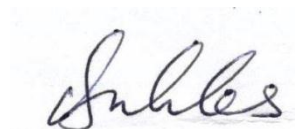


На правах рукописи



БУЛЕС ПЕТЕР

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ КАРЬЕРНЫХ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ЭКСКАВАТОРОВ ПРИ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА
ОТКРЫТЫХ РАЗРАБОТКАХ РОССИИ**

Специальность 05.05.06 – Горные машины

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата технических наук

**Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Подэрни Р.Ю.**

Москва 2016

Оглавление

	Введение	4
1	Состояние вопроса и задачи исследования	11
1.1	Обзор исследований в области надежности систем карьерного оборудования	11
1.2	Мировой уровень экскаваторостроения с гидравлическим приводом и сравнительный анализ механических и гидравлических лопат	15
1.2.1	Краткая историческая справка	15
1.2.2	Сравнительный анализ гидравлических и механических прямых лопат	18
1.3	Анализ факторов, влияющих на формирование надежности гидросистем горного оборудования	32
	Выводы и задачи исследования	37
2	Методические основы исследования надежности работы компонентов карьерных экскаваторов (КГЭ) при их эксплуатации	40
2.1	Анализ конструкций КГЭ и составление их структурных блок-схем	40
2.2	Показатели для количественной оценки надежности работы компонентов карьерного гидравлического экскаватора	44
2.3	Основные показатели количественной оценки надежности работы гидравлических экскаваторов K_G , K_{TG} и $K_{и}$, характеризующие их надежность	48
2.4	Методы сбора и обработки исходной информации о надежности работы компонентов КГЭ	52
	Выводы	55
3	Исследование и анализ надежности систем и компонентов КГЭ	57
3.1	Исходные положения	57
3.2	Методические предпосылки определения законов распределения случайных величин (СВ) наработки систем и	57

	компонентов КГЭ	
3.3	Статистическая обработка данных о надежности систем и компонентов КГЭ	59
3.3.1	Анализ результатов эксплуатации КГЭ класса РС 3000	60
3.3.2	Анализ результатов эксплуатации КГЭ РС 5500Е	77
3.4	Анализ законов распределения случайных значений наработок компонентов гидравлических экскаваторов	88
3.5	Оценка ресурсов основных компонентов КГЭ и формирование их технической базы	96
	Выводы	103
4	Разработка организационно-технических рекомендаций по обеспечению высокой готовности КГЭ к эксплуатации и обоснование рациональных сроков их эксплуатации	106
4.1	Предварительные замечания	106
4.2	Стратегическое планирование замены выработавших свой ресурс модулей	108
4.3	Оценка стоимости эксплуатации КГЭ	113
4.4	Разработка экономико-вероятностной модели оценки стоимости эксплуатации и технического обслуживания КГЭ	124
	Выводы	132
	Заключение и выводы по работе	134
	Список литературы	137
	Приложения	147

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Увеличение объемов открытого способа разработки твердых полезных ископаемых в РФ в значительной степени зависит от эффективности работы наиболее широко применяемых в современных циклических и циклично-поточных комплексах оборудования, определяющим звеном которых являются одноковшовые карьерные канатные и гидравлические экскаваторы большой мощности с ковшами вместимостью от 12 м³.

В настоящее время на горных предприятиях мира эксплуатируются порядка 4500 одноковшовых экскаваторов с ковшами вместимостями свыше 12 м³, из которых около 85 % – это карьерные гидравлические экскаваторы (КГЭ) – прямые и обратные лопаты. В РФ в эксплуатации находятся около 180 механических лопат отечественного производства заводов ИЗ «Картекс» и «УЗТМ» с ковшами вместимостью 12...32 м³ (42 из которых выпущены в 2010–2015 гг), а также около 20 мехлопат с ковшами 35...55 м³ компаний Caterpillar, P&H (США) и Taiyuan NM Group (Китай), которые работают наряду с парком порядка 300 карьерных гидравлических прямых и обратных лопат с ковшами вместимостями 12...45 м³, поставленными преимущественно компаниями Komatsu Mining Germany (KMG), Liebherr, а также Hitachi и в меньшей степени Caterpillar.

Гидравлический экскаватор представляет собой сложную систему, на работоспособность которой оказывают отрицательное влияние различные внешние и внутренние возмущающие факторы, и чем более весомыми они оказываются, тем выше вероятность ее отказа. Среди весьма значимых внешних факторов, оказывающих отрицательное воздействие на надежность гидравлических экскаваторов, а, следовательно, и на их производительность, прежде всего, следует упомянуть как климатические и горно-геологические условия, так и в еще более существенной степени несвоевременность замен расходных и изнашивающихся элементов как гидравлических, так и механических систем машин, которая может и должна быть устранена современной организацией их сервисного обслуживания и ремонта.

Поэтому, обеспечение высокой готовности гидравлических экскаваторов

при их эксплуатации на горных предприятиях РФ, за счет повышения, как индивидуальной надежности компонентов, так и самого оборудования, сокращения количества отказов, а также, сокращения длительности простоев в ремонте, позволяющих улучшить эффективность их использования, является *актуальной* научной задачей.

Степень научной разработанности темы исследования.

Разработке оборудования для открытых работ посвящены исследования российских ученых: Н.В. Мельникова, Н.Г. Домбровского, К.Е. Виницкого, Д.П. Волкова, Л.И. Кантовича, В.Р. Кубачека, С.А. Панкратова, Р.Ю. Подэрни, Б.И. Сатовского и др., которые заложили фундаментальные основы теории его расчета и проектирования. Развитию теории надежности, в частности, гидроприводов горных машин посвящены работы: Л.А. Андреевой, Г.С. Бродского, В.Н. Гетопанова, А.И. Комиссарова, Г.Ю. Козина, М.С. Островского, И.Л. Пастоева, В.И. Русихина, М.Г. Рахутина, В.Ф. Сандалова, Л.С. Скобелева, Б.В. Слесарева, В.М. Штейнцайга, а также ряда зарубежных исследователей, в частности: Eleveli S., Ercelebi, S.G., Kirmanli, Koelsh H.R., Ljungberg O., Oliver G.W., Pecht, M.G., Nash, F.R. и др.

Однако до настоящего времени в технической литературе, посвященной исследованиям КГЭ, не нашли должного отражения вопросы связанные с повышением их надежности (готовности к эксплуатации) за счет применения такой стратегии замен выработавших свой ресурс компонентов их систем, которая базируясь на статистически обоснованных сроках их наработки, обеспечивала бы оптимальные эксплуатационные затраты по их эксплуатации за оговоренный срок службы КГЭ, а поэтому, проведение дальнейших исследований в этой области, остается актуальным.

Целью работы является повышение надежности и эффективности эксплуатации карьерных гидравлических экскаваторов (КГЭ) на горных предприятиях РФ за счет реализации экономически обоснованной системы плановых превентивных замен основных изнашивающихся компонентов экскаваторов с определенными интервалами, при которых сокращаются сроки их

восстановления, обеспечивается заданный высокий уровень готовности и минимизируются расходы на эксплуатацию за оговоренный срок их работы до списания.

Основная идея работы заключается в определении оптимальных сроков эксплуатации основных компонентов, агрегатов и систем карьерных гидравлических экскаваторов и обосновании рациональных нормативов превентивных замен критических элементов КГЭ, обеспечивающих заданные коэффициенты технической готовности (уровни надежности) оборудования, позволяющие продлять сроки их эксплуатации до заданных пределов.

Задачи исследования:

- сопоставительный анализ технологических характеристик современных канатных и гидравлических карьерных экскаваторов и оценка перспектив их применения на горных предприятиях РФ;
- анализ методов получения данных о надежности (отказах, времени восстановления и готовности) компонентов ГЭ за необходимый промежуток времени, обработка массивов статистических наблюдений, определение количественных значений исследуемых СВ и установление статистических закономерностей их распределения;
- разработка номенклатуры учета отказов компонентов ГЭ и оценка коэффициентов их готовности применительно к КГЭ, используемых на конкретных горных предприятиях с учетом условий контракта;
- разработка блок-схемы КГЭ, отражающей функциональные связи всех систем и механизмов в общей структуре гидравлического экскаватора в их взаимодействии;
- формирование исходного комплекта технической базы экскаваторов компании KMG, учитывающего сроки службы и нормы трудовых затрат на замену и обслуживание их компонентов;
- разработка графиков комбинированной замены компонентов (стратегии обслуживания) КГЭ, обеспечивающих заданные уровень готовности его к работе и установленный срок службы до списания.

- разработка математической модели оценки изменения стоимостных показателей эксплуатации КГЭ, показывающей уровень его готовности к работе, позволяющей оптимизировать расходы на эксплуатацию в течение устанавливаемого срока его работы до списания, учитывающей ставки дисконтирования, снижение надежности оборудования в результате его старения.

Научные положения, разработанные лично соискателем и выносимые автором на защиту, их новизна:

1. Оценку показателей надежности систем гидравлического экскаватора и его готовности в целом следует производить с учетом последовательности функционального взаимодействия всех его компонентов на основе разработанной универсальной структурной блок-схемы экскаватора.

2. Комплект технической базы КГЭ и технологические карты периодической замены его изнашивающихся компонентов, разработанные на основе их систематизации на сбалансированные по ресурсу группы с учетом установленных законов распределения наработок на отказ, обеспечивающие достижение заданного уровня готовности и выбранного срока службы экскаватора до заданных пределов.

3. Закономерность снижения базового уровня надежности КГЭ с увеличением срока эксплуатации машины, обуславливающая снижение текущих показателей MTBF и увеличение MTTR по сравнению с нормативными. Предложено понятие временного фактора старения оборудования, позволяющего учесть повышение расходов на заменяемые компоненты и соответствующие трудозатраты и обоснованно определить стратегию выбора рациональных сроков службы КГЭ на горных предприятиях.

4. Математическая модель оценки стоимости эксплуатации и технического обслуживания экскаватора, разработанная в соответствии с технологическими картами замены компонентов, отличающаяся учетом ставки дисконтирования и временного фактора снижения надежности оборудования в результате его старения, позволяющая определить границу нулевого дохода, установить

минимально допустимую производственную стоимость 1 м³ отгружаемого материала, а также обосновать выбор целесообразного срока работы экскаватора до списания

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается: корректностью постановки задач исследований, научными положениями, выводами и рекомендациями, базирующимися на современных научных методах исследований, получением оценок показателей надежности с доверительной вероятностью $\gamma \geq 0,9$ и величиной относительной ошибки $\sigma \leq 0,1$ для гидросистем в целом и с доверительной вероятностью $\gamma = 0,8$ и величиной относительной ошибки $\sigma = 0,2$ для гидроэлементов основных функциональных групп гидросистем.

Методы исследований, использованные в работе: систематизация и анализ литературных источников; анализ и обобщение статистических наблюдений; теория планирования эксперимента и математические методы обработки данных; методы теории вероятности и математической статистики,

Научная новизна состоит в:

- установлении последовательных функциональных связей систем и механизмов КГЭ при их взаимодействии в его структуре, реализуемых в универсальной обобщенной блок-схеме КГЭ, позволяющей оценить уровень его надежности в целом;
- установлении сроков наработки и последовательности замен выработавших ресурс компонентов КГЭ для обеспечения заданного уровня его готовности к эксплуатации;
- разработке оптимальной комбинированной стратегии обслуживания КГЭ, обеспечивающей заданный уровень готовности его к работе, устанавливаемый срок его службы до списания и отказ от капитального ремонта путем одновременной превентивной замены с обоснованной периодичностью однотипных по ресурсу его компонентов, достигших установленного срока наработки;
- установлении зависимости снижения базового уровня надежности

оборудования КГЭ от временного фактора при увеличении срока его службы, обуславливающей снижение текущих показателей МТBF и увеличения МТTR по сравнению с нормативными;

- выявлении четырех основных периодов интенсивности потока отказов (частоты) и установлении закономерности их изменения от времени наработки КГЭ;
- разработке математической модели оценки изменения стоимостных показателей эксплуатации КГЭ, позволяющей оптимизировать расходы на эксплуатацию в течение устанавливаемого срока его работы до списания с учетом ставки дисконтирования, темпа снижения надежности оборудования в результате его старения.

Практическое значение исследования состоит в разработке (впервые для экскаваторов, эксплуатирующихся в условиях РФ):

- номенклатуры фиксируемых отказов и методики оценки коэффициентов готовности применительно к КГЭ, используемым на конкретных горных предприятиях;
- группировкой основных компонентов ГЭ производства компании KMG, на функциональные группы, сбалансированные по ресурсу и среднему нормативному сроку службы;
- формированием исходного комплекта технической базы экскаваторов компании KMG, учитывающего стоимость, сроки службы и нормы трудовых затрат на замену и обслуживание их компонентов;
- разработкой регламентных таблиц-графиков комбинированной замены компонентов, являющихся основой оптимальной стратегии обслуживания КГЭ, устанавливающей сроки периодических замен компонентов с учетом часовой стоимости компонентов и трудозатрат на их замену и обслуживание.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Программы замен компонентов реализованы на экскаваторах РС 3000 месторождении кимберлитовых руд «им. Гриба» «Верхотинского» ГОКа Архангельского региона, и РС 5500 железорудного карьера ОАО «Карельский Окамыш», а также

на экскаваторах типа РС ЗАО «АК АПРОСА» и ОАО ХК «Якутуголь».

Основные результаты исследований используются компанией Komatsu Mining Germany при разработке и изготовлении модификаций гидравлических экскаваторов, в частности новой модели РС 7000, а также при организации их сервис-мониторинга на карьерах, разработке технических средств и инструкций по эксплуатации гидросистем.

Апробация работы. Основные научные положения и принципиальные разделы диссертации в целом доложены на: Международных научных симпозиумах «Неделя горняка» 2014 г. МГГУ и 2015 т 2016 г. НИТУ «МИСиС», Москва; В рамках 18, 19 и 20–й Международных выставок «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов» в докладах на Международных конференциях «Машины и оборудование для открытых горных работ», 2014, 2015 и 2016 г., Москва - Крокус Экспо; научных семинарах ООО «МОГОРМАШ», г. Москва, 2013 и 2014 г.; научных семинарах ЗАО «Mining Solutions», г. Москва, 2014 и 2015 г; научных семинарах кафедры Горные машины и оборудование в 2013 г. (МГГУ), 2014 г., 2015 и 2016 г. (НИТУ «МИСиС»), г. Москва.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 6 работ, 4 из них в изданиях, входящих в перечень рецензируемых журналов, утвержденных ВАК Минобрнауки России.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованных источников информации из 107, приложения, включает 57 рисунков, 44 таблиц, в том числе 28 в приложении.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Обзор исследований в области надежности систем карьерного оборудования

Первые работы по теории надежности радиоэлектронной аппаратуры В.И.Сифорова, И.М. Машкова, Г.В. Дружинина, А.М. Половко, Ч.А. Шишонка, А.И. Берга, Н.С. Бруевича, Б.А. Козлова, М.А.Ушакова, Я.Б. Шора и др. явились основой для применения ее и в области машиностроения.

Предпосылками для решения задач разработки и проектирования оборудования для открытых работ послужили исследования российских ученых: академика Н.В. Мельникова, докторов техн. наук А.В. Топчиева, А.В. Докукина, В.М. Бермана, К.Е. Виницкого, Д.П. Волкова, Ю.А. Ветрова, А.С. Винокурского, В.М. Владимирова, Г.Х. Бойко, Н.Г. Домбровского, С.А. Панкратова, Л.И. Кантовича, Г.Ю. Козина, Ю.Д. Красникова, В.Р. Кубачека, Р.Ю. Подэрни, Б.И. Сатовского и др., которые заложили фундаментальные основы теории его расчета и проектирования.

Развитию теории надежности механических систем, в частности горных машин и повышению их производительности посвящены работы:

Л.А. Андреевой, Г.С. Бродского, В.Н. Гетопанова, Д.Е. Махно, П.И. Коваля, А.И. Комиссарова, П.И. Коха, М.С. Островского, И.Л. Пастоева, Я.М. Радкевича, Г.С. Рахутина, М.Г. Рахутина, В.И. Русихина, Г.И. Солода, В.Ю. Сергеева, А.И. Шадрина и др.

Абрамов С.В., Перлов А.С., Смоляницкий Э.А., (ЦНИИТЭстроймаш) разработали аналитические методы расчета кинематических и силовых параметров механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов [1]. Ворончихин Ю.Г. и др. Испытания гидравлических экскаваторов ЭГ-12А и ЭГ-20. Исследованию вопросов надежности и повышения производительности гидроэкскаваторов экскаваторов: посвящены работы НИИТЯЖМАШ, в частности Ворончихина Ю.Г., Скобелева Л.С. [8, 69],. Перспективная линейка отечественных карьерных гидравлических экскаваторов разработана на ОАО

"Уралмашзавод" [29, 43, 58].

