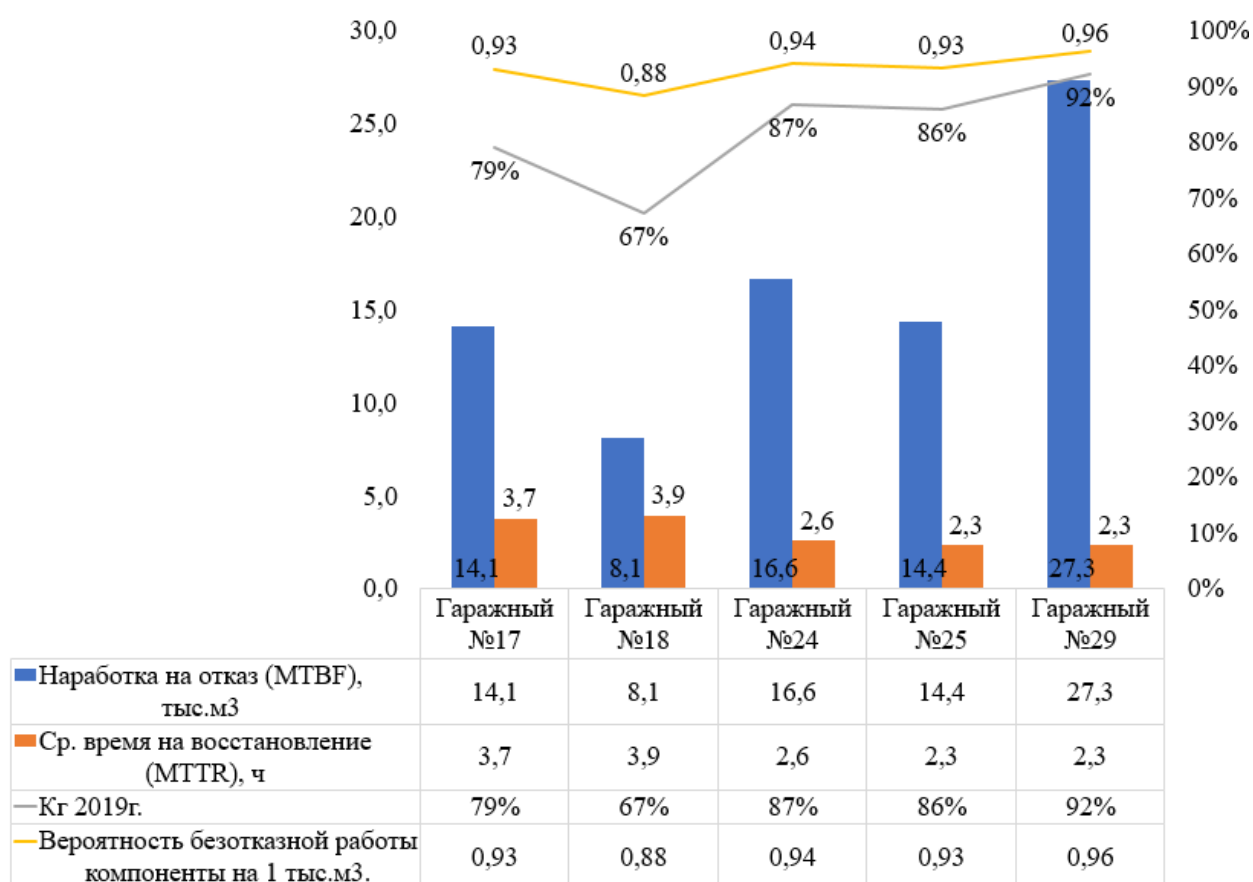
По категории «механическое оборудование» у экскаваторов ЭКГ-10 отмечено суммарное количество отказов 3033 общей продолжительностью 9 263 часа, средняя наработка на отказ МТВФ составила 15,81 тыс м³, среднее время восстановления МТТР – 3,1 часа, коэффициент готовности МО составил 84 %, вероятность безотказной работы компонентов системы МО – 0,94 на 1 тыс. м³ выемки горной массы (100 ковшей) (Рис. 2).

Наибольшая наработка на отказ наблюдается по экскаватору с гаражным номером № 29 – 27 тыс. м³, среднее время на восстановление 2,3 часа, наименьшая, по экскаватору № 18 – 8,1 тыс. м³, среднее время на восстановление 3,9 часа.

Наработка на отказ по группе «механическое оборудование» пяти экскаваторов в среднем, оказалась самой низкой из всех групп основного оборудования и составила 12,5 тыс. м³. Доля простоев для восстановления работоспособности механического оборудования составляет 54,8 %. На Рис. 3 представлено распределение уровня надежности среди наиболее весомых компонентов группы «механическое оборудование», удельный вес которых в структуре простоев составил – 78 %. По столбцу итогов приведена информация о простоях по всем компонентам группы МО за 2017–2019 гг.



а)



б)

Рис. 2. Структура unplanned простоев вследствие аварийности по группе МО (а). Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе МО и показателям их оценки: MTBF, MTTR (б)

Наименее надежными узлами группы «механическое оборудование» экскаваторов ЭКГ-10 являются:

- «рабочее оборудование»¹: 1 331 простой (или 44 % от простоев по группе МО) обусловлены следующими отказами: 964 простоя со средним временем на восстановление 0,74 ч – повреждение механизма открывания днища ковша, 86 простоев со средним временем на восстановление 4,2 ч – повреждения металлоконструкций ковша, 131 простой со средним временем на восстановление 6,1 ч – ремонт седлового подшипника, 103 простоя со средним временем на восстановление 0,83 ч – замена зубьев ковша. Наибольшее количество повреждений по подгруппе «рабочее оборудование» зафиксировано по экскаватору № 18 – 326 отказов, наработка на отказ – 20,2 тыс. м³, среднее время на восстановление – 2,4 ч;

¹ В данную подгруппу отнесены простои, обусловленные повреждением основных компонентов рабочего органа: ковш (корпус, днище, зубья, подвеска), рукоять, стрела, седловой подшипник, головные блоки, подвеска стрелы, механизм открывания днища.

- «механизм подъема»²: 547 простоев (или 18 % от простоев по группе МО) в основном обусловлены отказами: 444 простоя со средним временем на восстановление 0,75 ч – замена упругой муфты подъемной лебедки, 35 простоев со средним временем на восстановление 8,4 ч – ремонт/замена двигателя подъема, 68 простоев со средним временем на восстановление 13,4 ч – ремонт/замена редуктора электродвигателя подъемной лебедки. По компоненте «упругая муфта» зафиксировано 81 % простоев по подгруппе «механизм подъема», общей продолжительностью 332,2 ч, наработкой на отказ 108 тыс. м³. Самую низкую наработку «упругая муфта» имеет у экскаватора № 18 – 46,08 тыс. м³, при среднем времени восстановления 0,79 ч;

- «неопределенные простои»: 582 простоя (или 19 % от простоев по группе МО) согласно оперативной отчетности диспетчерской службы разреза «Колыванский» включают в себя: 37 простоев со средним временем на восстановление 6,3 ч – аварийные ремонты (не содержат расшифровки), 545 простоев со средним временем на восстановление 2 ч – прочие механические ремонты (не содержат расшифровки). К данной подгруппе могут относиться любые поломки из выделенных выше подгрупп, что не позволяет однозначно интерпретировать эксплуатационную надежность звеньев системы МО.

Отдельного стоит отметить группу отказов по причине поломок металлоконструкций экскаваторов (рама). По данной группе зафиксировано 100 отказов общей продолжительностью 1 442,74 ч, наработкой на отказ 298,61 тыс. м³ и средним временем восстановления 14,43 ч. Самая низкая наработка по раме выявлена у экскаватора № 18 – 108,3 тыс. м³, при среднем времени восстановления 13,97 ч. При этом по результатам анализа диспетчерской отчетности и Журналов учета неисправностей при эксплуатации ЭКГ-10 не удалось установить истинные причины отказов по раме экскаваторов, так как мелкие отказы в данных журналах не фиксируются. Отметки делаются только при замене дорогостоящих запасных частей и комплектующих, учет наработки между отказами также не ведется.

Общее количество отказов в разрезе компонент группы МО и парка экскаваторов приведены на Рис. 4, удельный вес компонент в структуре отказов по группе МО на Рис. 5.

² В данную подгруппу отнесены простои, обусловленные отказом двигателей и редукторов подъема, упругой муфты.

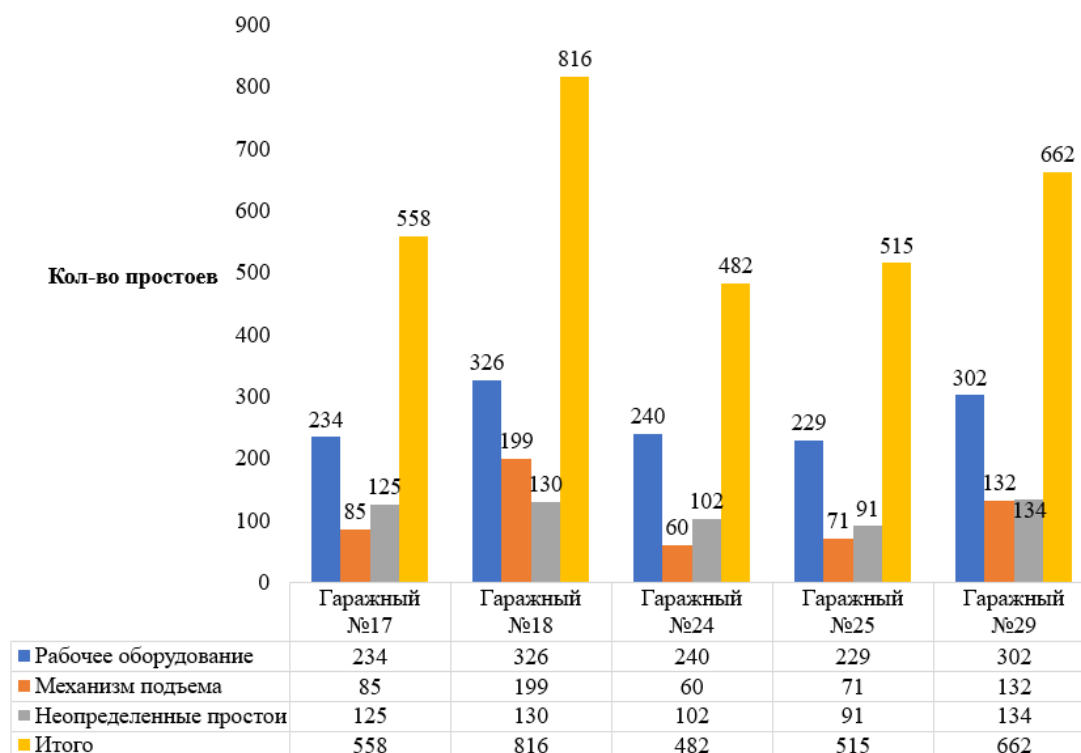


Рис. 3. Гистограмма распределения отказов наиболее весомых компонентов группы МО ЭКГ-10