Исследования надежности гидроприводов горных и строительных машин изложены, в частности, в работах к. т. н. А.Е. Гольтбухта, А.С. Мельникова, Л.С. Скобелева [79], К.С. Гаевской, В.М. Штейнцайга [70-79]. В 1975 – 1992 гг. они были направлены на изучение рабочего процесса опытных образцов карьерных гидравлических экскаваторов ЭГ-12, ЭГ-12А, ЭГ-20 и ЭГО-6, изготовленных ПО «Уралмаш». Показатели надежности у этих машин, в связи с недостаточно продолжительным периодом эксплуатации, фиксировались на уровне часового, суточного и среднемесячного объема работ, что не позволило прогнозировать надежность при промышленном внедрении.

Более широкие исследования мощных гидравлических экскаваторов были продолжены после начала работы на российских разрезах экскаваторов RH-200 компании «O&K» и KMG [23, 27]. Поставка первых мощных гидроэкскаваторов «Демаг» в Россию для карьеров Якутии на рубеже 2000 г, а позже и для других регионов потребовала продолжения этих исследований и учетом специфических условий их эксплуатации. Положительный опыт внедрения гидроэкскаваторов H-285S, поставленных компанией “Komatsu Mining Germany” (Dusseldorf) в 1999 г. в Якутию на карьеры компании «Алроса», что отмечено, в частности, в работах к.т.н. Б.В. Слесарева, А.А. Синякова, Р. Даутова, В.М. Штейнцайга, В.Г. Мерзлякова, П. Побегайло [60–63, 69–70, 78–80] и др.

Гидросистемы карьерных гидроэкскаваторов (ГС КГЭ), в комплекте систем этих машин, имеют, как правило, короткий срок службы и обладают наименьшей живучестью. Их гидроагрегаты в наибольшей степени подвержены влиянию внешней среды, особенно в условиях эксплуатации при низких температурах, а срок службы насосов и моторов прямо зависит от степени загрязнения жидкости.

Современный этап гидрофикации горной техники характеризуется использованием гидроэлементов, функционирующих при рабочем давлении 25,0...32,0 МПа, что позволяет значительно уменьшить габариты и массу вновь проектируемых приводов. В настоящее время благодаря планомерным

исследованиям, вопросы теории и практики повышения надежности гидропривода нашли отражение в работах, выполненных в ряде учебных, научно-исследовательских и проектных институтов учеными Т.М.Башта [11, 12], Д.Е. Бриль, Г.С. Бродским [10], В.Ф. Еленкиным, О.Н. Дубровским, И.И. Елинсоном, В.Ф. Замышляевым, А.А.Комаровым, Л. Лой, В.Ф. Сандаловым, В.С. Семенниковым, М.Р. Хромым [78] и др., которые внесли значительный вклад в изучение надежности гидрофицированной техники. Работы в этой области в 90-х годах прошлого века выполнялись в научно-исследовательских и проектных институтах: ИГД им А.А. Скочинского, НИИТяжмаш, ВНИИНмаш, ВНИИСтройдормаш и др.

Одним из основных методов обеспечения заданной работоспособности технического устройства считается плановое осуществление регламентных восстановительных мероприятий с заменой отдельных элементов. В работах [21, 22] предложена методика расчета периодов замены и межремонтных периодов гидропривода летательных аппаратов. Использовать предложенную методику применительно к гидрофицированному карьерному оборудованию возможно с определенными ограничениями

Изучение работ [27, 28, 39] позволило выработать методику определения показателей надежности по результатам эксплуатации с целью определения комплекта запасных элементов гидросистем при проектировании, например, станков шарошечного бурения и экскаваторов.

В работе [28] учитывается влияние факторов конструктивного, технологического, эксплуатационного характера на безотказность гидропривода. Автор осуществил поиск их оптимального сочетания, используя метод математического планирования экспериментов. Отдельные рекомендации, изложенные в работах [14], нашли применение при исследовании надежности гидравлических систем. В процессе эксплуатации гидропривода одним из направлений поддержания его безотказности и долговечности является обеспечение заданной тонкости очистки рабочей жидкости. Постановка задач указанного направления сформулирована в работах [15, 16, 27, 29, 30], авторы

которых показали необходимость применения устройств, обеспечивающих тонкую очистку рабочей жидкости в гидроприводе с рабочим давлением более 20 МПа, не менее 3...5 мкм. Такие устройства разработаны и применяются в гидроприводах различных машин, в том числе экскаваторов и буровых станков.

Оценка безотказности гидрофицированных технических устройств осуществляется на этапе их эксплуатации, обработкой статистики отказов при помощи аппарата теории вероятностей [13]. При отсутствии информации о безотказности гидроэлементов, надежность проектируемого технического устройства прогнозируется при помощи физических и математических моделей [64, 68, 76, 77].

Оценка и обеспечение долговечности гидропривода состоит в прогнозировании назначенного уровня надежности на стадии его проектирования и изготовления, а также в поддержании достигнутых показателей надежности на этапе эксплуатации. Прогнозирование долговечности гидропривода осуществляется моделированием процесса его функционирования. Исследования МГТУ [21, 25], ВНИИстройдормаша, и работы [42, 46, 60, 61] являются типичными в этой области. Изучению показателей ремонтпригодности гидрофицированных технических устройств посвящены работы [66, 67, 71, 76], а корректированию периодов выполнения восстановительных работ публикации [35, 41, 42, 48]. В работе [85] Ercelebi S.G., Kirmanli C., был выполнен обзор методов выбора горной техники, в частности, ГЭ. Анализ методов определения нагрузок на рабочем оборудовании прямых лопат посвящена работы Geu Flores F, Kecskemethy A. и Pottker A. [86], а изучению технологических возможностей мощных гидравлических лопат, выбору типов их ковшей и рабочего оборудования - работы Hall A и McAree P.R. [87, 88]. Сравнение характеристик мехлопат и гидроэкскаваторов выполненное в работе Heusler H. и Wesrermann R. [89], по мнению авторов, ставит вопрос о выживаемости первых в условиях конкурентного совершенствования конструкций ГЭ. Экспертная оценка эффективности применения мощных гидроэкскаваторов в экстремальных условиях высокогорных карьеров латинской Америки (Чукокамата, Чили)

сделанная в работе Kirmanli С. и Ercelebi S.G. [98], показала высокую их приспособляемость к низким температурам, что хорошо коррелируется и рекомендациями Poderni R.Y. и Koelsh H.R. [103], исследовавшим эту проблему в условиях Якутии. Практически, в зарубежной технической литературе в открытом информационном доступе отсутствуют работы посвященные изучению надежности гидравлических экскаваторов, что подтверждает актуальность темы настоящего исследования.

1.2 Мировой уровень экскаваторостроения с гидравлическим приводом и сравнительный анализ механических и гидравлических лопат

1.2.1 Краткая историческая справка

Первую в мире полностью гидравлическую обратную лопату с ковшем 0,3 м³ и дизельным приводом (рис. 1.1, а) изготовила в 1954 г компания Demag (с 1999 г. Komatsu Mining Germany - KMG), ранее выпускавшая механические лопаты, после чего она перешла к производству гидравлических экскаваторов, сначала - строительного класса, а позже и карьерных гидравлических. В 1986 г компания создала самую крупную в то время карьерную прямую гидравлическую лопату Н-485 с ковшем 42,5 м³. В 2004 г. был создан экскаватор РС 8000 ковшем 42 м³ и массой 720 т (рис.1.1,б), 100-й экземпляр которого в 2012 г был поставлен в РФ.



Рис. 1.1. Гидравлические экскаваторы: а – первая в мире обратная гидравлическая лопата компании KMG с ковшем 0,5 м³; б - прямая лопата РС 8000 ковшем 42 м³; в – прямая гидравлическая лопата «TriPower» (O&K) модель CAT 6050

Начиная с 1980 г, KMG изготовила более 900 карьерных одноковшовых

гидравлических экскаваторов с ковшами вместимостью более 15 м³ и массой свыше 150 т, (в том числе с рабочим оборудованием обратная лопата 32%, а с электроприводом их насосных станций 22%), и накопила большой опыт их использования в самых разнообразных горно-геологических и климатических условиях.

Компания KMG на своем заводе в г. Düsseldorf производит четыре основных модели гидроэкскаваторов (PC 3000, PC 4000, PC 5500 и PC 8000. табл. 1.1) с рабочими массами в диапазоне от 250 до 750 т и подготовила к выпуску модель PC 7000 с ковшом 35 м³.

Таблица 1.1

Технические характеристики КГЭ производства компании KMG

Показатели	Тип экскаватора			
	PC 3000	PC 4000	PC 5500	PC 8000
Эксплуатационная масса, т	252 – 265	385 -- 397	531--549	700 -- 720
Вместимость стандартного ковша, м ³ :				
Прямая/ обратная лопата	16/15	22/ 22	29/29	15-22 /29-42
Мощность дизельного/ электрического привода, кВт	940/900	1400/1350	940x2/900x2	1500x2/1450x2
Ширина трака, мм	800/120	1200/1500	1350/1800	1500/1900
Удельное давление на грунт, Н/см ²	24,0/16,6	21,4/ 16,6	23,9/18,3	26,7/21,4
Высота черпания, м				
прямая/ обратная лопата	11,0/10,0	12,0/11,0	14,0/12,0	15,0/13,0
Радиус черпания, м				
прямая/ обратная лопата	13,5/16,2	15,2/17,5	16,5/19,8	17,8/20,7
Глубина черпания, м				
прямая/ обратная лопата	3,3/7,9	2,9/8,0	2,7/8,3	3,0/8,0
Высота разгрузки, м				
прямая/ обратная лопата	10,0/10,0	12,0/10,0	13,2/10,0	14,0/11,0
Усилия напора, кН				
прямая/ обратная лопата	1100/800	1330/1050	1870/1290	2320/1800
Усилия отрыва, кН				
прямая/ обратная лопата	1000/850	1250/1155	1850/1450	2320/2000

В Якутии гидроэкскаваторы KMG работают с 1999 г карьерах АК «АЛРОСА», в частности, Н-135S с ковшом 10 м³ и два Н-285S с ковшом 19 м³. На вскрышных работах угольного разреза ОАО «ЯКУТУГОЛЬ» с 2002 г.

работают четыре экскаватора РС-5500 и восемь самых мощных моделей РС 8000, из которых четыре с электроприводами, а на добычных работах экскаватор РС 3000 обратная лопата с удлиненным рабочим оборудованием.

ОАО «Мордовцемент» имеет три экскаватора РС 3000, из которых, наиболее эффективной и производительной, оказалась обратная лопата РС 3000ВН с удлиненным рабочим оборудованием и ковшем 8 м^3 (против 16 м^3 у прямой лопаты РС 3000). Максимальная месячная производительность прямой лопаты РС 3000 с ковшем вместимостью 15 м^3 , при загрузке самосвалов грузоподъемностью 130 т, равная 662 тыс. $\text{м}^3/\text{мес.}$, была зафиксирована на угольном разрезе «Восточно-Бейском» компании ОАО «СУЭК».

На карьере ОАО «Апатит» Начата эксплуатация гидравлического экскаватора РС 4000Е с вместимостью ковша 22 м^3 обеспечивающего среднемесячную производительность до 400 тыс. м^3 .

Высокие производственные показатели работы дизельных экскаваторов РС 3000 были достигнуты и на месторождении кимберлитовых руд «им. Гриба» - «Верхотинский» ГОК в Архангельском регионе, где РС 3000 с рабочим оборудованием прямая лопата и ковшем 15 м^3 , стабильно отгружает в самосвалы грузоподъемностью 130 т вскрышные породы без их предварительного взрывного рыхления в объемах до 500 тыс. $\text{м}^3/\text{мес.}$ На железорудном карьере в ОАО «Карельский Окамыш», эксплуатируются два экскаватора РС 5500Е, обеспечивающие высокие уровни производительности до 533,2 тыс. $\text{м}^3/\text{мес.}$, при значениях коэффициентов использования ($K_{\text{и}}$) 0,82 и готовности ($K_{\text{г}}$) до 0,98.

Компания «Liebherr», практически одновременно с компанией Demag, начала производство гидроэкскаваторов в 1954 г, а сегодня наиболее крупная из 7-ми ее моделей - R 8000 имеет ковш $42,5 \text{ м}^3$ и массу 810 т. Экскаваторы «Liebherr» работают в ряде областей РФ - Ленинградской, Амурской, Архангельской, Кемеровской, Красноярском крае и в Якутии.

Первый гидравлический экскаватор компании O&K (ныне Caterpillar) - обратная лопата с ковшем $0,5 \text{ м}^3$ был выпущен в 1961 г. Сегодня карьерные гидравлические экскаваторы Cat серии 6000 из 8-ми моделей, имеют массу до 980

т и ковши до 52 м³ и оснащены рабочим оборудованием, известным как «TriPower» (рис. 1.1,в), которое имеет поворотное трехплечее звено, к которому шарнирно прикреплены штанга, соединенная с платформой и цилиндры подъема стрелы и поворота ковша.

Компания HITACHI (Япония) выпускает 6 моделей КГЭ с ковшами до 43 м³. На территории РФ и СНГ они эксплуатируются: на угольных разрезах в Биробиджане, Канском, и Красноярском крае, Кемерово; на золоторудных карьерах Хаканджа в Хабаровском крае и Дарасун в Читинской области, Мурунтау (Узбекистан); бокситовом - в Республике Коми и др.

Автор настоящей диссертации на протяжении многих лет, работая на заводе «Демаг», а далее КМГ, занимался испытанием новых машин, разработкой технической документации, технологии восстановления экскаваторов и продвижением продукции завода на мировом рынке.

С опытом создания и эксплуатации КГЭ в России, автор знакомился в течение многих лет лично, а также участвуя в работах конференций, научных семинаров и по публикациям научной информации в специализированных журналах.

1.2.2 Сравнительный анализ гидравлических и механических прямых лопат

Мировая статистика поставок гидравлических и механических лопат с ковшами вместимостью более 15 м³ на открытые горные разработки мира за последние 10 лет показывает, что из общего количества порядка 3000 единиц, около 85% их приходится на КГЭ, из которых более 50%, это обратные гидравлические лопаты [84].

Ответ, на вопрос, какому типу экскаватора – гидравлическому или механическому следует отдать предпочтение, должен базироваться на сравнительных оценках их технических характеристик - геометрических, кинематических и силовых параметров, экономических расчетах, а также учете

особенностей предполагаемых условий их эксплуатации. Принимая во внимание, что типу рабочего оборудования обратная гидравлическая лопата, в настоящее время, нет альтернативы среди механических лопат, то сравнение гидравлических и механических лопат имеет смысл осуществлять *только* для экскаваторов с рабочим оборудованием *прямая лопата*.

Механические лопаты характеризуются следующими параметрами: максимальная высота уступа – не более расстояния до нижней точки головного блока стрелы за вычетом полутора высот ковша; время цикла – 28...40 с; коэффициент наполнения ковша в хорошо взорванном забое – 90...105%; наиболее эффективное сочетание с загружаемым транспортным средством – 3...5 ковшей; наиболее благоприятные условия работы в забое – односторонняя погрузка транспортного средства на уступе оптимальной высоты с хорошо взорванной горной массой, на удовлетворительно выровненной, устойчивой и хорошо зачищаемой подошве с достаточным пространством у забоя для свободного маневрирования автотранспорта – надежное и эффективное средство для многолетней эксплуатации не менее 15...20 лет.

Гидравлические прямые лопаты характеризуются следующими параметрами: оптимальная высота уступа – не более высоты расположения оси крепления ковша на рукояти при максимальном его подъеме; усредненное время цикла 27 с (24...28 с), погрузка хорошо взорванного материала с коэффициентом наполнения ковша 100...110% в транспортное средство за 4...6 циклов, на возможно слабой, удовлетворительно зачищаемой горизонтальной или слабо наклонной подошве уступа, погрузка в автотранспорт на обе стороны – эффективные машины с высоким усилием отрыва, наиболее пригодные, в том числе, и для селективной разработки сложно-структурных участков горных выработок, при их сроке службы до первого капитального ремонта 5...7 лет.

Ниже приведено сопоставление прямых гидравлических и механических лопат по наиболее весомым оценочным показателям основных группам факторов: геологических; технических; технологических; эргономических; экологических и экономических.

Геологические факторы:

Крепость породы (руды) - косвенно обуславливает необходимость осуществления бурения и взрывания массива и, как следствие, определяет возможность применения того или иного типа экскаватора для черпания материала, в том числе, напрямую из целика.

Канатные карьерные экскаваторы (ККЭ) в забоях с плохо взорванной породой, как правило, имеют относительно более высокую производительность по сравнению с карьерными гидравлическими экскаваторами (КГЭ), поскольку обладают большой массой и устойчивостью, развивают достаточно высокие усилия копания и в ряде случаев могут отрабатывать массив без предварительного рыхления. КГЭ более подходят для массовой, высокопроизводительной погрузки горной массы в транспортные средства или дробильные установки хорошо разрыхленных взрывом материалов высокой и средней крепости.

Абразивность породы влияет на износ ковшей, особенно при разборке взорванных крепких и весьма крепких пород. На ККЭ обычно использует тяжелые ковши с хорошей защитой их от износа. КГЭ имеют ковши меньшей удельной массы, что делает их более уязвимыми по износу.

Тип месторождения и его производственная мощность, структура пластов и их число влияют на выбор необходимого типа экскаватора, параметров его рабочего оборудования, вместимости ковша, типа и грузоподъемности сопутствующего транспортного средства. ККЭ, как правило, способны осуществлять только валовую выемку материала из уступа номинальной высоты. КГЭ, в связи с особенностями их рабочего оборудования и дополнительной степенью свободы ковша, незаменимы для селективной выемки разнородных слоев, в том числе из уступов малой мощности. Горные предприятия большой производственной мощности, как правило, предполагают достаточно длительные сроки их эксплуатации – более 20-30 лет и, чаще всего, для них более приемлемым, реже заменяемым и более долгоживущим погрузочным оборудованием, являются мощные ККЭ с электроприводом.

Климатические условия (преимущественно температура окружающей

среды) влияют на вязкость рабочих жидкостей, используемых в КГЭ, снижая ее при высоких и повышая при низких температурах. Для нивелирования отрицательного воздействия особо низких, а также экстремально высоких температур, на КГЭ устанавливают специальные арктические или тропические комплекты оборудования, позволяющие, при вполне умеренных затратах, успешно эксплуатировать их в этих условиях [50]. Электродвигатели эффективно работают в стандартном диапазоне температур $\pm 50^{\circ}\text{C}$ и поэтому электрические ККЭ менее чувствительны к перепаду температур, а смазочные материалы в редукторах всех типов экскаваторов подвергаются равноценным изменениям при колебаниях температур и имеют идентичные средства их подготовки.

В группу *технических и технологических* факторов входят следующие показатели:

Высота черпания, которая наряду с крепостью породы, является определяющей при выборе типа машины в зависимости от заданной высоты уступа. Выбор ККЭ по высоте уступа осуществляется в зависимости от высоты установки головного блока стрелы (рис. 1.2, а), в силу чего они могут безопасно работать в высоких забоях, имея большие высоты черпания и разгрузки, чем прямые КГЭ, в то же самое время, эффективный путь наполнения ковша у ККЭ ограничивается высотой расположения оси седлового подшипника H_0 , а максимальная рекомендуемая высота уступа для него H_p не должна превышать ее более чем на 1,5 высот ковша, поскольку образующийся при этом нависающий козырек опасен по обрушению.

КГЭ имеет рекомендуемую высоту черпания ниже паспортной. В связи с образованием крутого козырька, на высшей точке копания формируется нависающая поверхность забоя, недопустимая по требованиям безопасности (рис. 1.2.б), поэтому максимальная рекомендуемая высота уступа для КГЭ должна быть больше максимальной высоты горизонтального внедрения ковша на величину не более полутора высот ковша. КГЭ прямые лопаты имеют меньшие (по сравнению с ККЭ) линейные параметры рабочего оборудования, а, следовательно, высот черпания и разгрузки, что заставляет машиниста подводить

машину ближе к забою и повышает опасность ее повреждения при обрушении породы.

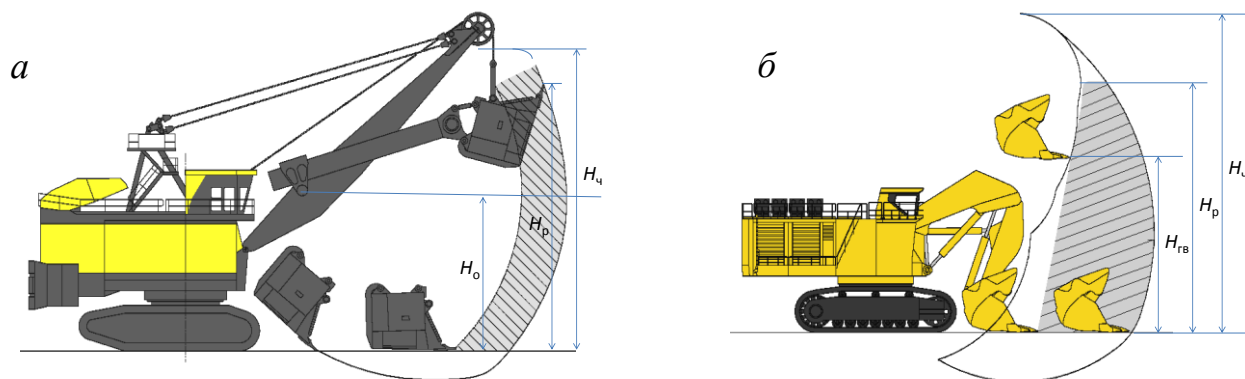


Рис. 1.2. Эффективная рабочая зона копания экскаваторов прямая лопата: *а* – механической; *б* – гидравлической (H_q – максимальная высота черпания (подъема передней кромки ковша); H_p – максимальная рекомендуемая высота уступа; H_o – высота расположения оси напорного вала; $H_{гв}$ – максимальная высота горизонтального внедрения ковша)

Радиус черпания (на уровне стояния) определяет *ширину* заходки. КГЭ при одинаковой с ККЭ вместимостью ковшей, из-за геометрических и кинематических особенностей их рабочего оборудования, позволяющего осуществлять горизонтальное перемещение ковша на дистанцию до 4...5 м, незначительно изменяя при этом усилия внедрения в забой (рис. 1.3, *з*), имеют абсолютное преимущества перед ККЭ по этому показателю, поскольку последние практически не могут осуществлять эффективного горизонтального перемещения ковша по подошве уступа.

Параметры забоя (высота, ширина, угол формируемого откоса, глубина черпания ниже уровня стояния) зависят от линейных параметров рабочего оборудования (стрелы, рукояти и ковша) и степеней его свободы. КГЭ более компактны, в силу чего создаются предпосылки для уменьшения объемов горных работ, а возможность независимого перемещения всех трех элементов их рабочего оборудования позволяют, как планировать заданный угол откоса (рис. 1.3, *е*), так и более эффективно черпать ниже уровня стояния. ККЭ при равной вместимости ковша, как правило, имеют большие линейны параметры рабочего оборудования, их операторы располагаются на большей высоте от подошвы уступа и большем расстоянии от груди забоя, что обеспечивает им большую безопасность в забое и предопределяет необходимость большего пространства

для установки самосвалов под погрузку, а значит увеличения рабочих площадок и затрат на горно-капитальные работы. Кинематика их рабочего оборудования не позволяет планировать пологие углы откоса.

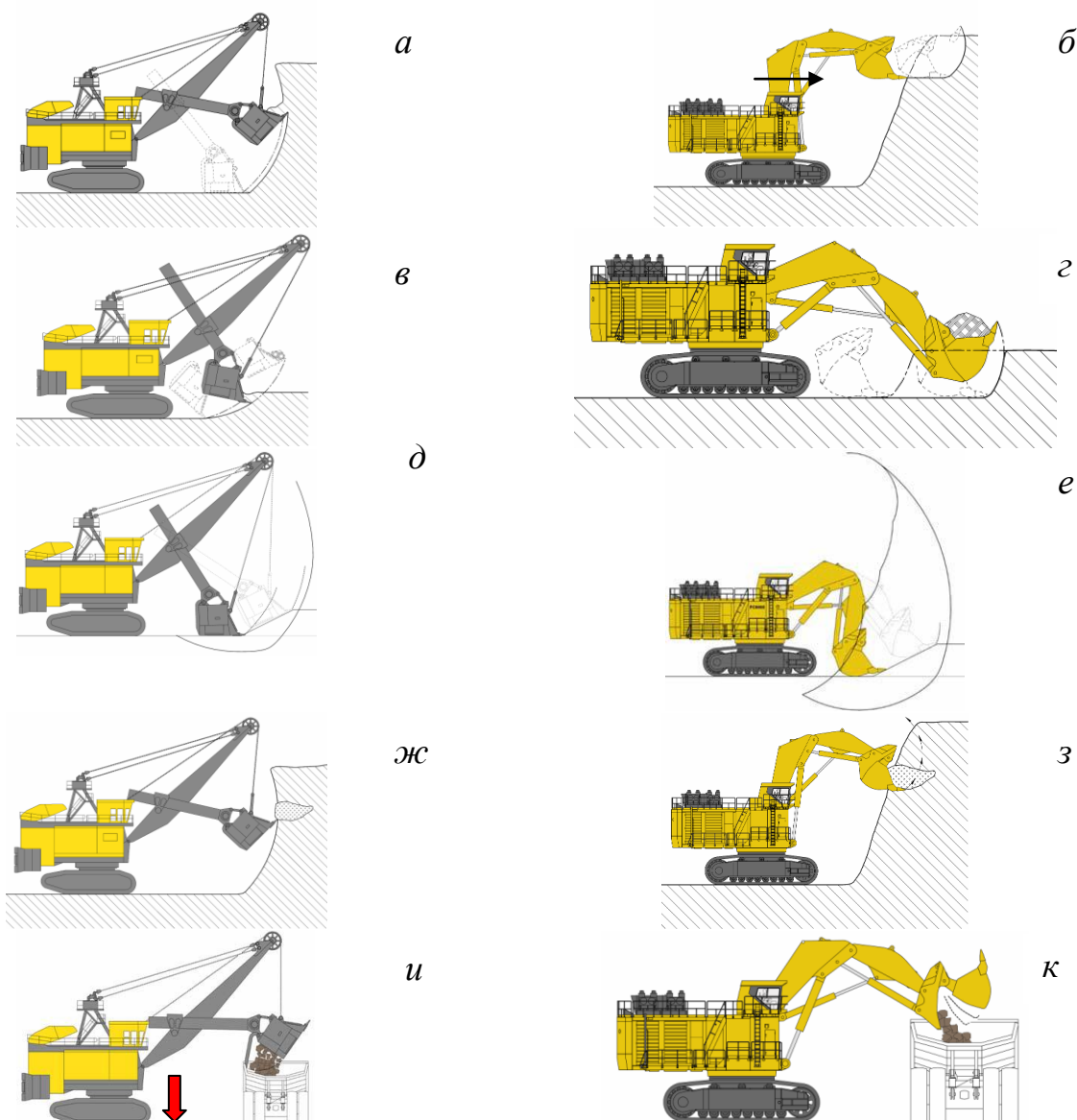


Рис. 1.3. Сравнительные примеры технологических операций прямых механических и гидравлических лопат при: наполнении ковшей на *а* и *б* высоких, *в* и *г* низких забоях; *д* и *е* - планировании откоса и нижнем черпании; *ж* и *з* - извлечении негабаритов; *и* и *к* разгрузки ковшей в транспортное средство

Объем взрываемого блока уступа определяется принятой на разрезе технологией горных работ, размерами рабочих и нерабочих площадок, взаимным расположением уступов и их высотами, свойствами пород и необходимостью их разделения по видам и сортам, условиями безопасности, рабочими параметрами экскаватора. При использовании КГЭ в силу меньших радиуса и высоты черпания в сравнении с ККЭ при той же вместимости ковша ширина и объем

взрываемого блока уменьшается, что в условиях низких температур снижает потери на разработку смерзшегося массива взорванной горной массы.

Вместимость ковша и его конструкция прямо влияет на производительность экскаватора. Мощные механические и гидравлические экскаваторы имеют идентичный размерный ряд ковшей, при различной рабочей массе. Ковши ККЭ, как правило, имеют большую удельную массу и долговечность, их входное сечение ближе к равностороннему, открытие днища – маятниковое, что провоцирует ударный характер его разгрузки в транспортное средство с высоты нескольких метров и опасно для сохранности последнего (рис. 1.3, и).

Челюстные ковши прямых КГЭ имеют большую ширину и значительные входное и выходное отверстия, в результате чего крупные куски породы легко их проходят, уменьшая сопротивление копанию. Контролируемое открытие челюсти позволяет регулировать интенсивность вытекания потока породы при разгрузке ковша, что существенно предохраняет кузов автотранспорта или приемного бункера забойной дробилки от повреждений (рис. 1.3, к). Наличие челюсти позволяет использовать ее для захвата, подъема и сбрасывания с высоты чугунных шаров с целью дробления породных негабаритов. Возможность изменение угла наклона ковша по отношению к рукояти способствует лучшей реализации усилий копания, более быстрому и качественному наполнению и разгрузке ковша.

Коэффициенты наполнения ковша и коэффициенты разрыхления пород в ковше в значительной степени зависят от *гранулометрического состава* (кусковатости) взорванной породы, вместимости и формы ковша, квалификации машиниста, кинематических возможностей рабочего оборудования экскаватора. Возможность поворота ковшей относительно рукояти и эффективная реализация при этом на их зубьях отрывного усилия, обеспечивают загрузку ковшей прямых гидравлических лопат «с шапкой» SAE 2:1 или 1:1, что на 5-10% выше по сравнению с мехлопатами.

Составляющие усилий копания у гидравлических и механических прямых

лопат, реализуемые на зубьях ковшей при внедрении их в забой, в зависимости от типа рабочего оборудования, имеют принципиальные отличия. У КГЭ прямая лопата усилие копания формируется в результате сложения усилий как напора F (от действия сил гидроцилиндров рукояти F_{st}), так и усилия отрыва P_0 (от действия сил гидроцилиндров поворота ковша F_{sh}), при пассивной силовой поддержке гидроцилиндров подъема стрелы (рис. 1.4, *а*). Возможность поворота ковша дает КГЭ существенные преимущества, например, при отрыве тяжелого препятствия на максимальном вылете ковша (рис.1.3, *з*). В этом случае ковш, который имеет закругленную форму передней стенки, при его повороте опирается на нее, в результате чего, опрокидывающий момент от действия силы отрыва, реализуется в точке опоры ковша на забой и не передается на поворотную платформу, как это имеет место, при работе механической лопаты.

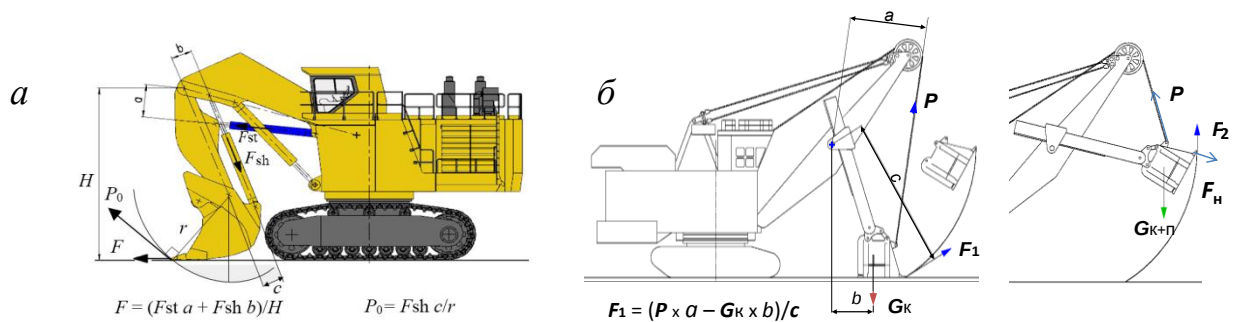


Рис. 1.4. Схемы реализации составляющих усилий копания на ковшах прямых лопат: *а* – гидравлической; *б* – механической

ККЭ создает усилие копания, посредством действия механизмов подъема и напора. Ковш, двигаясь по дуге, постепенно наполняется породой, на пути до достижения высоты оси напорного вала (рис. 1.4, *б*). Противодействие составляющих усилия копания (напора и подъема) и жестко закрепленный на рукояти ковш не позволяют создать высокие, горизонтально направленные усилия копания, особенно в нижней части забоя на уровне стояния экскаватора, где усилие копания F_1 не превышает 38% от усилия подъема ковша P . Максимальные значения усилий подъема ковша (копания) у мехлопат развиваются на блоке его коромысла при вертикальном положении подъемных канатов и горизонтальном расположении рукояти напора, т.е. в точке, где копание и наполнение ковша по регламенту заканчивается, при этом значительная часть

усилия подъема (не менее 30...40%) расходуется не столько на копание, сколько на поддержание половины массы рукояти, массы ковша и породы в ковше. В конечной точке, при полном выдвижении рукояти, усилие копания F_2 не превышает 70% от максимального, при этом составляющая усилия напора F_n используется, главным образом, для удержания ковша в контакте с забоем при его наполнении.