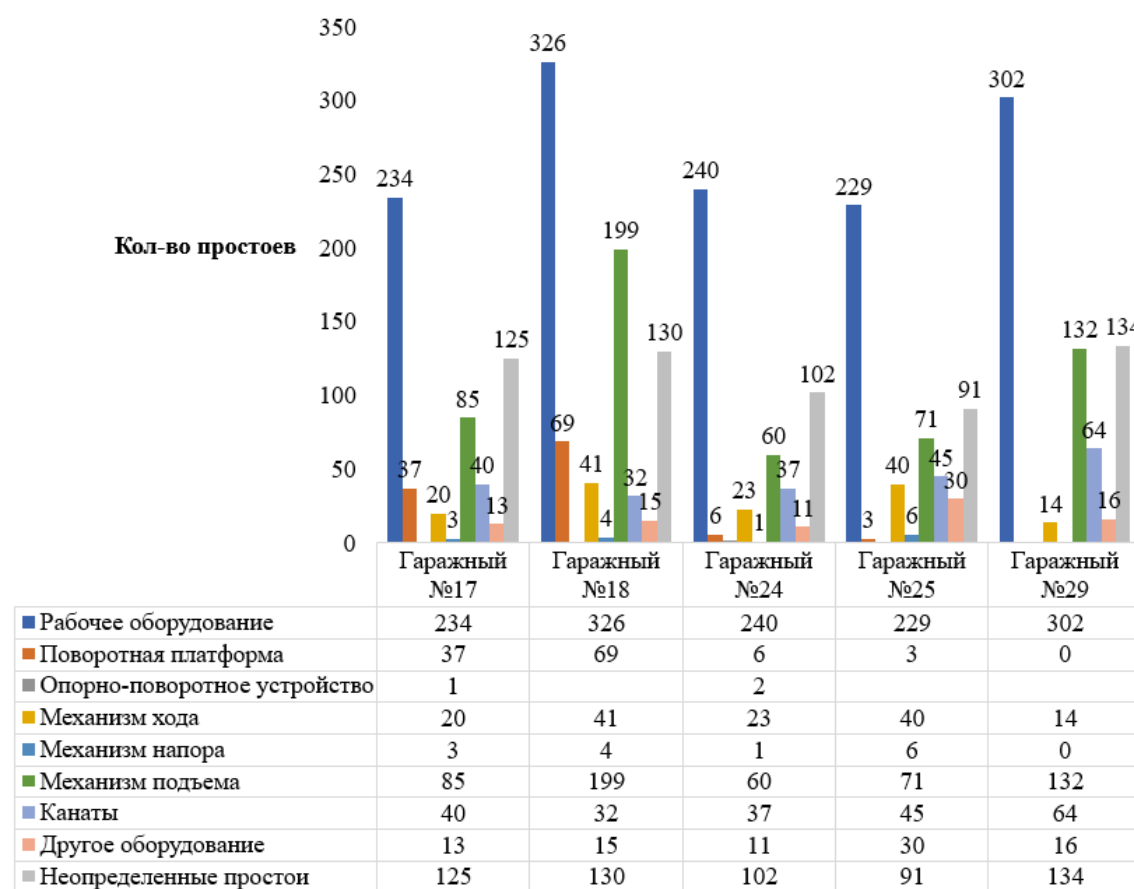


Рис. 4. Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе МО

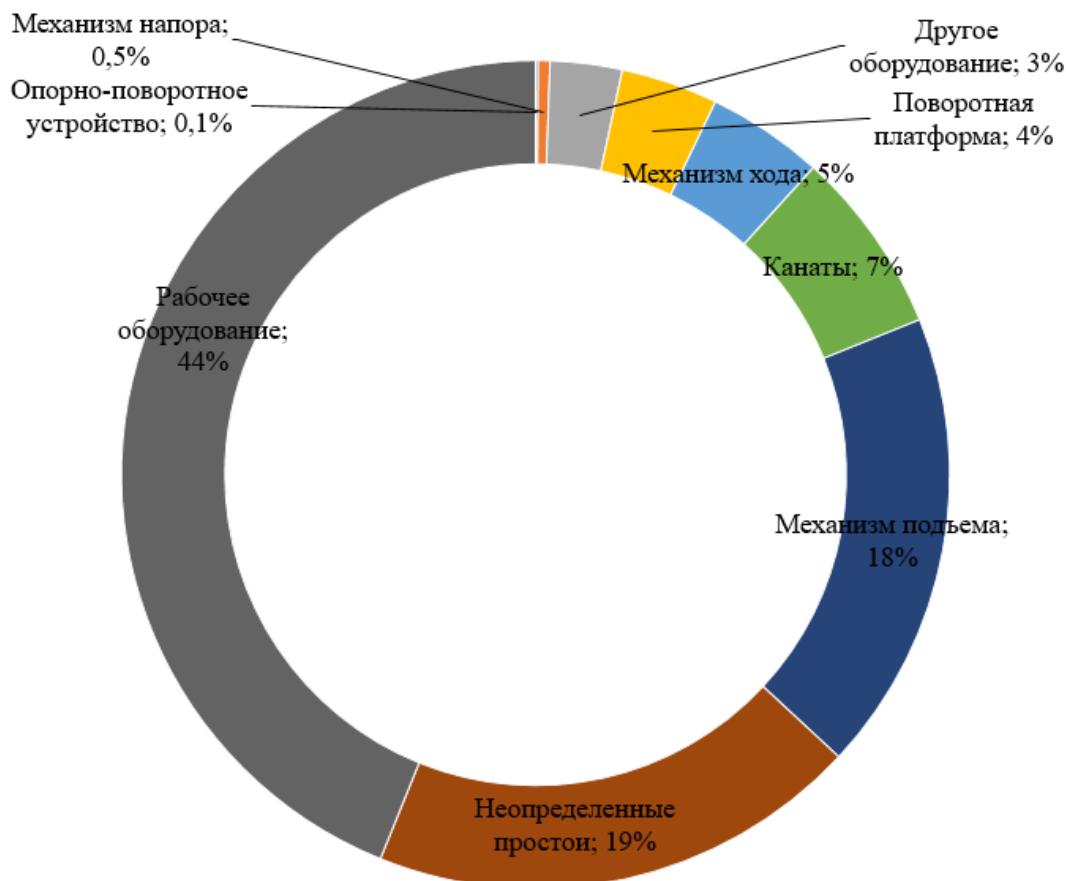


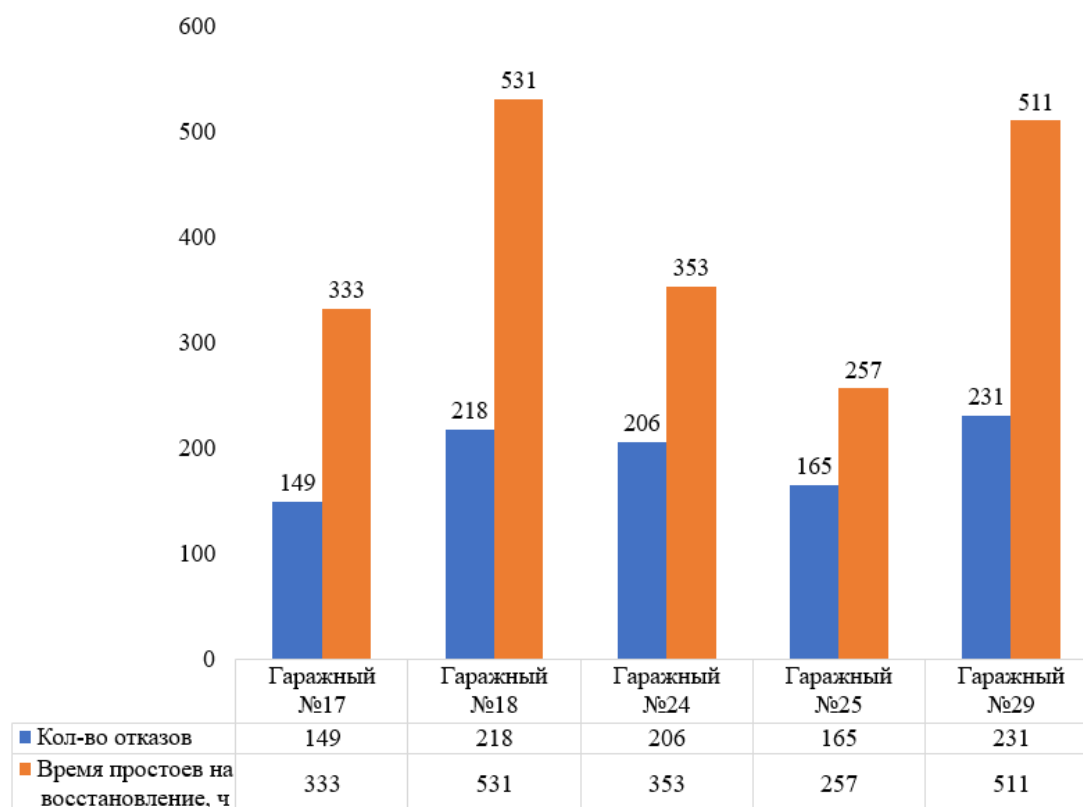
Рис. 5. Удельный вес компонент в структуре отказов по группе МО ЭКГ-10