Зачистка подошвы забоя горизонтальной подачей ковша возможна только с рабочим оборудованием гидроэкскаватора, что, совместно с возможностью поворота ковша, обеспечивает высокий коэффициент наполнения ковша даже в очень низких забоях. Эффективность внедрения ковша обеспечивается тремя группами гидроцилиндров, которые, в начальной точке горизонтального перемещения ковша вдоль подошвы уступа, развивают усилие напора F около 82%, а усилие отрыва около 62% от максимального, и далее в конечной точке (в пределах геометрических возможностей конкретной модели экскаватора 3...5,5 м), достигают максимального значения (рис. 1.5).

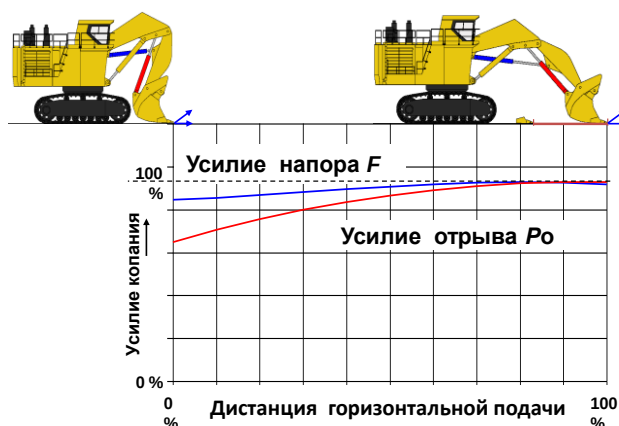


Рис. 1.5. Диаграмма изменения составляющих усилий копания (напора - F и отрыва - P_o) гидроэкскаватора при горизонтальном перемещении ковша вдоль поверхности уступа на максимальный радиус черпания

Для поддержания забоя в зоне погрузки в «чистом» состоянии КГЭ может обходиться без вспомогательного оборудования. У ККЭ, ковш при черпании сразу от подошвы уступа двигается по криволинейной и протяженной (до оси напорного вала) траектории (рис. 1.3, в), таким образом, самостоятельная качественная зачистка подошвы уступа невозможна и в этом случае приходится использовать дополнительное оборудование, например, бульдозер.

Удаление и укладка негабаритных породных кусков осуществляется КГЭ за счет кинематических возможностей горизонтальной подачи ковша и его поворота на любой высоте уступа. Используя ковш в качестве рычага, КГЭ опирается его закругленной передней стенкой на забое и поворотом ковша выламывает негабарит (рис. 1.3, з), при этом опорная реакция на забое не образует опрокидывающего момента относительно гусениц, или он незначителен. ККЭ, как правило, не может эффективно использовать режим возврата рукояти с одновременным подъемом ковша для извлечения негабарита (рис. 1.3, ж), при этом возникает существенный опрокидывающий момент, нагружающий, прежде всего передние катки опорно-поворотного круга и создающий опасный режим с точки зрения потери устойчивости экскаватора.

Паспортные продолжительность цикла и производительность одноковшовых экскаваторов зависят от структуры единичного рабочего цикла состоящего из четырех фаз: копания, поворота на разгрузку, разгрузки, возврата в исходное положение. После отработки рабочей зоны забоя, охватываемой рабочим оборудованием, добавляется пятая фаза - переезд машины на новую позицию.

Усредненное время рабочего цикла при отработке блока у КГЭ меньше, поскольку он имеет возможность начинать отработку уступа с верхней полосы в пределах оптимального угла поворота на выгрузку и, последовательно избегает необходимости каждый раз опускать ковш к подошве уступа, как вынуждена это делать мехлопата. Время, затрачиваемое на операцию поворота в цикле копания, зависит от угла поворота на разгрузку и скорости выполнения операции, которая выше у КГЭ, поскольку момент инерции вращающихся масс у него меньше.

С другой стороны, более длинный вылет рукояти мехлопаты позволяет обеспечивать ей большее количество циклов копания (погрузку большего объема материала с одной точки стояния) за период смены, прежде чем возникнет необходимость переезда машины на новую позицию. Машинист КГЭ должен чаще подъезжать (хотя и на большей скорости) к забою и чаще маневрировать для отгрузки такого же объема горной массы.

Тип привода и энергоснабжение. На КГЭ используется как дизельный, так и электрический привод насосов, тогда как на ККЭ устанавливаются только электрические приводы и подводящие высоковольтные кабели, что снижает их эксплуатационную производительность на 10...15% в связи с необходимостью обслуживания систем энергоснабжения и осуществления, связанных с этим операций на подъездных путях рабочих площадок для автотранспорта. С другой стороны дизельные экскаваторы вынуждены тратить до 30...50 мин рабочего времени в сутки на заправку машин топливом, их выбросы газообразных веществ отрицательно влияют на окружающую среду и они более зависят от колебания цен на энергоносители. Электрические ККЭ более экономичны, потребляют меньше энергии и не выбрасывают диоксид углерода в атмосферу.

Масса машины это фактор, определяющий капитальные вложения на ее приобретение и стоимость эксплуатации, которые, в определенной степени, пропорциональны массе машины. ККЭ с электроприводом, имея большую массу, более устойчивы и долговечны, менее подвержены откатыванию назад во время черпания, особенно при работе на промерзших породах.

Удельное давление на грунт у КГЭ, имеющих значительно меньшую (в среднем почти в 2 раза) по сравнению с мехлопатой массу, соответственно, более низкое.

Маневренность, преодолеваемые уклоны и скорость передвижения более высоки у КГЭ, а благодаря дизельному двигателю, они не зависят от линий энергоснабжения, мобильны при самостоятельных переездах внутри карьера с одного участка на другой. Для перемещения на большие дистанции, в силу сравнительно небольшого веса, даже мощные КГЭ могут транспортироваться с помощью специальных 2-х колесных тележек и тягачей-самосвалов, а также и на трейлерах, что для ККЭ с электроприводом, имеющих большую массу и отсутствие жестко сочлененного с базой рабочего оборудования, осуществить практически невозможно. Преодолеваемые уклоны КГЭ, в силу их меньшей массы и более низкого расположения центра масс при одинаковой вместимости ковша в 1,5...2,5 раза выше по сравнению с ККЭ.

Сочетаемость экскаваторов с автотранспортом по грузоподъемности характеризуется оптимальным количеством ковшей, необходимых для полной загрузки автосамосвала, которое находится в диапазоне 3...5 разгрузок. Мощные КГЭ, например, с ковшом до 42 м³, совместимы с автосамосвалами грузоподъемностью 190...320 т. Мощные ККЭ с ковшами большей вместимости 45...65 м³ совместимы с автосамосвалами грузоподъемностью 320...450 т.

Эргономические факторы учитывают:

Расположение кабины машиниста экскаватора и условия его работы в кабине. Кабины ККЭ устанавливаются на более высоком уровне от подошвы забоя, чем на КГЭ, что улучшает условия загрузки автотранспорта и более безопасно для машиниста, эргономические характеристики кабин обоих типов экскаваторов идентичны и операторы достаточно хорошо защищены от воздействия вибраций и шума.

Управление операциями цикла копания влияет на наполнение ковша. Ковш КГЭ управляется одновременным движением стрелы, рукояти и ковша. Возможность создания усилия отрыва породы поворотом ковша, при опирании его на забой, обеспечивает высокой коэффициент наполнения ковша, однако требует выполнения большого количества движений рук и связано с большей утомляемостью оператора. На ККЭ, из-за меньшего количества движений рук оператора, необходимых для выполнения процесса черпания, снижается нагрузка на его руки, но высокое наполнение ковша требует больших затрат времени на пути черпания от подошвы уступа и до оси напорного вала, работа же их в низких уступах неэффективна.

Профилактическое обслуживание, чистота условий работы на дизельных КГЭ, требует высокой квалификации персонала, соблюдения жесткого режима замены расходных материалов, а также, сохранения чистоты рабочих жидкостей и предупреждения появления их утечек, представляющих потенциальную пожарную опасность также и при прорывах гидрокommunikаций. В то же время, обслуживание гидрооборудования подразумевает минимальное текущее ремонтное вмешательство персонала в процесс его эксплуатации и

предусматривает преимущественно только плановую агрегатную его замену после выработки ресурса или обнаружения неисправностей. Электрические ККЭ менее чувствительны к жесткости условий эксплуатации на карьерах, вибрациям, температурным изменениям, загрязнению среды по пыли, но требуют, помимо штатного обслуживания механизмов и электрооборудования, довольно частой и регулярной замены канатов.

Утилизация жидкостей КГЭ, заменяемых несколько раз в год, представляет серьезную проблему и требует определенных затрат. На электрических ККЭ смена масла в редукторах хода, лебедок подъема, поворота и напора и хода производится раз в год и в меньших объемах.

Пылеобразование при погрузке породы в автосамосвал мехлопатой, вследствие нерегулируемого открытия днища ковша на большей высоте, сопровождается ударом по кузову всего объема горной массы находящейся в ковше, что также способствует активному образованию пыли. У КГЭ челюстной ковш способен плавно разгружать породу, что сохраняет кузов автосамосвала и снижает количество пыли при погрузке.

Экономические показатели включают:

Капитальные затраты на приобретение (издержки владения) экскаватора равного класса по вместимости ковша, для КГЭ существенно меньше, чем для ККЭ, в среднем на 30...40%. Более высокая цена электрических ККЭ определяется большей конструктивной массой и более высокой стоимостью электроники управления, но подразумевает более высокую долговечность машины.

Удельные эксплуатационные расходы на 1 т погруженной горной массы, несмотря на высокие первоначальные затраты на приобретение электрических ККЭ, при значительно более длительном планируемом сроке их эксплуатации чем КГЭ, в среднем в 2...3 раза, как правило, ниже за счет более низких расходов на электроэнергию. Однако, при относительно коротких сроках эксплуатации КГЭ в пределах до 5...7 лет, усредненные эксплуатационные расходы на 1 т погруженной горной массы, как правило, меньше или сопоставимы с аналогичными показателями, характерными для электрических мехлопат.

Расходы на топливо являются важной составляющей эксплуатационных затрат и удельные их значения, отнесенные к единице конечной продукции, могут быть выше затрат на электроэнергию. Расходы на энергию для электрических экскаваторов обычно более стабильные и ниже, чем таковые для дизельных КГЭ. КГЭ, дросселируя рабочую жидкость под высоким давлением и на высокой скорости потока, генерируют большое количество тепла, которое нейтрализуется в больших масляных охладителях, выбрасывающих тепло в атмосферу, в результате чего имеет место потребление большего количества энергии за цикл, по сравнению с ККЭ.

Срок службы (нормативный) КГЭ до первого капитального ремонта в среднем исчерпывается после 5...7 лет (20...30 тыс. ч) эксплуатации. Мощные электрические ККЭ, после 2...3-х капитальных ремонтов, выполняемых обычно на каждом 6...7-м году эксплуатации, сохраняют работоспособность в течение 18...30 лет (120 тыс. ч и более).

Монтаж КГЭ обычно осуществляется на основе модульной сборки за 1 ...15 дней работы, бригадой из 7...8 человек при 10 ч смене. На монтаж мехлопат требуется 50...70 дней и привлечение большего количества специалистов (до 30), более высокой квалификации.

Ликвидационная стоимость перепродажи экскаватора к концу срока эксплуатации (на рынке оборудования бывшего в употреблении), у КГЭ, в связи с более низкой его начальной ценой, ниже, чем у ККЭ и это делает его более конкурентоспособным.

Инфраструктура поддержки и сервиса у КГЭ должна быть более продвинутой, особенно при эксплуатации их в низкотемпературных зонах, где помимо заправщика и сервисной мастерской, должны быть предусмотрены специальные арктические комплекты.

Страховые обязательства обычно учитывают более высокий риск возникновения пожара на КГЭ вследствие наличия на них большого количества горючих жидкостей (несколько тысяч литров), что повышает ставку страхового процента по сравнению с электрическими ККЭ.

Заключение

Сравнительный анализ возможностей карьерных гидравлических и механических лопат, прогноз специалистов и мировой опыт показывают, что объемы поставок на мировой рынок карьерных экскаваторов с ковшами вместимостью 25...45 м³ смещаются в сторону КГЭ и эта тенденция продолжает укрепляться по причине интенсивного совершенствования их конструкций, повышения качества машин, конкурентоспособности цен владения и эксплуатационных затрат в определенном секторе горного производства. На открытых горных работах очень широко используются обратные гидравлические лопаты, альтернативы которым среди механических лопат нет и предприятия имея это оборудование и развитые сервисные службы их поддержки, приобретая ценный опыт эксплуатации гидравлического оборудования, в том числе и в условиях холодного климата, охотно идут на замену механических прямых лопат гидравлическими, чем устраняют нежелательную эклектику в номенклатуре оборудования. Относительно более короткий срок службы КГЭ, в первую очередь комплектов их гидрооборудования, при их полной замене во время капитального ремонта, позволяет получить восстановленную машину с более высокими эксплуатационными качествами и более высокой производительностью. Более часто сменяющиеся новые поколения КГЭ позволяют получать оборудование более высокого технического уровня за более короткие промежутки времени, при относительно меньших затратах по сравнению с темпами модернизации ККЭ.

Высококомобильные дизельные КГЭ являются наилучшими машинами для раздельной выемки прослоек и селективной разборки смешанных залежей, где требуются частые перемещения или в ситуациях, где отсутствует электроснабжение.

1.3 Анализ факторов, влияющих на формирование надежности гидросистем горного оборудования

Горное оборудование на открытых разработках эксплуатируется в условиях, обусловленных нестационарностью режимов его нагружения,

загазованностью и подчас высокой влажностью воздуха, резкими колебаниями температуры, атмосферными осадками, нестабильностью физико-механических свойств горных пород и т.п.

Известно, что исходная надежность изделия формируется на этапе его конструирования, обеспечивается уровнем технологии производства и монтажа, а реализуется в процессе эксплуатации. Надежность изделия в процессе эксплуатации постоянно снижается, но может быть восстановлена после проведения ремонтных операций. Схема формирования надежности, в частности, гидравлических экскаваторов показана на рис 1.6.

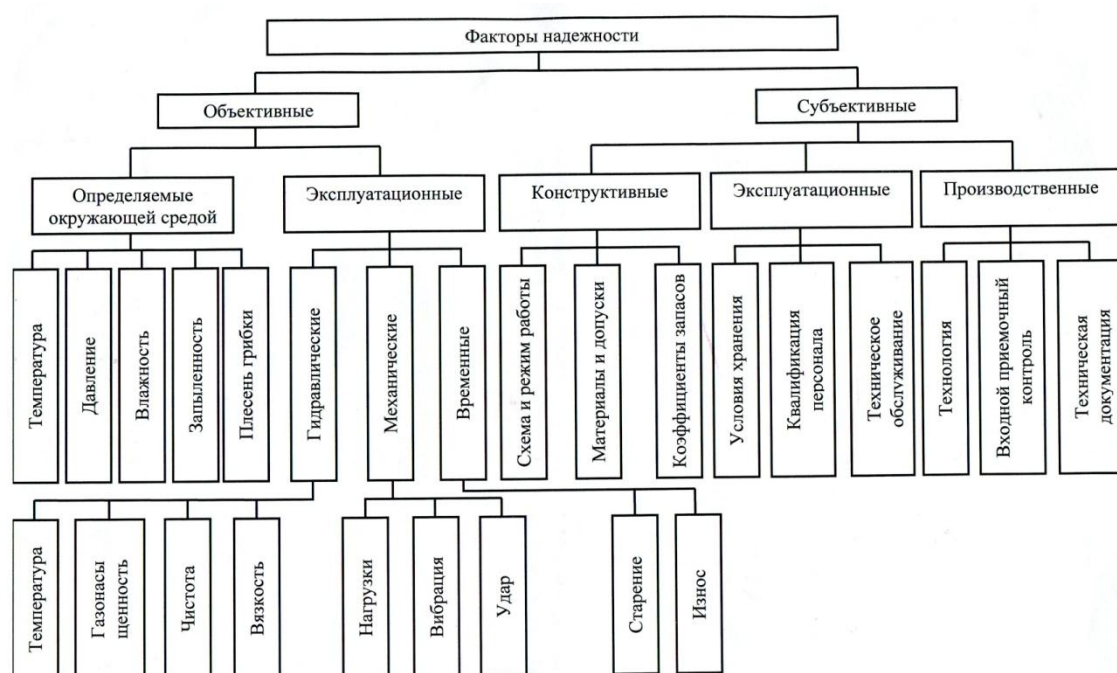


Рис. 1.6. Схема формирования надежности гидравлических экскаваторов

При эксплуатации гидроэкскаваторов, на уровень их надежности воздействуют различные факторы, обусловленные объективными и субъективными причинами. *Объективные* эксплуатационные факторы, оказывающие влияние на надежность гидропривода можно подразделить на три группы: климатические гидравлические и механические.

К *климатическим факторам* относятся температура, влажность, солнечная радиация и запыленность окружающей среды.

Температура окружающей среды является одним из наиболее активных факторов. Повышение температуры окружающей среды вызывает ускорение

процесса старения многих пластмасс и резинотехнических изделий, снижает вязкость масла, что приводит к увеличению его утечек через зазоры и уплотнения.

Низкая температура, в свою очередь: снижает механическую прочность материалов, увеличивая их хрупкость, способствуя разрушению; увеличивает вязкость рабочей жидкости, вызывая дополнительные потери давления за счет увеличения сопротивления трения в трубопроводах, особенно гибких, снижая мощности, ухудшая механические характеристики гидропривода. Весьма отрицательно на рабочих характеристиках привода сказывается возможный периодический (суточный) перепад температур через ноль, что характерно при эксплуатации гидросистем в условиях северных регионов или значительного высокогорья. Это сопровождается изменением линейных размеров материалов и может отрицательно сказываться на паяных и сварных соединениях, деформациях деталей и приводить к другим последствиям.

Влажность воздуха оказывает влияние на работоспособность привода. На поверхности материала уже при относительной влажности 60...70% появляется молекулярный слой воды, который, проникает по порам внутрь материала, вызывает электрохимическую коррозию, изменяет химические свойства проводников и изоляции.

Запыленность воздуха, насыщенного пылью, содержащей частицы кварца, двуокиси кремния, окиси железа и др. ускоряет изнашиваемость трущихся пар, загрязняет РЖ, забивает дроссели и каналы, вызывает потерю глянца покрытий, увеличивает чувствительность поверхностей к коррозии.

К *гидравлическим факторам*, определяющим работоспособность рабочей жидкости (РЖ), относятся: чистота, температура, газонасыщенность (преимущественно воздухом) и ее вязкость. В отказах гидропривода карьерного оборудования, основную долю составляют отказы, вызванные загрязненностью РЖ механическими примесями в результате изнашивания сопрягаемых деталей, а также попадающими в нее в процессе производства, монтажа и при заправке гидросистем. При загрязнении РЖ наблюдается интенсивное изнашивание трущихся пар и распределительных устройств насосов, в результате чего

снижается объемный КПД, изменяются коэффициенты расходов дросселей и сопел, увеличиваются утечки РЖ из-за изнашивания элементов привода, уменьшаются жесткость гидравлической системы и скорость движения исполнительных органов.

Начальная температура РЖ изменяется в результате перетекании ее через малые зазоры, при этом изменяется: вязкость, плотность РЖ и, как следствие, сопротивление внутренних каналов привода, усилия и скорости на выходном звене. При увеличении вязкости РЖ до определенных пределов, благодаря уменьшению утечек возрастает объемный КПД, однако при этом увеличивается сила трения и уменьшается механический КПД. Для обеспечения высокого КПД, температура РЖ должна быть оптимальной, обеспечивающей минимальные суммарные потери, а содержание воздуха в РЖ (воздухонасыщение) определяет ее упругость и смазывающие свойства.

Воздух может проникать в гидросистему как в момент монтажа и ремонта, так и в период эксплуатации. Наиболее интенсивный подсос воздуха происходит в зонах пониженного давления по линиям всасывания, а также, когда сливные и дренажные горловины трубопроводов находятся на поверхности уровня жидкости в баке. Источником насыщения РЖ воздухом является также кавитация, которая возникает при местном уменьшении давления ниже критического значения, вследствие больших местных скоростей движения РЖ.

РЖ в гидросистеме практически всегда содержит воздушную составляющую, как в растворенном, так и нерастворенном виде. Наличие в РЖ нерастворенного воздуха, кроме изменения динамических характеристик привода (устойчивости и точности работы), приводит к недополнению рабочих объемов насосов и к снижению их коэффициента подачи и КПД. Воздух интенсифицирует кавитацию в дроссельных элементах, что снижает их расходные характеристики. Наличие воздуха в РЖ вызывает высокочастотные колебания давления в каналах привода, что приводит к повышению уровня вибрации, сказывается на сжимаемости РЖ, заполняющей рабочие камеры, вызывая дополнительные затраты мощности.

Длительное дросселирование РЖ при больших перепадах давления приводит к снижению ее вязкости. При взаимодействии РЖ с кислородом растворенного и нерастворенного воздуха на поверхности раздела, приводит к окислению. При этом в РЖ накапливаются кислоты, смолы, асфальтены и др. продукты, которые на поверхности металла образуют отложения, увеличивающие гидравлическое сопротивление и абразивный износ. Продукты взаимодействия РЖ с кислородом обладают кислотными свойствами, поэтому снижают ее противокоррозионную способность.

Старение РЖ – это изменение ее состава и свойств (вязкости и смазывающей способностей), под влиянием высоких давлений и процессов окисления и полимеризации. Срок службы масла зависит от условий эксплуатации привода и, главным образом, определяется давлением, температурой, газонасыщением и длительностью контакта с катализирующими материалами (медью, оловом и др.).

К *механическим факторам*, определяющим работоспособность гидропривода вследствие его эксплуатации относятся изменения нагрузки, удары и вибрации.

Нагрузки, возникающие в результате силового взаимодействия привода с окружающей средой, подразделяются на позиционные и инерционные.

Позиционная нагрузка влияет, в основном, на статические характеристики. Постоянная противодействующая сила на выходном звене привода приводит, соответственно, к уменьшению или увеличению скорости выходного звена. Позиционная нагрузка на выходном звене изменяет АЧХ и увеличивает фазовые сдвиги, что изменяет запасы устойчивости и быстродействие привода.

Инерционная нагрузка влияет на динамические свойства привода и, совместно со сжимаемостью рабочей жидкости, обуславливает появление резонансных режимов и колебательных переходных процессов в гидроприводе, ударов. Для неупругих конструкций удар вызывает затухающие колебания на собственной частоте, а в упругих материалах появляются усталостные трещины и изломы.

Вибрации в гидроприводе могут возникать и вследствие неравномерности, как подачи насосов, так и крутящего момента на выходном валу, циклического изменения реакции на опорных подшипниках, действия центробежных сил, увеличения зазоров, и кавитация РЖ в гидролиниях, турбулизации потока и др.

В процессе эксплуатации гидросистем возникают отказы, которые по скорости их протекания можно подразделить на три категории: быстро, среднескоростные и медленно протекающие.

Первые характеризуются большими скоростями изменения параметров за доли секунды - это вибрации элементов с резонансным возбуждением, пульсации давления в рабочих полостях и трактах. Они влияют на взаимное расположение элементов, нарушая их взаимосвязь и искажают рабочий процесс привода.

Среднескоростные процессы протекают за время рабочего цикла машины, измеряемого минутами и часами, возникающие в результате изменения температуры рабочей среды, влажности, физических свойств РЖ и др. Они приводят к постепенным отказам.

Медленно протекающие процессы действуют в течение всего периода эксплуатации машины. К ним относятся: изнашивание трущихся деталей, естественное старение и усталость материалов, сезонное изменение температуры и влажности.

При эксплуатации гидросистемы имеет место весьма сложный механизм потери ее работоспособности под воздействием всего комплекса вышеупомянутых факторов, происходит постепенное ухудшение ее параметров, а потеря работоспособности произойдет тогда, когда фактическая наработка конкретного ее элемента превзойдет расчетный лимит, ресурс его будет выработан, в результате чего произойдет постепенный или износный отказ.

Выводы и задачи исследования

Анализ современного состояния механизации выемочно-погрузочных работ

с применением одноковшовых карьерных экскаваторов на открытых горных работах в ряде отраслей горной промышленности РФ, сравнения технологических характеристик КГЭ и ККЭ, изучения проблем поддержания высокого уровня надежности гидрофицированных средств механизации и изучения факторов, влияющих на ее формирование, позволяют сделать следующие выводы:

1. Объемы поставок на мировой рынок карьерных экскаваторов с ковшами вместимостью 25...45 м³ смещаются в сторону КГЭ вследствие интенсивного совершенствования их конструкций, повышения качества машин, конкурентоспособности цен владения и эксплуатационных затрат. Очень широко используются обратные гидравлические лопаты, альтернативы которым среди механических лопат нет. Предприятия создают развитые сервисные службы поддержки КГЭ, приобрели ценный опыт эксплуатации гидравлического оборудования, в том числе и в условиях холодного климата, преимущественно идут на замену ККЭ гидравлическими, чем устраняют нежелательную эклектику в номенклатуре оборудования.

2. Обеспечение высокой готовности КГЭ при их эксплуатации на горных предприятиях РФ, должно осуществляться за счет повышения, как индивидуальной надежности их компонентов, так и собственно оборудования в целом, сокращения частоты отказов при эксплуатации и длительность простоев их в ремонте, что является актуальными, в связи с имеющим место широким применением КГЭ, в частности компании KMG.

3. На надежность работы КГЭ воздействуют, как факторы окружающей среды (температура, влажность, запыленность, физико-механические свойства горных пород, как объектов взаимодействия), так и эксплуатационные факторы, вызывающие изменения состояния компонентов их гидравлической, механической и других подсистем, а заданный высокий уровень готовности их к работе должен обеспечиваться внедрением экономически обоснованной периодичностью своевременных замен расходных и изнашивающихся элементов, позволяющих также регулировать срок эксплуатации службы машин в заданных пределах.

Задачи исследования

- сопоставительный анализ технологических характеристик современных канатных и гидравлических карьерных экскаваторов и оценка перспектив их применения на горных предприятиях РФ;
- анализ методов получения данных о надежности (отказах, времени восстановления и готовности) компонентов ГЭ за необходимый промежуток времени, обработка массивов статистических наблюдений, определение количественных значений исследуемых СВ и установление статистических закономерностей их распределения;
- разработка номенклатуры учета отказов компонентов ГЭ и оценка коэффициентов их готовности применительно к КГЭ, используемых на конкретных горных предприятиях с учетом условий контракта;
- разработка блок-схемы КГЭ, отражающей функциональные связи всех систем и механизмов в общей структуре гидравлического экскаватора в их взаимодействии;
- формирование исходного комплекта технической базы экскаваторов компании KMG, учитывающего сроки службы и нормы трудовых затрат на замену и обслуживание их компонентов;
- разработка графиков комбинированной замены компонентов (стратегии обслуживания) КГЭ, обеспечивающих заданный уровень готовности его к работе и установленный срок службы до списания;
- разработка математической модели оценки изменения стоимостных показателей эксплуатации КГЭ, показывающей уровень его готовности к работе, позволяющей оптимизировать расходы на эксплуатацию в течение устанавливаемого срока его работы до списания, учитывающей ставки дисконтирования, снижение надежности оборудования в результате его старения.

КМГ, что позволяет унифицировать номенклатуру комплектующих и запчастей, периоды сервисного обслуживания машин и профилактических замен их элементов, прежде всего, в гидравлических системах, что существенно снижает длительности простоев экскаваторов в ремонтах, увеличивает их надежность и физическую готовность к эксплуатации.

В результате анализа конструкций КГЭ производства КМГ (их металлоконструкций, схем позиционирования силового и насосного, рабочего и ходового оборудования), нами предложена универсальная структурная блок-схема КГЭ (рис. 2.2), отражающая функциональные связи компонентов, как гидравлических систем, так и основных механизмов в общей структуре гидравлического экскаватора, в их взаимодействии. Более детальная характеристика компонентов, входящих в каждую функциональную группу экскаватора дана ниже в главе 3.

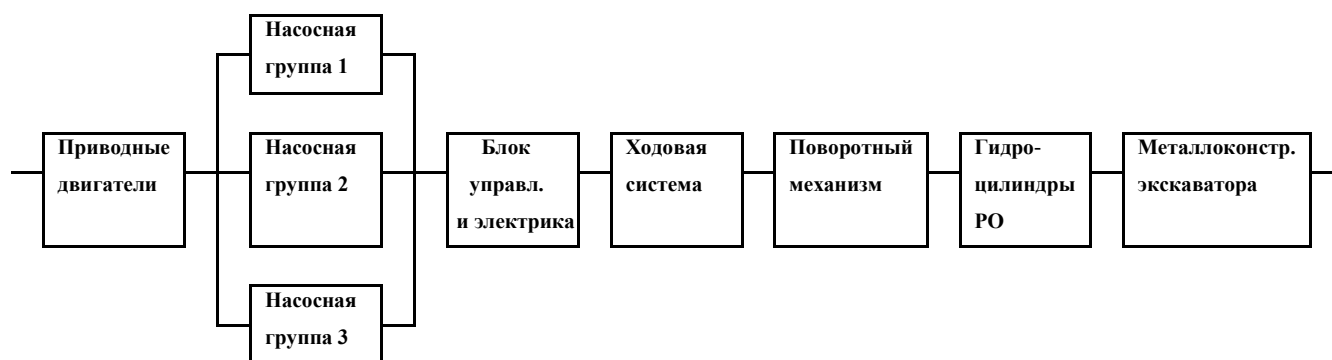


Рис. 2.2. Универсальная обобщенная структурная блок-схема КГЭ типа РС

Анализ блок-схемы показывает, что, в основном, все функциональные группы гидравлического и механического оборудования экскаватора типа РС имеют последовательное, с позиций надежности взаимодействие, поскольку отказ одной из групп приводит непосредственно к отказу всего экскаватора в смысле **полноценной** его эксплуатации, хотя и сохраняет (частично) возможность функционирования его отдельных элементов и агрегатов.

Вероятность безотказной работы такой системы определяется выражением

$$P_{\text{сист}} = \prod_{i=1}^M P_i, \quad (2.1)$$

где P_i - вероятность безотказной работы i -го элемента; M – общее число последовательно взаимодействующих элементов.

Если известны вероятности отказа q_i каждого i -го последовательного элемента системы, то формула (1) принимает вид

$$P_{\text{сист}} = \prod_{i=1}^M (1 - q_i).$$

Средняя наработка на отказ системы последовательно взаимодействующих элементов определяется по зависимости

$$T_{1(\text{сист})} = \left(\sum_{i=1}^N \frac{1}{T_{1i}} \right)^{-1}, \quad (2.2)$$

где T_{1i} – средняя наработка на отказ i -го элемента подсистемы.

Поскольку для отдельных гидрокомпонентов ГЭ требуются различные по объему и содержанию работы по техническому обслуживанию и ремонту (ТО и Р), представляется целесообразным подразделить гидросистему на функциональные группы, в которые входили бы элементы, имеющие примерно одинаковые характеристики по стоимости владения, времени восстановления, в частности, планируемым срокам службы, ТО и Р, а также показателям надежности, что априори, возможно сделать, основываясь на результатах накопленных ранее статистических наблюдений при эксплуатации КГЭ и отчетов сервисных служб.

Так известно, главными причинами выхода из строя компонентов гидроэкскаваторов являются постепенные износные повреждения *рукавов высокого давления - шлангов* по причине их усталостного разрушения, а в условиях эксплуатации при низких температурах, разрывы мест их перегибов и вздутия, как следствие увеличения внутреннего давления связанного с повышением вязкости переохлажденной РЖ, особенно при запусках после длительных простоев;

У гидроцилиндров - две главные причины выхода их из строя: разрушение шевронных уплотнений (в результате - повышение утечек или внутренние байпасные переточки) или механические повреждения штоков поршней в результате ударов камнями, касания бортами самосвалов или проникновения грязи в грязесъемники и задира зеркальных поверхностей.

Насосы и моторы теряют давление в результате внутреннего износа или внешних повреждений роторной группы.

Основные *металлоконструкции* верхнего поворотного строения и рамы ходовой части, как показывает опыт эксплуатации КГЭ, обладают очень высокой наработкой на отказ по сравнению, с элементами гидросистемы, а также и с элементами машин, активно взаимодействующими с горной породой (в США они имеют стандартизированное название GET - Ground Engaging Tools), как объектом разрушения при копании, так и с грунтовым основанием по которому они перемещаются. Это - рабочее оборудование (ковш, рукоять и стрела), а также опорные элементы ходового оборудования (траковые ленты, опорные катки, ведущие звездочки, натяжные колеса, поддерживающие ролики).

Ковши: главные их повреждения – трещины в структуре материалов по разным причинам (плохая сварка, неправильные приемы эксплуатации, недопустимые перегрузки и т.д.), которые по регламенту должны немедленно устраняться, во избежание развития повреждений. Другая причина – их высокий износ, что требует своевременной замены изношенных деталей, во избежание повреждения базового материала ковшей.

Система хода: преждевременные поломки чаще всего происходят по причине перегрузки или при переезде через крупные и острые скальные куски, что приводит к разрушению опорных элементов системы.

Кабельные барабаны (только на экскаваторах с электроприводом насосной станции) часто выходят из строя не по причине износа, а из-за повреждения ковшами экскаваторов, отвалами бульдозеров или кузовами самосвалов.