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

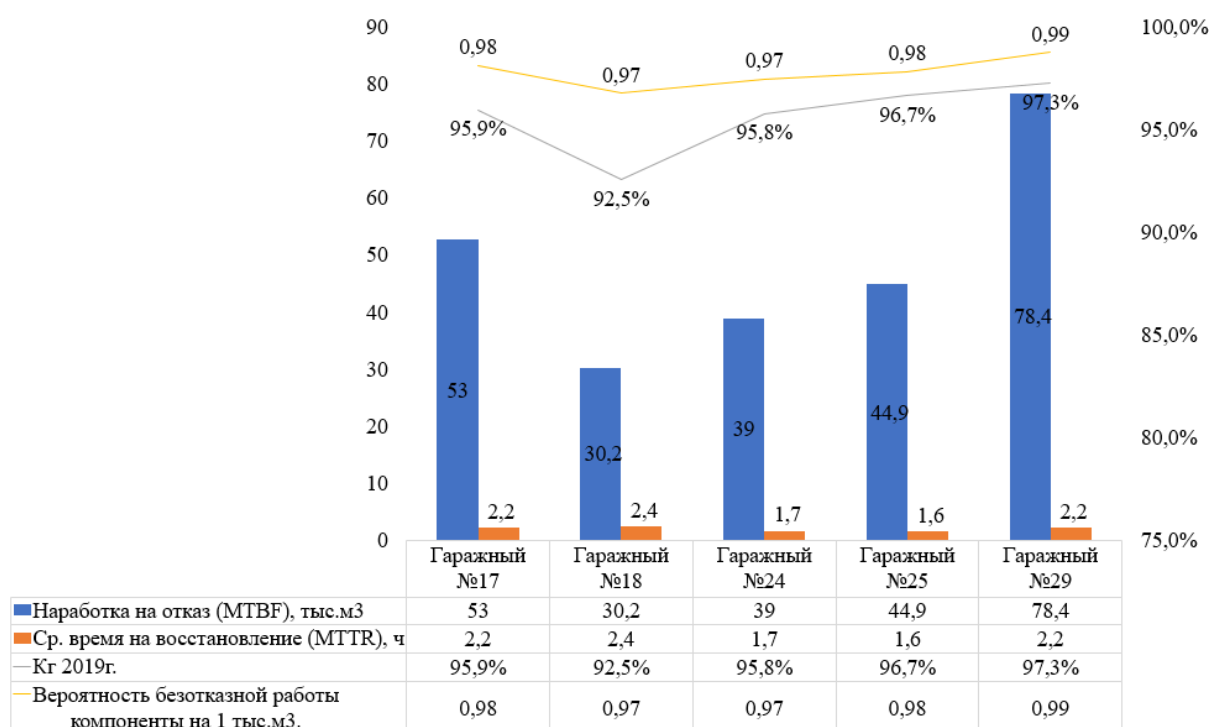
По категории «электрическое оборудование» (Рис. 6) у экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 969 общей продолжительностью 1 984 часа, средняя наработка на отказ МТБФ составила 49,5 тыс. м³, среднее время восстановления МТТР – 2 часа, коэффициент готовности ЭО составил 96 %, вероятность безотказной работы компонентов системы МО – 0,98 на 1 тыс. м³ выемки горной массы.

Наибольшая наработка на отказ наблюдается по экскаватору с гаражным номером № 29 – 78 тыс. м³, среднее время на восстановление 2,2 ч, наименьшая наблюдается у экскаватора № 18 – 30 тыс. м³, среднее время на восстановление 2,4 ч.

Нарработка на отказ по группе «электрическое оборудование» пяти экскаваторов составила 49,5 тыс. м³. В целом по группе экскаваторов доля простоев для восстановления работоспособности электрооборудования составляет 17,5 %.



а)



б)

Рис. 6. Структура unplanned downtime due to reliability by group of power plant (a). Histogram of the distribution of excavator breakdowns by group of power plant and indicators of their assessment: MTBF, MTTR (b)

Перечень работ по восстановлению работоспособности электрооборудования сводился к диагностике, ремонту и наладке электросистемы, заменам различных элементов электроаппаратуры, например, датчиков, реле, проводов, электродвигателей, генераторов и другого оборудования. Следует обратить внимание, что в категории «электрическое оборудование» имеются простои, которые отнесены к подгруппе «неопределенные простои» и их доля в структуре простоев группы составляет 14 % или 137 простоев. «Неопределенные» простои не позволяют правильно интерпретировать надежность компонентов системы электрического оборудования, так как в эту группу могут быть включены простои по замене различных компонентов электросистемы. Общее количество отказов в разрезе компонент группы ЭО и парка экскаваторов приведены на Рис. 7.