2.2 Показатели для количественной оценки надежности работы компонентов карьерного гидравлического экскаватора

При оценке и анализе надежности систем, в соответствие с действующим в РФ ГОСТ 27.002-89 "Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения", в данной работе, использованы следующие, принятые обозначения показателей надежности:

T_1 - средняя наработка до отказа для невосстанавливаемых элементов;

T - средняя наработка на отказ для восстанавливаемых элементов;

$\lambda(t)$ - интенсивность отказов;

$\omega(t)$ - параметр потока отказов для восстанавливаемых элементов;

$P(t)$ - вероятность безотказной работы;

K_{Γ} - коэффициент готовности;

$K_{\Gamma\Gamma}$ - коэффициент технической готовности;

$K_{\text{И}}$ - коэффициент использования;

t_i - время до отказа i -того объекта;

τ - время на ликвидацию отказов;

$q(t)$ - вероятность отказа объекта;

$m(x)$ - математическое ожидание случайной величины (СВ);

$D(x)$ - дисперсия СВ;

σ_x - среднеквадратическое отклонение СВ;

v_x - коэффициент вариации СВ.

Эффективность эксплуатации оборудования в значительной степени зависит от его надежности и поэтому имеет смысл обратиться к каноническим определениям ее сущности и терминологии, принятым в мировой практике машино- и приборостроения [72], которые мы применяли при проведении наших исследований.

Определение терминов “Надежность”, “Готовность”, “MTBF” (среднее время между отказами) и “MTTR” (среднее время ремонта).

Надежность (Reliability) - это способность системы или компонента системы выполнять требуемые функции при определенных обстоятельствах в

течение заданного периода времени.

Готовность (Availability) - это степень доступности системы или компонента к эксплуатации в случае необходимости. Это понятие можно рассматривать как вероятность того, что система или компонент в состоянии выполнять требуемые функции при заданных условиях в определенный момент времени. Готовность определяется надежностью системы, а также количеством времени, которое требуется на восстановление в случае отказа.

Высокая готовность и высокая надежность неразрывно связаны, однако они не являются взаимозаменяемыми терминами.

MTBF, или среднее время между отказами, - это основной показатель надежности системы. Обычно он выражается в часах. Чем выше значение MTBF, тем выше надежность продукта.

Надежность оборудования, она же и вероятность безотказной его работы определяется как

$$P(t) = e^{-t/T}, \quad (2.3)$$

где T – эквивалент MTBF, ч; t - количество отработанных моточасов.

MTBF влияет как на надежность, так и на готовность. Зачастую большее внимание уделяется готовности, так как в случае сбоя важнейшим параметром является оперативность восстановления рабочего состояния системы.

MTTR, или среднее время восстановления системы после отказа, которое может включать время, необходимое для диагностики неисправности, для вызова специалиста на место, а также время, необходимое для физического ремонта системы.

В случае отказа решающим фактором становится количество времени, необходимое для возвращения оборудования и производственных процессов в рабочее состояние с целью максимального уменьшения времени простоя.

На практике же в режиме работы “на износ” срок эксплуатации продукта оказывается намного меньше значения MTBF. Поэтому между сроком эксплуатации продукта и частотой отказов (или MTBF) не может быть прямой зависимости. Вполне возможно получить продукт с высокой надежностью

(MTBF) и, тем не менее, небольшим предполагаемым сроком эксплуатации.

MTTR влияет на готовность, но не влияет на надежность. Чем выше значение MTTR, тем хуже состояние системы, т. е., чем больше времени требуется системе для восстановления, тем ниже уровень готовности системы.

Коэффициент готовности K_T – это отношение количества отработанных моточасов T_O к сумме отработанных моточасов и времени восстановления компонента T_B

$$K_T = T_O / (T_O + T_B) \quad (2.4)$$

Для того чтобы уравнения 2.3 и 2.4 были применимы, при анализе значения MTBF системы, необходимо дать точное определение отказа и оговорить допущения. В нашем случае отказ – это невозможность экскаватора в целом выполнить требуемые функции, а допущения – это группа условностей, которые ограничивают круг отказов, которые по тем или иным соображениям не следует учитывать при оценке MTBF конкретной системы и машины. Например, может не учитываться отказ, возникший в результате отсутствия энергии или транспорта, расходных материалов, неправильной эксплуатации оборудования, повреждения машины внешним воздействием, выхода из строя дизеля и др. Все эти условия обычно оговариваются условиями контракта на эксплуатацию изделия между заводом-изготовителем и потребителем.

Работу объекта (в нашем случае экскаватора, а также и его составных компонентов: гидрооборудования, ходового, электрооборудования, рабочего оборудования и "другое") между отказами будем называть наработкой на отказ.

Для *невосстанавливаемых* элементов и систем основными количественными характеристиками являются: средняя наработка до отказа (математическое ожидание наработки объекта до отказа) – T_1 , интенсивность отказов – $\lambda(t)$ и вероятность безотказной работы (вероятность того, что в пределах заданной наработки t отказ объекта не возникнет) – $P(t)$.

Если каждый из N однотипных объектов отказали, и время до отказа объекта определено как $t_1, t_2, \dots, t_N$, то

$$T_1 = \sum_{i=1}^N t_i / N \quad (2.5)$$

Интенсивность отказов $\lambda(t)$ представляет собой условную плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемую при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Для оценки безотказности восстанавливаемых элементов и систем используем среднюю наработку на отказ (восстанавливаемая система) – T ; параметр потока отказов – $\omega(t)$ и вероятность безотказной работы – $P(t)$.

Средняя наработка на отказ T , это отношение суммарной наработки $t_{\text{сум}}$ восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов n в течение времени этой наработки, а именно

$$T = t_{\text{сум}} / n \quad (2.6)$$

Если наблюдаются N однотипных, по функциональному назначению, объектов, работающих в одинаковых условиях, то допускается объединение результатов наблюдений в единый статистический массив и

$$T = \sum_i^N (t_{\text{сум}i} / n_i) / n \quad (2.7)$$

где $t_{\text{сум}i}$ и n_i соответственно суммарная наработка и соответствующее ей количество отказов i -го объекта ($i = 1, 2 \dots N$).

Параметр потока отказов $\omega(t)$ как отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку Δt к значению этой наработки, определяется по формуле

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t} \{M[n(t + \Delta t) - n(t)]\} / \Delta t, \quad (2.8)$$

где разность $n(t + \Delta t) - n(t)$ представляет собой число отказов за наработку Δt . При практических расчетах надежности иногда удобнее пользоваться показателем "вероятность отказа" объекта $q(t)$ и поскольку "безотказная работа" и "отказ" объекта-события противоположные, то $P(t) + q(t) = 1$.

Для простейшего потока отказов величина параметра потока отказов $\omega(t) = \omega = \text{const}$ и равна обратной величине средней наработки объекта на отказ, т.е. $\omega =$

$1/T$. Если объект является невосстанавливаемым, то интенсивность отказов $\lambda(t) = \lambda = const$ и $\lambda = 1/T_1$.

Показатели безотказности ω и λ имеют размерность обратную наработке до отказа T_1 или средней наработки на отказ T . Для T_1 и T , с размерностями часы, тонны или кубометры, размерности ω и λ будут соответственно: $ч^{-1}$, $т^{-1}$ или $(м^3)^{-1}$.

2.3 Основные показатели количественной оценки надежности работы гидравлических экскаваторов K_G , K_{TG} и K_{II} , характеризующие их надежность

Коэффициент готовности K_G , в общем виде, определяется отношением времени исправной работы к сумме времени исправной работы и вынужденных простоев объекта, взятых за один и тот же календарный срок или применительно к экскаваторам, работающим в карьере, отношением разности между часами отработанными экскаватором в карьере и часами простоев, затраченных на ликвидацию возникших за этот период «тех или иных проблем» ко времени отработанному экскаватором в карьере.

Классификация причин простоев и отказов, а также формулировка ряда показателей надежности (в частности, K_G , K_{TG} , K_{II}) применительно к гидравлическому экскаватору были разработаны автором, сотрудником сервисной службы компании KMG. Она явилась методической основой для учета необходимого перечня и объемов статистической информации, необходимой для оценки показателей надежности работы гидравлических экскаваторов РС 5500, эксплуатирующихся на карьерах рудоуправления ОАО «Карельский Окамыш», и была утверждена условиями договора заказчика на их эксплуатацию, в виде приложений к Методике [41].

На основании многолетнего опыта эксплуатации гидроэкскаваторов, в частности с электроприводом насосной станции, нами была предложена систематизация их отказов по следующим 17-ти категориям, которым были присвоены коды в порядке их перечисления:

1. Электрические цепи – высоковольтные;
2. Электрические цепи – средневольтные;
3. Электрические цепи – низковольтные;
4. Электромотор;
5. Гидравлика;
6. Трансмиссии (редуктора);
7. Система смазки поворотного зубчатого венца;
8. Централизованная система смазки;
9. Система аэрокондиционирования;
10. Система гусеничного хода;
11. Кабельный барабан;
12. Система управления;
13. Кабина;
14. Ковш и элементы рабочего оборудования;
15. Плановые остановки (простои);
16. Оперативные (внеплановые) остановки;
17. Прочие причины.

В свою очередь, в каждой категории регистрировались отказы по конкретным компонентам (табл. 2.1, Приложения), количество которых в данном наблюдении составляло 143.

Ниже приводятся формулировки основных показателей K_G , K_{TG} и $K_{и}$, характеризующих надежность ГЭ в соответствии с вышеупомянутой утвержденной методикой.

Коэффициент готовности экскаватора K_G , определяется как отношение разности между часами отработанным экскаватором в карьере T^1 * (см. сноску) и затраченными на ликвидацию возникших за этот период «технических проблем» T_{TP} ко времени отработанному экскаватором в карьере.

$$K_G = (T - T_{TP})/T. \quad (2.9)$$

¹ *Величина T принята как полный баланс календарного времени за рассматриваемый период.

В сумме часов простоя, затрачиваемых на ликвидацию «технических проблем» $T_{\text{ТП}}$, учитываются неисправности, возникающие в результате эксплуатации оборудования, которые систематизируются по основным конструктивным группам компонентов экскаватора: первичный двигатель (дизель или электромотор); электрические сети; редукторы (насосной станции, вращения платформы, гусеничного хода); гидравлические главные насосы, насосы станций смазки – центральной и поворотного круга, моторы вращения и хода; гидравлические цилиндры (стрелы, рукояти, ковша и челюсти); блоки управляющих клапанов и золотников; система охлаждения масла; поворотный круг; группа осей, втулок, вкладышей и уплотнений рабочего оборудования; гусеничное ходовое оборудование (ведущие звездочки, опорные и поддерживающие катки, натяжные колеса и их цилиндры, траки).

Коэффициент технической готовности экскаватора $K_{\text{ТГ}}$, определяется как отношение разности между часами отработанными экскаватором в карьере и суммой времен, затраченных на ликвидацию возникших за этот период «технических» проблем $T_{\text{ТП}}$, на «ремонт и замену компонентов ковшей и рабочего оборудования» $T_{\text{РО}}$ и на «плановые ТО и Р» $T_{\text{ТО}}$ ко времени отработанному экскаватором в карьере

$$K_{\text{ТГ}} = (T - T_{\text{ТП}} - T_{\text{РО}} - T_{\text{ТО}})/T \quad (2.10)$$

В группе «ремонт и замена компонентов ковшей и рабочего оборудования» $T_{\text{РО}}$ учитываются простои, связанные с оперативным устранением неисправностей рабочего оборудования: трещин в боковых стенках ковша, челюсти, рукояти; износа всех элементов имеющих контакт с породой (GET); осей, проушин, уплотнений гидроцилиндров и др.

В группе «плановые ТО и Р» учитывается сумма времен простоев $T_{\text{ТО}}$, связанных с выполнением запланированных процедур по планово-предупредительному обслуживанию и ремонту механических и электрических систем экскаватора, проведению ревизии и модификаций, выполнение превентивного крупного ремонта и даже капитального, если возникает такая необходимость.

Коэффициент использования экскаватора $K_{И}$, определяется как отношение разности между часами отработанными экскаватором в карьере и суммой времен, затраченных: на ликвидацию возникших за этот период «технических» проблем $T_{ТП}$, на «ремонт и замену компонентов ковшей и РО» $T_{РО}$, на «плановые ТО и Р» $T_{ТО}$ и на преодоление «плохо организованных процедур» $T_{ОП}$ ко времени отработанному экскаватором в карьере.

$$K_{И} = (T - T_{ТП} - T_{РО} - T_{ТО} - T_{ОП})/T \quad (2.11)$$

В группе «плохо организованных процедур» учитывается сумма времен простоев $T_{ОП}$, связанных с отсутствием: транспорта, электроснабжения или доставки топлива, инструмента, запчастей и материалов для ремонта; в результате задержек по погодным или дорожным условиям, вследствие ошибок организационно-управленческого характера; повреждений электрокабеля или экскаватора при неверном, небрежном обращении оператора; по причине аварий, вандализма, действий непреодолимой силы; нарушений эксплуатационных инструкций и норм; превышения часов на демонтаж и замену, сверх часов, указанные в инструкции Единые постоянные нормативы Komatsu; на обед, перерывы на кофе, личные нужды, прием/сдачу смены и др.

В группе «технические проблемы» учитываются все неисправности, возникающие в результате эксплуатации, в: электрических компонентах (высоко-, средне- и низковольтного оборудования, электромоторах (группы 1-4); гидравлических компонентах (группа 5); редукторах (группа 6); системах смазки (группы 7-8); системе аэро-кондиционирования (группа 9); механических компонентах ходового оборудования (группа 10); кабельном барабане (группа 11); системе управления (группа 12); кабине оператора (группа 13).

В группе 14 «ремонт и замена компонентов ковшей и рабочего оборудования» учитываются простои, связанные с оперативным устранением неисправностей рабочего оборудования: трещин в боковых стенках ковша, челюсти, рукояти; износа всех элементов имеющих контакт с породой (GET); осей, проушин, уплотнений гидроцилиндров и др.

В группе 15 «плановые ТО и Р» учитываются простои по выполнению

процедур: планового обслуживания и инспекции оборудования; просмотра и анализа данных вахтенного журнала выполнения предусмотренных работ; ревизии (среднего ремонта) машины; модификации компонентов машины; и др.

Коэффициент использования экскаватора $K_{и}$, определяется как отношение разности между часами отработанными экскаватором в карьере и временем, затраченным: на ликвидацию возникших за этот период «технических» проблем, на ремонт «ковша и рабочего оборудования», на ТОР и на «организационных» простоев ко времени отработанному экскаватором в карьере.

В группе 16 «внеплановое оперативное обслуживание, аварии» учитываются простои, связанные с ликвидацией: производственных ошибок; ошибок при обслуживании; повторных механических переборок; переработок нормативных сроков службы; длительных переездов; холостой работы двигателей; внезапных поломок и аварий, и др.

В группу 17 «прочие организационные просчеты» учитывается: отсутствие автотранспорта; отсутствие электроэнергии; неисправности системы пожаротушения; ожидание доставки запасных частей; известные и неизвестные внешние причины задержек работы, и др.

Количественные значения вышеупомянутых показателей надежности, полученные в результате проведения и обработки данных испытаний представлены ниже в главе 3.

2.4 Методы сбора и обработки исходной информации о надежности работы компонентов КГЭ

В качестве исходной информации для оценки надежности исследуемых экскаваторов, в частности РС 3000D и РС 5500E послужили собранные статистические материалы на местах их эксплуатации в необходимых объемах и согласно упомянутой выше методике сбора информации о работе наиболее важных компонентов экскаваторов. Были получены и проанализированы данные о

продолжительности наработки компонентов, времени и местах возникновения отказов, продолжительности их восстановления, производительности машин, о заменах компонентов и ремонтах узлов, а также данные по стоимостям их эксплуатации и необходимым трудозатратам по обслуживанию и восстановлению.

Получение достоверной информации сопряжено с рядом трудностей, вызванных спецификой работы КГЭ в конкретных условиях горных предприятий различных отраслей – угольной, нерудной, железорудной и др. При оценке надежности гидросистемы гидроэкскаваторов в условиях РФ, в качестве подобной информации были использованы как отчетные данные ряда горных предприятий, а именно: отчеты диспетчерских и механических служб, сведения гидромеханических служб карьера о заменах деталей и узлов экскаваторов, отчеты плановых отделов и т.п., так и данные эксплуатационных служб компании KMG. Такая информация послужила основой для оценки надежности машин при подтверждении ее достоверности непрерывными автоматизированными данными наблюдениями за работой экскаваторов.

При планировании объема определительного количества данных были использованы показатели, численно характеризующие достоверность результатов: доверительная вероятность – γ , связанная с предельной абсолютной ошибкой - ε условием $\gamma = P(x_0 - \bar{x}_0) \leq \varepsilon$, и точность (относительная предельная ошибка $\sigma = \varepsilon / \bar{x}_0$), где x_0 - генеральная средняя величина изученного признака (например, средняя наработка на отказ генеральной совокупности однородных объектов); $\bar{x}_0$ - оценка признака x_0 по результатам наблюдения для совокупности тех же объектов).