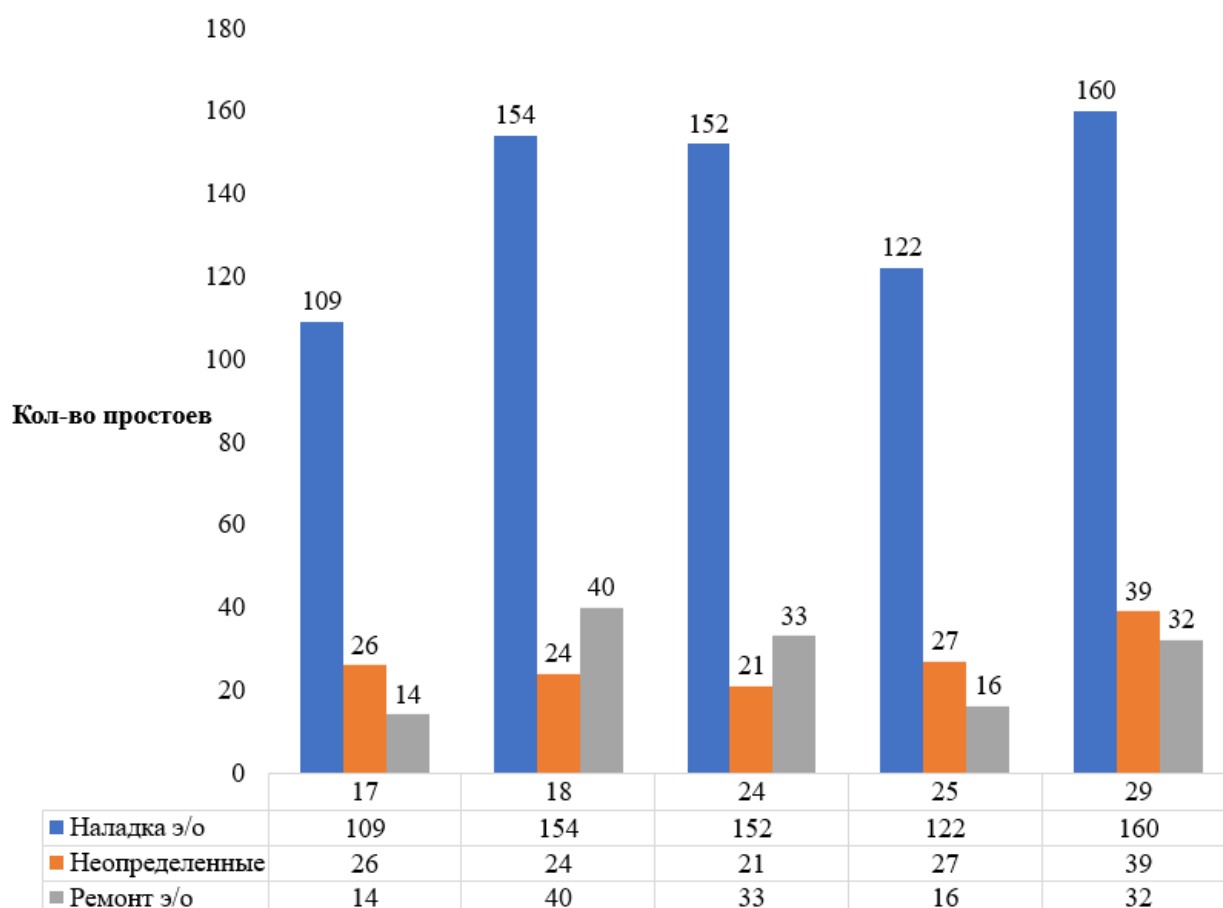
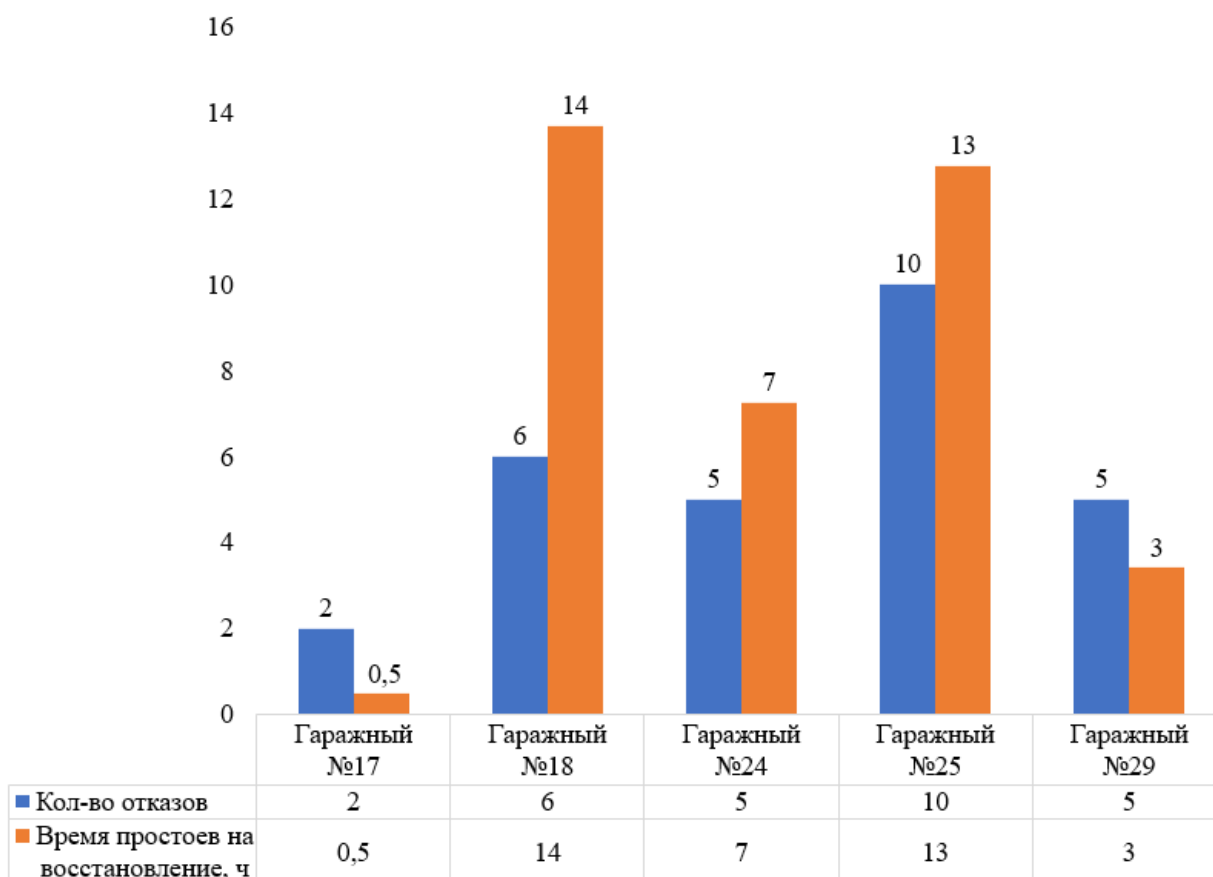


Рис. 7. Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе ЭО

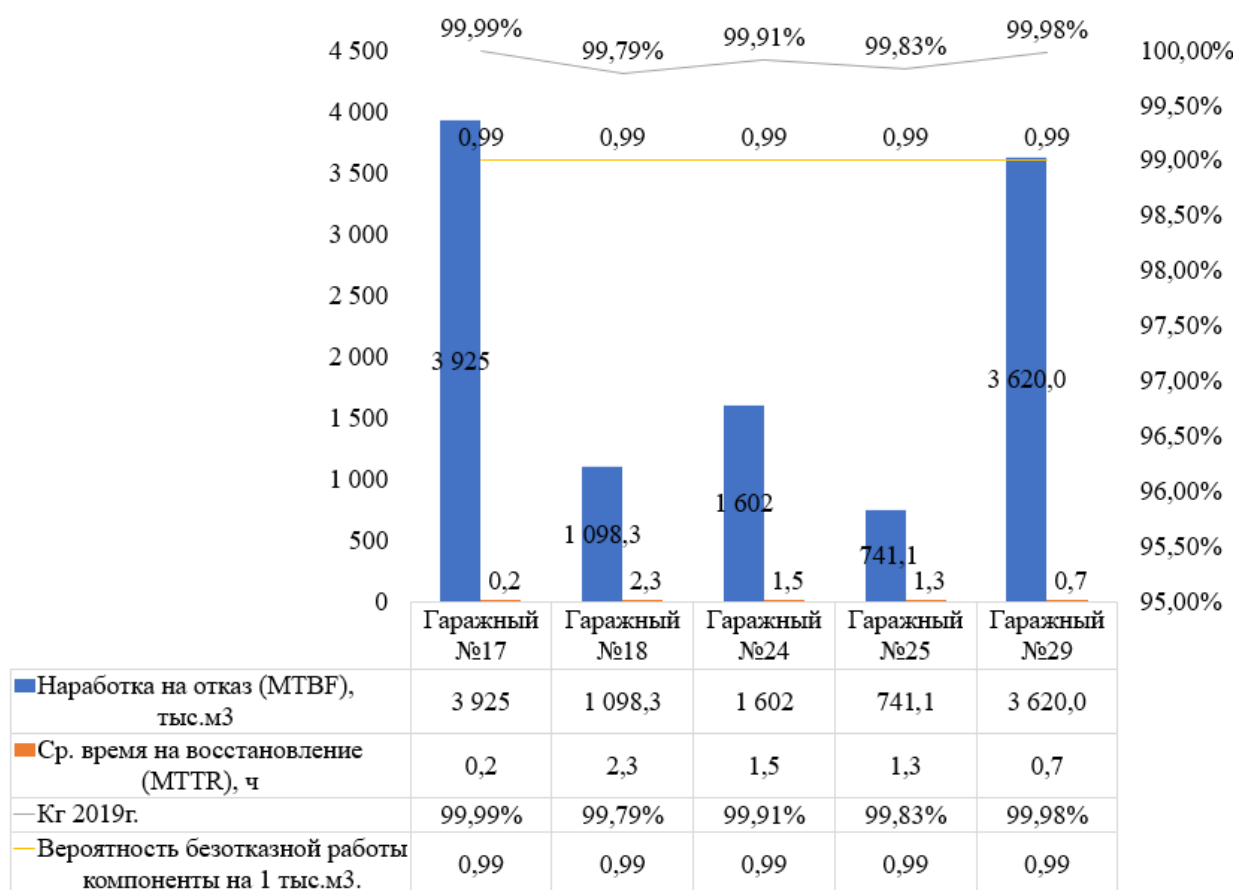
ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ СМАЗКИ И ЕЕ КОМПОНЕНТОВ

По категории «система смазки» (Рис. 8) у экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 28 общей продолжительностью 38 часов, средняя наработка на отказ МТBF составила 1 713 тыс. м³, среднее время восстановления МТTR – 1,3 ч, коэффициент готовности ЭО составил 99,9 %, вероятность безотказной работы компонентов СС – 0,99 на 1 тыс. м³ выемки горной массы.

Наибольшая наработка на отказ наблюдается у экскаватора № 17 – 3 925 тыс. м³, среднее время на восстановление 0,2 ч, наименьшая наблюдается у экскаватора № 25 – 741 тыс. м³, среднее время на восстановление 1,3 ч. Нарботка на отказ по группе «система смазки» пяти экскаваторов составила 1 713 тыс. м³. В целом по группе экскаваторов доля простоев для восстановления работоспособности электрооборудования составляет 0,5 %.



а)



б)

Рис. 8. Структура unplanned простоев вследствие аварийности по группе СС (а). Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 по группе СС и показателям их оценки: MTBF, MTTR (б)

АНАЛИЗ ОТКАЗОВ ПО ГРУППЕ «ОЖИДАНИЕ РЕМОНТА»

По категории «ожидание ремонта» у экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 515 общей продолжительностью 6 597 ч. При анализе подгрупп, входящих в данную категорию установлено, что 430 отказов общей продолжительностью 5 458 ч приходится на ожидание ремонта, 85 простоев общей продолжительностью 1 570 ч на отсутствие запасных частей. Средняя стоимость 1 ч простоя ККЭ на его производительность в 2019 году рассчитана исходя из прямых затрат (ФОТ персонала, электроэнергия, амортизация, запасные части) составила для парка ЭКГ-10 – 5 079,23 руб./ч. Таким образом, простои по ожиданию ремонта стоили для компании – 7,9 млн. руб., простои по отсутствию запасных частей – 4,9 млн. руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях эксплуатации электрических экскаваторов на разрезе «Колыванский» проведен анализ надежности основных групп оборудования ККЭ и их компонентов и составлен рейтинг надежности (Рис. 9).

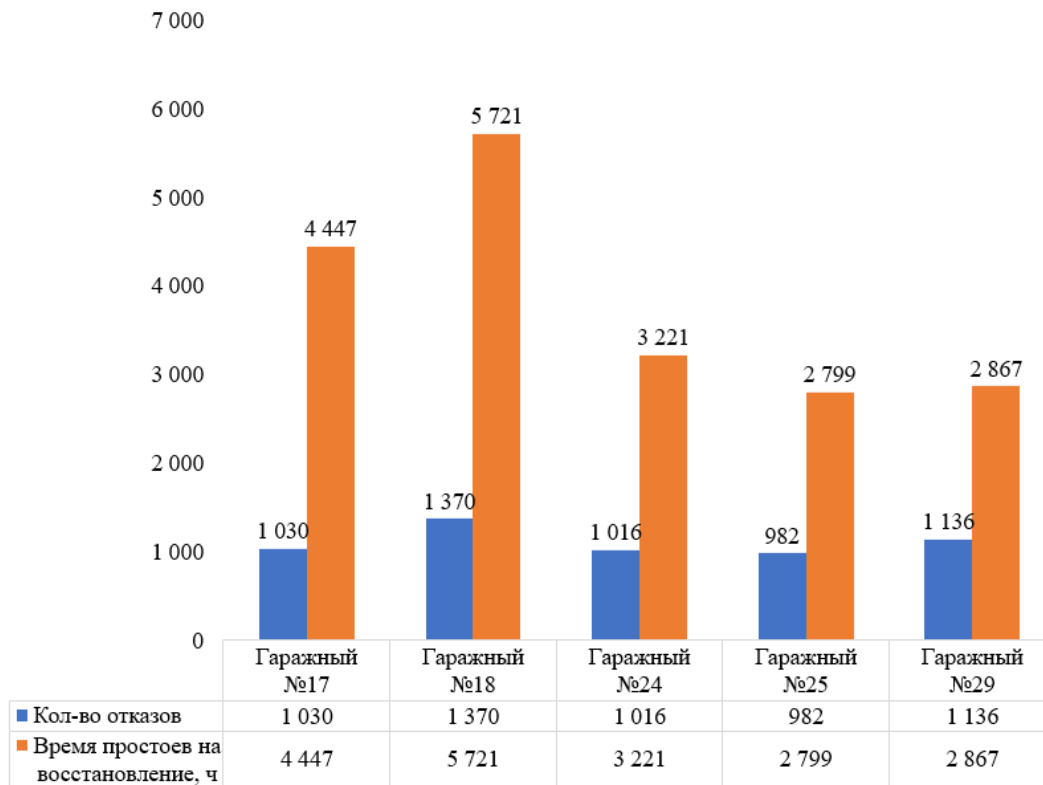
1.1. Нарботка на отказ по группе «механическое оборудование» оказалась самой низкой среди электрической системы и системы смазки и составила 15,8 тыс. м³. Наименьшая ресурсная наработка по данной группе наблюдается у экскаватора № 18 – 816 отказов, наработка на отказ 8,1 тыс. м³ при среднем времени восстановления 3,9 ч. Самый высокий ресурс наработки достигнут по экскаватору № 29, у которого наработка на отказ составила 27,3 тыс. м³ при среднем времени восстановления 2,3 ч. Наименее надежными компонентами механической системы являются:

- подгруппа «рабочий орган»: механизм открывания днища ковша, по которому имело место 964 простоя, время на восстановление узла составило 709 ч. Чаще всего данный узел отказывал у экскаваторов № 18 и № 29, по которым зафиксировано по 209 отказов;