Согласно [64] при оценке надежности нового опытного оборудования рекомендуются значения $\gamma \geq 0,8$; $\sigma \leq 0,2$, тогда как для серийного оборудования эти значения должны быть в пределах $\gamma \geq 0,9$; $\sigma \leq 0,1$.

Минимальный необходимый объем выборочных данных $[n]$ зависит не только от принятых значений γ и σ , но также и от вида закона распределения,

степени варьирования (коэффициента вариации) случайных величин, используемых для определения показателей надежности (таб. 2.1).

В данной работе, для гидрооборудования в целом, у исследуемых экскаваторов, достоверный объем данных об отказах определялся исходя из предположения об экспоненциальном законе распределения наработок между отказами (что справедливо для сложных систем) при $\gamma \geq 0,9$; $\sigma \leq 0,1$.

При этом оценки показателей надежности отдельных гидроэлементов были получены с доверительно вероятностью γ не менее 0,8 и величиной относительной ошибки σ не более 0,15...0,2, а при $\gamma = 0,9$ и $\sigma = 0,1 \dots 0,15$.

Таблица 2.1

Необходимый объем выборочных данных

Закон распределения случайных величин (СВ)	Коэффициент вариации СВ	$\gamma = 0,8$		$\gamma = 0,9$	
		$\sigma = 0,2$	$\sigma = 0,15$	$\sigma = 0,15$	$\sigma = 0,1$
нормальный	0,3	6	10	15	31
экспоненциальный	1,0	25	45	90	200

В целом была проанализирована работа 101 гидравлического экскаватора компании KMG эксплуатирующихся в РФ, том числе 8-ми РС 3000, 35-ти РС 4000, 25-ти РС 5500 и 29-ти РС 8000, 57 из которых работают на угольных разрезах, 18 на железорудных и 26 на меднорудных карьерах.

Конкретные массивы данных по надежности компонентов КГЭ получены от 20 экскаваторов РС, в том числе от: трех РС 3000 на карьере месторождения кимберлитовых руд «им. Гриба» «Верхотинского» ГОКа, двух РС 5500 на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш», пяти РС 5500 на карьерах Hope Downs, West Angelas и Yandicoogina в Австралии, десяти РС 8000 на карьерах Drummond и Cerrejon в Колумбии.

Была также произведена сравнительная оценка работы экскаваторов на угольных разрезах Ю. Кузбасса (Междуреченск, Краснобродский, Томусинский и Сибиргинский): четырех РС 2000, а также РС 4000 и РС 5500.

Суммарный объем наблюдений только в 2013...2014 г в РФ по карьерам им. Гриба и ОАО «Карельский Окамыш» составил свыше 100 тыс. мч, а также

была использована и обработана информация по работе десяти экскаваторов РС 8000 в Колумбии в объеме 180 тыс. мч и пяти экскаваторов РС 5500 в Австралии в объеме 35 тыс. мч.

Уровень достоверности исходной информации вполне достаточен для использования его в качестве основы оценки надежности машин. При расчете ресурсов (наработок на отказ) отдельных узлов и агрегатов и других показателей надежности использовались методы математической статистики и теории вероятностей. В результате обработки совокупности случайных величин определялся вид их эмпирического распределения и их характеристики, оценивался закон распределения случайных величин, определялись математическое ожидание, дисперсия и доверительные интервалы среднего времени безотказной работы.

Показатели надежности гидроэкскаваторов типа РС, определялись как в целом по машине, так и по основным компонентам: рабочему, ходовому, электрическому оборудованию. Особое внимание уделялось гидросистеме, отдельным ее функциональным группам: рукавам высокого давления (РВД), гидроцилиндрам и их гарнитуре, клапанам, насосам, гидромоторам и др. При этом экскаватор представлялся как система с последовательным соединением групп.

ВЫВОДЫ

1. В результате анализа конструкций гидравлических экскаваторов производства компании KMG, их металлоконструкций, схем позиционирования силового и гидравлического, рабочего и ходового оборудования, отмечается принцип универсальности их конструкций, базирующийся на применении однотипных модульной компонентов, что позволяет унифицировать номенклатуру запасных частей, улучшить ремонтпригодность оборудования, сокращать ремонтные циклы и расходы на их обслуживание.

2. Предложена универсальная обобщенная структурная блок-схема гидравлического экскаватора, отражающая функциональные связи элементов

гидравлических компонентов и основных механизмов гидравлического экскаватора, в их взаимодействии, при котором отказ любого элемента вызывает отказ полноценного функционирования экскаватора в целом.

3. Определены основные функциональные группы последовательно взаимодействующих элементов КГЭ производства KMG, что позволяет организовать получение статистических данных о надежности всех основных систем машин в конкретных условиях их эксплуатации, оперативно производить оценку и осуществлять сравнительный анализ надежности различных компонентов и готовность экскаватора в целом.

4. Определена номенклатура показателей для количественной оценки различных свойств надежности КГЭ в соответствии с действующим в РФ государственным стандартом, а также предложена методика оперативного сбора информации о работе экскаваторов, учитывающая рекомендации компании, основанные на международном опыте ранее выполненных исследований гидроэкскаваторов.

5. Проведено определение необходимого объема статистических данных о надежности ГЭ из условия получения количественных оценок различных показателей надежности с доверительной вероятностью $\gamma \geq 0,9$ и относительной ошибкой $\sigma \leq 0,2$.

Таким образом, реализовано 1-ое научное положение, заключающееся в том, что оценку показателей надежности систем гидравлического экскаватора и его готовности в целом следует производить с учетом последовательности функционального взаимодействия всех его компонентов на основе разработанной универсальной структурной блок-схемы экскаватора.

3 Исследование и анализ надежности систем и компонентов КГЭ

3.1 Исходные положения

Изучение статистической закономерности возникновения отказов компонентов экскаваторов в конкретных условиях их эксплуатации, имеет целью, в конечной степени, обоснование своевременности замен расходных и изнашивающихся элементов как гидравлических, так и механических их систем, обеспечиваемых современной организацией сервисного обслуживания и ремонта.

Практическая реализация этой группы вопросов, это установление законов распределения исследуемых параметров и определение числовых значений показателей надежности, как по отдельным элементам, так и по всей системе экскаватора в целом.

В данной главе, рассмотрены и исследованы статистические закономерности проявления отказов КГЭ и их компонентов, произведены оценки их наработки на отказ и длительности восстановления (MTBF и MTTR), которые были приняты за основу при обосновании рекомендуемых нами нормативов наработки компонентами экскаваторов моточасов (далее мч) до замены и оценки трудозатрат на выполнение этих работ, направленных на повышение надежности ГЭ при их эксплуатации.

3.2 Методические предпосылки определения законов распределения случайных величин (СВ) наработки систем и компонентов КГЭ

При исследованиях и оценке надежности различных типов горного оборудования по данным [21], наиболее часто используют законы - экспоненциальный (когда преобладающими являются внезапные отказы оборудования или его элементов) и нормальный (когда преобладающими являются постепенные отказы, возникающие в результате изнашивания элементов

или накопления ими усталостных повреждений) законы распределения СВ.

В общем случае, законы распределения непрерывных случайных величин x (наработки между отказами t и затраты времени на ликвидацию отказов τ) и соответствующие этим значениям вероятности, обычно задаются в виде интегральной функции распределения $F(x)$ или в виде плотности вероятности (дифференциальной функции) распределения $f(x)$, вид которых зависит от закона распределения СВ.

Основными числовыми характеристиками СВ, являются: математическое ожидание $m(x)$ и дисперсия D_x . Статистические среднее ожидание $\overline{m}_t$ и дисперсия $\overline{D}_t$ СВ имеют вид

$$\overline{m}_t = \sum_{i=1}^k \overline{t}_i \cdot n_i / n \text{ и } \overline{D}_t = \sum_{i=1}^k (\overline{t}_i - \overline{m}_t)^2 \cdot n_i / n.$$

где n - объем выборки СВ; $\overline{n}_i$ - количество значений СВ, попавших в i -й интервал; k - число интервалов группирования СВ; $\overline{t}_i$ - середина i -го интервала.

Мера рассеяния СВ оценивалась среднеквадратическим отклонением $\sigma_x = \sqrt{D_x}$ и коэффициентом вариации $v_x = \sigma_x / m_x$.

Для экспоненциального закона распределения плотность вероятности и вероятность безотказной работы описываются выражениями

$$f(t) = \lambda \cdot \exp[-\lambda t] \text{ и } P(t) = \exp[-\lambda t]. \quad (3.1) \text{ и } (3.2)$$

которые для невосстанавливаемых объектов, могут быть представлены в виде

$$f(t) = (1/T_1) \cdot \exp[-t/T_1] \text{ и } P(t) = \exp[-t/T_1], \quad (3.3) \text{ и } (3.4)$$

где λ - интенсивность отказов; t - текущая наработка объекта.; T_1 ($T_1 = T_x = T_t$) - средняя наработка до отказа (математическое ожидание наработки объекта до первого отказа).

Вероятность безотказной работы $P(t)$ в течение требуемой наработки рассчитывается по формуле

$$P(t) = 0,5 - \Phi [(m_t - t)/\sigma_t] \text{ или } P(t) = 0,5 + \Phi [(t - m_t)/\sigma_t]. \quad (3.5)$$

Число интервалов k группирования массива СВ определяется из выражения

$$k = (t_{\max} - t_{\min})/\Delta t = 1 + 3,3 \lg n \quad (3.6)$$

Примерная длина интервала группирования Δt определяется по правилу Старджесса, согласно которому

$$\Delta t = (t_{\max} - t_{\min}) / (1 + 3,3 \lg n), \quad (3.7)$$

где - $t_{\max}$, $t_{\min}$ соответственно, максимальное и минимальное значения СВ.

При построении гистограмм распределения в качестве параметров теоретического закона распределения принимаются статистические среднее ожидание $\overline{m}_t$ и статистическая дисперсия $\overline{D}_t$.

3.3 Статистическая обработка данных о надежности систем и компонентов КГЭ

Карьерные гидравлические экскаваторы на разрезах и карьерах, как правило, выполняют функции основного выемочно-погрузочного звена в циклично-поточном технологическом комплексе по добыче твердых полезных ископаемых. При этом темпы и стабильность разработки месторождения существенно зависят от надежности выполнения экскаваторами плановых заданий, прежде всего по производительности, на протяжении всего их срока службы. Срок службы современных мощных КГЭ, например класса РС 8000, при хорошей организации планово-предупредительного обслуживания и ремонта и при достаточно благоприятных горно-геологических и климатических условиях эксплуатации, достигает 90...100 тыс. мч, что соответствует календарному сроку жизни машин до 20...25 лет.

Для механических лопат нормативный срок службы до первого капремонта обычно составляет примерно 7...10 лет. Для гидравлических экскаваторов, в частности, производства компании KMG, капитального ремонта в обычном понимании не существует, поскольку на базе наших многолетних статистических наблюдений за работой КГЭ, нами были разработаны нормативы и внедрена система превентивной замены модулей основных изнашивающихся компонентов экскаваторов (см. 4-ю главу), что позволяет продлить срок эксплуатации машин

до заданных пределов, реально достижимых 90 тыс. и более моточасов.

Выбираемый срок службы экскаватора на данном горном предприятии, в значительной степени должен быть коррелирован с длительностью отработки конкретного поля месторождения, где его предполагают эксплуатировать, что во многом определяет экономически обоснованные стратегии обслуживания и замен, наиболее вероятно подверженных износу и частому появлению отказов компонентов экскаватора (прежде всего, гидравлической системы, ходового и рабочего оборудования), направленные на поддержание его высокой технической готовности в пределах заданного срока его существования. В РФ, в течение более 25 лет на угольных разрезах и железорудных карьерах, успешно эксплуатируются КГЭ, в частности, производства компании KMG, среди которых машины классов РС 3000, РС 5500 и РС 8000 уже наработали сроки, превышающие 60 тыс.ч.

3.3.1 Анализ результатов эксплуатации КГЭ класса РС 3000

Среднемесячная производительность экскаваторов РС 3000 с ковшами 15 м³, на угольных разрезах Кузбасса, при погрузке подготовленных взрывом вскрышных пород в автосамосвалы грузоподъемностью 130 т, у обратных и прямых лопат, составляет соответственно 514 и 565 тыс. м³/мес. Еще более высокая производительность прямой лопаты РС 3000 с ковшом 15 м³, равная 662 тыс. м³/мес., была достигнута на «Восточно-Бейском» разрезе компании ОАО «СУЭК».

Средняя продолжительность рабочего цикла у РС 3000 при загрузке автосамосвалов на углах поворота 90⁰, у прямой и обратной лопаты соответственно составляет 26,5 и 31,5 с (рис. 3.1). При углах поворота 30...60⁰, продолжительность рабочего цикла не превышает 24...27 с, но может возрасти до 30...35 с на углах поворота 90...180⁰.

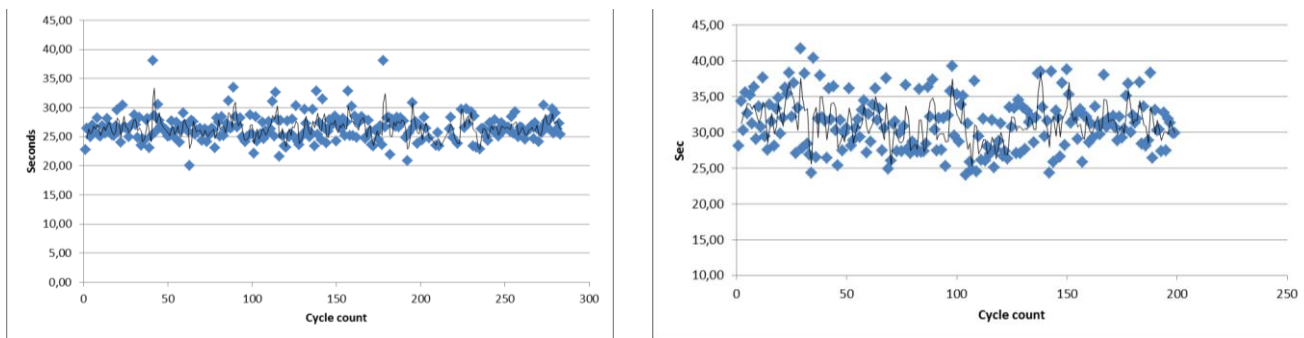


Рис. 3.1. Статистическое распределение продолжительности рабочего цикла экскаваторов РС-3000: *а* – прямая; *б* – обратная лопата.

Продолжительности средних значений отдельных составляющих рабочих циклов экскавации прямой и обратной лопат (рис. 3.2), соответственно, распределяются следующим образом: на копание 38 и 33 %, поворот на выгрузку 24 и 24 %, на разгрузку 11 и 15 %, и на возврат в забой 27 и 28 %.

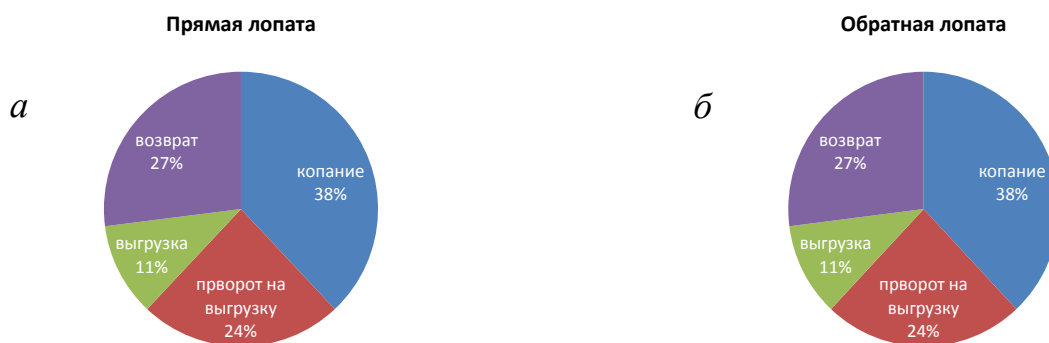


Рис. 3.2. Распределение составляющих рабочих циклов экскавации гидравлического экскаватора РС 3000: *а* – прямой; *б* – обратной лопаты; 1 – копание; 2 – поворот на выгрузку; 3 – разгрузка ковша; 4 – возврат в забой.

Баланс рабочего времени, затрачиваемого на выполнение полного рабочего цикла технологических операций за смену, соответственно для прямой и обратной лопаты, составляет: на погрузку 73 и 67%, на установку в забое 13 и 12%, на ожидание автотранспорта 12 и 21%, и на зачистку забоя 2 и 0% при отсутствии длительных переездов, за наблюдаемый период (рис.3.3).