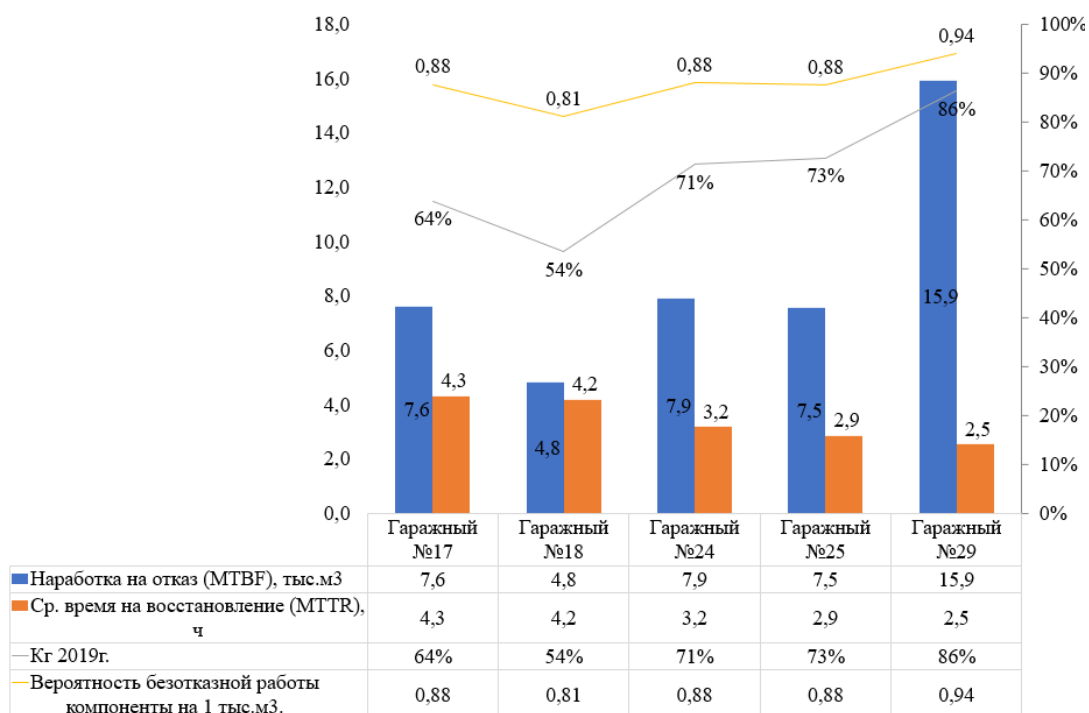
- подгруппа «механизм подъема»: по упругой муфте подъемной лебедки зафиксировано 444 отказа, время на восстановление работоспособности составило 332 ч. Чаще всего данный узел отказывал у экскаваторов № 18 и № 29, по которым зафиксировано 143 и 116 отказов.

1.2. Нарботка на отказ по группе «электрическое оборудование» оказалась выше, чем по группе «механическое оборудование» и составила 49,5 тыс. м³. Наименьшая ресурсная наработка по данной группе наблюдается у экскаватора № 18 – 218 отказов, наработка на отказ 30 тыс. м³ при среднем времени восстановления 2,4 ч. Самый высокий ресурс наработки достигнут по экскаватору № 29, у которого наработка на отказ составила 78,4 тыс. м³ при среднем времени восстановления 2,2 ч. Наибольшее количество отказов по группе зафиксировано в части простоев по наладке электрооборудования и наладке запуска – 643 отказа, время на восстановление работоспособности – 1 083 ч.

1.3. Нарботка на отказ по группе «система смазки» пяти экскаваторов в среднем оказалась самой высокой по отношению к электрической и механической системам и составила – 1 713 тыс. м³, среднее время восстановления – 1,3 ч. Перечень работ по восстановлению системы смазки на обследованных экскаваторах, в основном, сводился к возобновлению подачи смазочной рабочей жидкости в полость насоса, либо, при наличии автоматизированной центральной смазочной системы, возобновлению ее работоспособности.



а)



б)

Рис. 9. Структура unplanned downtime of excavators ЭКГ-10 due to reliability for 2017-2019 гг. (а). Гистограмма распределения отказов экскаваторов ЭКГ-10 и показатели их оценки: MTBF, MTTR за 2017-2019 гг. (б)

2. Показатели эксплуатационной надежности канатных экскаваторов разреза «Колыванский» АО «Сибирский Антрацит» имеют сравнительно невысокий уровень. Коэффициенты готовности экскаваторов распределены следующим образом (Таб. 3):

Таблица 3. Коэффициенты готовности и вероятность безотказной работы парка ЭКГ-10 разреза «Колыванский» за период 2017–2019 гг.

Гаражный номер экскаватора	Год ввода	Наработка за 2017-2019гг, тыс м ³	Коэффициент готовности, %	Вероятность безотказной работы компоненты на 1 тыс. м ³
17	2008	7,9	64	0,88
18	2008	6,6	54	0,81
24	2011	8	71	0,88
25	2012	7,4	73	0,88
29	2014	18,1	86	0,94

Как видно из таблицы выше коэффициенты готовности экскаваторов не превышают среднеотраслевой уровень 85–89 %, а вероятность безотказной работы колеблется в диапазоне от 81–94 %. Также можно сделать вывод о том, что динамика потерь рабочего времени по причине аварийных простоев увеличивается совместно со сроком службы. Примером может служить сравнение коэффициентов готовности экскаваторов № 17–25 с экскаватором № 29.

3. Нестабильность конъюнктуры угольных рынков в мире, снижение потребления угля по экологическим и климатическим соображениям, как следствие, приводит к снижению цен на уголь и будет вынуждать производителей угля в ближайшей перспективе поддерживать и повышать надежность работы эксплуатируемого карьерного парка горновыемочного оборудования для получения максимальной наработки при минимальных затратах на экскавацию горной массы. Поддержание и повышение уровня надежности горновыемочного оборудования на разрезе «Колыванский» может быть достигнуто за счет реализации следующих мероприятий:

- внедрения политики планирования и проведения ремонтов, обеспечивающей своевременную замену расходных и изнашивающихся элементов, для достижения заданных сроков эксплуатации экскаваторов;
- организации проведения ремонтно-восстановительных работ в ночную смену (сокращение сменного простоя);
- внедрения систем технологической диагностики в целях повышения эффективности техобслуживания при минимизации времени и расходов на техобслуживание и ремонты;
- внедрения системы управления рисками возникновения опасных событий при производстве работ, в т.ч. при отказах горновыемочного оборудования.

Авторы заявляют, что:

1. У них нет конфликта интересов;
2. Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей в качестве объектов исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / References

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13 июня 2020 г. № 1582-р «Об утверждении программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года». [Decree of the government of the Russian Federation No. 1582-R of June 13, 2020 “On approval of the program for the development of the Russian coal industry for the period up to 2035”. Available from: <https://rulaws.ru/government/Rasporyazhenie-Pravitelstva-RF-ot-13.06.2020-N-1582-r/> (In Russ.)].
2. Федеральная служба государственной статистики. Российский статистический ежегодник – 2019 г. – URL: <https://www.gks.ru/>. [Federal state statistics service. Russian statistical Yearbook-2019. Available from: <https://www.gks.ru/> (In Russ.)].
3. Таразанов И.Г., Губанов Д.А. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2020 года // Уголь. – 2020. – № 3. – С. 54–69. [Tarazanov IG, Gubanov DA. Results of the Russian coal industry in January-December 2020. *Coal*. 2020;3:54-69. (In Russ.)]. doi: 10.18796/0041-5790-2020-3-54-69
4. Ivanov SL, Ivanova PV, Kuvshinkin SY. Promising model range career excavators operating time assessment in real operating conditions. *Journal of Mining Institute*. St. Petersburg Mining University; 2020;26;242:228. doi: 10.31897/pmi.2020.2.228
5. Шибанов Д.А., Иванова П.В., Шишлянников Д.И., и др. Комплексная оценка факторов, определяющих наработку экскаваторов ЭКГ новой продуктовой линейки производства «ИЗ-КАРТЭКС» // Горное оборудование и электромеханика. – 2015. – № 9 (118). – С. 3–9. [Shibanov DA, Ivanova PV, Shishlyannikov DI, et al. Complex assessment of the factors defining an operating time of excavators EKG a new product line of “IZ-KARTEX”. *Mining Equipment and Electromechanics*. 2015;9(118):3-9. (In Russ.)].
6. Иванова П.В., Асонов С.А., Иванов С.Л. и др. Анализ структуры и надежности современного парка карьерных экскаваторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – № 7. – С. 51–58. [Ivanova PV, Asonov SA, Ivanov SL, et al. Analysis of structure and reliability of modern fleet of mine shovels. *Mining informational and analytical bulletin*. 2017;7:51-57. (In Russ.)]. doi: 10.25018/0236-1493-2017-7-0-51-57
7. Никитин К.В., Артамошкин В.Н., Стеблин И.А. Мониторинг технического состояния экскаваторного парка на разрезах Кузбасса // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2015. – Т № 11. – № 1. – С. 188–192. [Nikitin KV, Artamoshkin VN, Steblin IA. Monitoring of the technical condition of the excavators park in the Kuzbass sections. *Actual problems of Humanities and natural Sciences*. 2015;11(1):188-192. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/monitoring-tehnicheskogo-sostoyaniya-ekskavatornogo-parka-na-razrezah-kuzbassa>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
8. ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. Введ. 2017-03-01. – М.: Стандартинформ, 2016. – 22 с. [GOST 27.002-2015 Reliability in engineering (SSNT). Terms and definitions. No. 2017-03-01.

- Moscow: STANDARDINFORM. 2016. p.22. (In Russ.)]. Доступно по: <http://docs.cntd.ru/document/1200136419>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
9. Торелл В., Авелер В. Среднее время между отказами: описание, стандарты. Информационная статья № 72, APC, Legendary Reliability. [Torell V, Aveler V. Average time between failures: description, standards. Information article No 72, APC, Legendary Reliability (In Russ.)]. Доступно по: https://aboutdc.ru/docs/APC/4/WP78_RU.pdf. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 10. Москвичев В.В., Доронин С.В., Утехин С.А. и др. Анализ отказов механического оборудования и металлоконструкций экскаваторов. Красноярск: ВЦ СО АН СССР, – 1989. – 33 с. [Moskvichev VV, Doronin SV, Utekhin SA, et al. *Analysis of failures of mechanical equipment and metal structures of excavators*. Krasnoyarsk: VTS SO AN USSR; 1989. (In Russ.)].
 11. Богданов А.П., Гайнуллин А.А., Ефимов А.А. и др. Дефекты металлоконструкции карьерных экскаваторов // Universum: технические науки. – 2015. – № 11 (22). [Bogdanov AP, Gainullin AA, Efimov AA, et al. Metal ware defects of mining excavators. *Universum: Technical Sciences*. 2015;11(22). (In Russ.)]. Доступно по: <https://7universum.com/ru/tech/archive/item/2775>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 12. Иванов С.Л. Изменение наработки современных отечественных экскаваторов ЭКГ от условий их функционирования // Записки Горного института. – 2016. – Т. 221. – С. 692–700. [Ivanov SL. Changes in the operating time of modern domestic EKG excavators from the conditions of their operation. *Notes of the Mining Institute*. 2016;221:692. (In Russ.)]. doi: 10.18454/PMI.2016.5.692
 13. Иваненко М.Б., Ананин В.Г., Слепченко В.А. Исследование напряженного состояния сочлененной стрелы карьерного экскаватора // Вестник ТГАСУ. – 2016. – № 3(56). [Ivanenko MB, Ananin VG, Slepchenko AV. Stress-strain state of compound boom of dragline excavator. *Bulletin of the Tomsk state University of architecture and civil engineering*. 2016;3(56):205-210. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-napryazhennogo-sostoyaniya-sochlenennoy-strely-kariernogo-ekskavatora>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 14. Рубцов С.К., Шлыков А.Г., Кочегаров Е.Н. и др. Опыт применения гидравлических и канатных экскаваторов на карьере Мурунтау // ГИАБ. – 2006. – № 3. [Rubtsov SK, Shlykov AG, Kochegarov EN, et al. Experience in using hydraulic and rope excavators at the Muruntau quarry. *Mining information and analytical Bulletin*. 2006;3:268-276. (In Russ.)]. Доступно по: <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-primeneniya-gidravlicheskih-i-kanatnyh-ekskavatorov-na-kariere-muruntau>. Ссылка активна на: 22.10.2020.
 15. Danicic D, Sedmak S, Ignjatovic D, et al. Bucket Wheel Excavator Damage by Fatigue Fracture – Case study. 20th European Conference on Fracture (ECF20). Elsevier Ltd., Procedia Materials Science, 2014;Vol.3:1723-1728. ISSN 2211-8128. doi: 10.1016/j.mspro.2014.06.278
 16. Djurdjevic D, Maneski T, Milosevic-Mitic V, et al. Failure investigation and reparation of a crack on the boom of the bucket wheel excavator ERS 1250 Gacko. *Engineering Failure Analysis*. 2018;(92):301-316. ISSN 1350-6307. doi: 10.1016/j.engfailanal.2018.05.015
 17. Arsić D, Gnjatović N, Sedmak S, et al. Integrity assessment and determination of residual fatigue life of vital parts of bucket-wheel excavator operating under dynamic loads. *Engineering Failure Analysis*, 2019;(105):182-195. ISSN 1350-6307. doi: 10.1016/j.engfailanal.2019.06.072

Сведения об авторах:**Ковалев Максим Александрович;**

ORCID: 0000-0003-1127-9230

E-mail: kovalevmalk@gmail.com

Москвичев Владимир Викторович, доктор технических наук;URL: <http://www.ict.nsc.ru/ru/structure/persons/informaciya-o-sotrudnike?rdn=cn=Москвичев%20Владимир%20Викторович>

SCOPUS ID: 57192889718; 7003378676; ResearchGate: R-7334-2016

eLibrary SPIN: 9332-6468; ORCID: 0000-0001-7072-2250;

E-mail: krasn@ict.nsc.ru

Information about the authors:**Maksim A. Kovalev;**

ORCID: 0000-0003-1127-9230;

E-mail: kovalevmalk@gmail.com

Vladimir V. Moskvichev, doctor of engineering;URL: <http://www.ict.nsc.ru/ru/structure/persons/informaciya-o-sotrudnike?rdn=cn=Москвичев%20Владимир%20Викторович>

SCOPUS ID: 7003378676; ResearchGate: R-7334-2016

eLibrary SPIN: 9332-6468; ORCID: 0000-0001-7072-2250;

E-mail: krasn@ict.nsc.ru

Цитировать как:

Москвичев В.В., Ковалев М.А. Оценка показателей эксплуатационной надежности карьерных канатных экскаваторов // Транспортные системы и технологии. – 2020. – Т. 6. – № 4. – С. 25–44. doi: 10.17816/transsyst20206425-44

To cite this article:

Moskvichev VV, Kovalev MA. Assessment of Operational Reliability Indicators of Pit Rope-Operated Excavators. *Transportation Systems and Technology*. 2020;6(4):25-44. doi: 10.17816/transsyst20206425-44