Рис. 3.3. Баланс рабочего времени при выполнении технологических операций гидравлическими экскаваторами РС 3000D: *а* – прямой; *б* – обратной лопатой; 1 – чистое время погрузки; 2 – переезды связанные с установкой в забой; 3 – ожидание автотранспорта; 4 – зачистка забоя.

Вследствие значительного времени, затрачиваемого на погрузку и меньших по длительности времени ожидания транспорта, прямая лопата обеспечила более высокую среднюю часовую производительность порядка 1286...1380 м³/ч, против 1237...1660 м³/ч у обратной лопаты, что позволило добиться более высоких месячных ее значений, достигавших 750 тыс. м³, против 500 тыс. м³ у обратной лопаты.

С августа 2011 по январь 2014 были проведены комплексные исследования работы 3-х гидравлических экскаваторов РС 3000D (с дизельным приводом) на карьере месторождения кимберлитовых руд «им. Гриба» «Верхотинского» ГОКа в Архангельском регионе.

Ниже приводятся результаты статистической обработки данных наблюдений за их работой, произведена классификация отказов, осуществлены оценка уровней надежности их основных компонентов по 5-ти групповым категориям: гидравлическое (ГО), рабочее (РО), ходовое (ХО), электро (ЭО) оборудование и «другое»², также как и экскаваторов в целом.

За основу системного исследования основных показателей надежности экскаватора РС 3000 была принята его структурная блок-схема (рис. 3.4), позволяющая отразить численные значения искомых характеристик: количества простоев и их длительность, наработку на отказ - MTBF, среднее время на восстановление – MTTR и коэффициенты готовности – K_r , как отдельных компонентов системы, так и ее в целом.

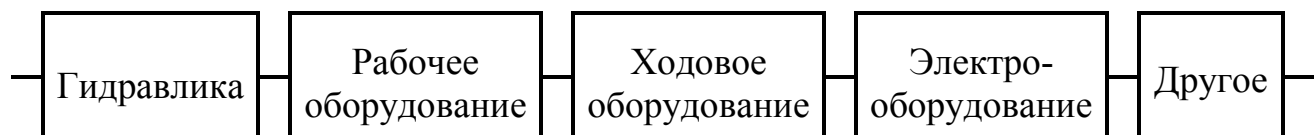


Рис. 3.4. Структурная блок-схема экскаватора РС 3000D

Коэффициент готовности – K_r определялся как отношение количества отработанных моточасов T_o к сумме отработанных моточасов и времени

² Простои по категории «другое» - это простои экскаватора, которые не входят в зону ответственности компания КМГ, за которые, в частности отвечает дилер, поставляющий и обслуживающий, например ДВС, система кондиционирования, централизованной смазки, пожаротушения и др.

восстановления компонента T_B

$$K_{\Gamma} = T_O / (T_O + T_B) \quad (3.8)$$

Конкретный перечень и классификация зафиксированных отказов экскаваторов, мероприятий по устранению отказов, время восстановления компонентов по компонентам приведены в таблицах 3.1...3.15 Приложения.

Экскаватор РС 3000 ВН/Д № 1 (6280) с августа 2011 по январь 2014 (до даты последнего зафиксированного в отчете отказа) наработал 22431 мч (для упрощения расчетов с погрешностью не более 0,3% принято 22500 мч), при этом было отмечено 118 отказов (табл. 3.1 и рис. 3.4), в том числе: 65 по гидравлическому, 24 по рабочему, 8 по гусеничному ходовому, 5 по электрооборудованию и 16 по категории «Другое», относящемуся, как было отмечено в примечании, преимущественно к ДВС, его аппаратуре, также к другим объектам субподряда и вспомогательным элементам, не относящимся к ответственности компании КМГ.

Таблица 3.1

Основные характеристические показатели надежности главных групповых компонентов экскаватора РС 3000ВН/Д № 1(6280)

Категория	Кол-во отказов	Наработка до 1-го отказа, мч	Наработка всего, мч	Время простоев (на восстановление), ч	MTBF - (наработка на отказ), мч	MTTR - (ср. время на восстановление), ч	K_{Γ}
ГО	65	1368	22500	511	346,15	7,86	0,9778
РО	24	1767	22500	190,5	937,5	7,94	0,9916
ХО	8	3420	22500	141	2812,5	17,62	0,9938
ЭО	5	1481	22500	84,5	4500	16,9	0,99624
Другое	16	1563	22500	309	1406,25	19,31	0,98645
По 5 категориям	118	22500		1236	190,7	10,47	0,9479

У экскаватора № 1 средняя наработка на отказ составила 190,7 мч, среднее время восстановления 10,47 ч, суммарное время простоев - 1236 ч, что, в целом по экскаватору обеспечило его техническую готовность к эксплуатации около 95%.

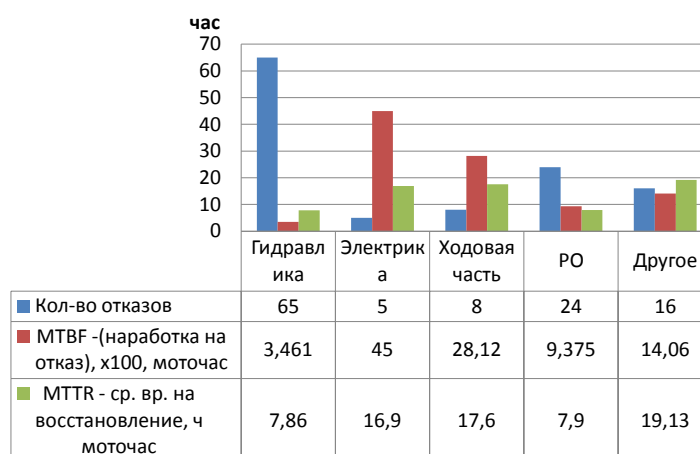


Рис. 3.4. Гистограмма распределения отказов экскаватора PC 3000BH/D № 1 по основным группам и показатели их оценки: MTBF и MTTR

На рис. 3.5 представлено распределение наработки экскаватором № 1 моточасов в календарной шкале времени, из которого видно, что в период с августа 2012 по февраль 2015 г их количество снизилось (появились ступенчатость и заметное изменение угла наклона линии), как следствие уменьшения темпов работы, связанных с сокращением чистого времени его работы из-за простоев в ремонтах и по организационным причинам.

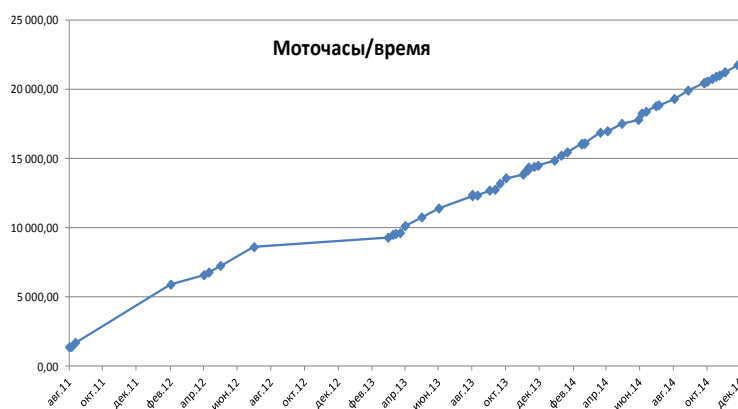


Рис. 3.5. Распределение наработки экскаватором PC 3000BH/D № 1 моточасов в календарной шкале времени

Характеры отказов по основным 5-ти регистрируемым группам оборудования данного экскаватора, как и остальных двух, однотипны на всех исследуемых машинах. Они косвенно отражают влияние, как принятой на карьере системы сервиса (с обязательным превентивным ремонтом и заменой элементов, согласно регламенту наработки), предписанной условиями контракта с компанией-производителем экскаватора KMG, так и спецификой горно-геологических условий, а поэтому групповые характеристики отказов

компонентов оборудования, представлены обобщенно для всех трех экскаваторов ниже.

Экскаватор РС 3000FS/D № 2(6283) с января 2012 по декабрь 2014 наработал 20461 мч (с погрешностью 0,2% принято 20500 мч), при этом было зарегистрировано 97 отказов (табл. 3.2), в том числе: 24 по гидравлическому, 32 по рабочему, 12 по гусеничному ходовому, 8 по электрооборудованию и 21 по категории «Другое».

Таблица 3.2

Основные характеристические показатели надежности главных групповых компонентов экскаватора РС 3000FS/D № 2(6283)

Категория	Кол-во отказов	Наработка до 1-го отказа, мч	Наработка всего, мч	Время простоев (на восстановление), ч	MTBF - (наработка на отказ), мч	MTTR - (ср. время на восстановление), ч	K_T
ГО	24	541	20500	323,5	854,2	13,48	0,98446
РО	32	607	20500	821	640,6	25,66	0,9615
ХО	12	1519	20500	835	1708,3	69,6	0,961
ЭО	8	8508	20500	792	2562	99,0	0,963
Другое	21	4270	20500	636	976,2	30,28	0,97
По 5 категориям	97	20500		3407,5	211,34	35,13	0,8575

У экскаватора № 2 (рис. 3.6) средняя наработка на отказ составила 211,34 мч, среднее время восстановления 35,13 ч, суммарное время простоев – 3407,34 ч, что, в целом по экскаватору обеспечило его техническую готовность к эксплуатации порядка 85,7%.

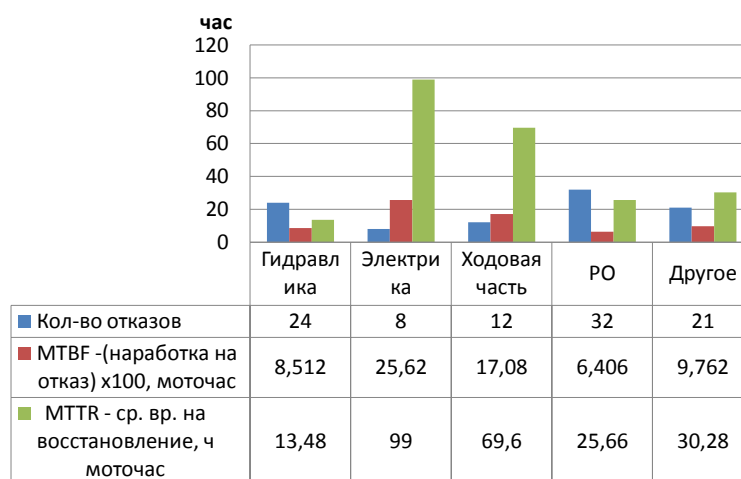


Рис. 3.6. Гистограмма распределения отказов экскаватора РС 3000FS/D № 2 по основным группам и показатели их оценки MTBF и MTTR.

Экскаватор РС 3000FS/D № 3(6285) с августа 2012 по декабрь 2014 наработал 17629 мч (с погрешностью 0,4% принято 17700 мч), при этом было отмечено отказов 76 (табл. 3.7), в том числе: в том числе: 19 по гидравлическому, 17 по рабочему, 8 по гусеничному ходовому, 9 по электрооборудованию и 23 по категории «Другое».

Таблица 3.3

Основные характеристические показатели надежности главных групповых компонентов экскаватора РС 3000FS/D № 3

Категория	Кол-во отказов	Наработка до 1-го отказа, мч	Наработка всего, мч	Время простоев (на восстановление), ч	MTBF - (наработка на отказ), мч	MTTR - (ср. время на восстановление), ч	K_T
ГО	19	4753	17700	493	931,6	25,94	0,973
РО	17	4159	17700	872	1041,2	51,29	0,953
ХО	8	5110	17700	160	2212,5	20,0	0,991
ЭО	9	844	17700	117	1966,7	13,0	0,9934
Другое	23	1478	17700	628	769,56	27,3	0,9657
По 5 категориям	76	17700		2270	232,89	29,87	0,8863

У экскаватора № 3 (рис. 3.7) средняя наработка на отказ составила 232,89 мч, среднее время восстановления 29,87 ч, суммарное время простоев - 2270 ч, что, в целом по экскаватору обеспечило его техническую готовность к эксплуатации около 89%.

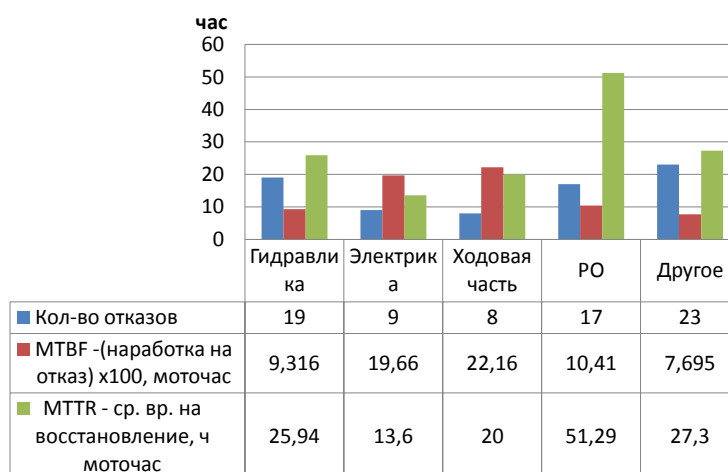


Рис. 3.7. Гистограмма распределения отказов экскаватора РС 3000FS/D № 3 по основным группам и показатели их оценки MTBF и MTTR.

Все три экскаватора РС 3000D № 1, 2 и 3 с января 2012 по декабрь 2014 в сумме наработали $17700+22500+20500 = 60700$ мч (табл. 3.4), при этом был

зафиксирован $76+118+97 = 291$ отказ, в том числе: 108 по гидравлическому, 73 по рабочему, 28 по ходовому, 22 по электрическому и 60 по категории «Другое» (рис. 3.8). Средняя наработка трех экскаваторов на отказ составила 208,6 мч, а среднее время на восстановление 23,76 ч, что, в целом по данной группе экскаваторов, обеспечило их готовность к эксплуатации около 90%.

Таблица 3.4.

Обобщенные характеристические показатели надежности основных компонентов экскаваторов PC 3000D

Категория	Кол-во отказов	Наработка всего, мч	Суммарное время простоев, ч	MTBF - (наработка на отказ), мч	MTTR - (ср. время на восстановл.), ч	K_T
ГО	108	60700	1327,5	562,04	12,29	0,9786
РО	73	60700	1883,5	831,5	25,80	0,97
ХО	28	60700	1136	2168,0	51,64	0,982
ЭО	22	60700	993,5	2759,1	45,16	0,9839
Другое	60	60700	1573	1011,7	26,21	0,975
По 5 категориям	291	60700	6913,5	208,6	23,76	0,898

Из анализа данных таблицы 3.4 и диаграммы (рис. 3.8) следует, что наименьшее суммарное время простоев (соответственно 993,7 и 1136 ч) и наибольшую наработку на отказ (2759,1 и 2168 мч) имеют электрическая система и ходовое оборудование, но при этом они требуют наибольших средних затрат времени на восстановление (соответственно 45,16 и 51,64 часа).

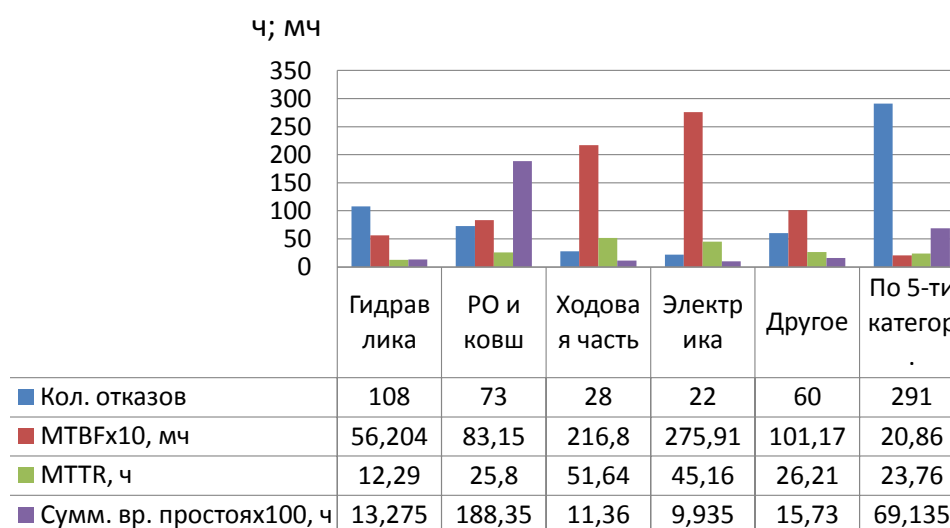


Рис. 3.8. Сравнительная диаграмма распределения количества и длительности отказов основных компонентов экскаваторов PC 3000D и показатели их надежности - MTBF и MTTR

Поскольку количество отказов по этим категориям невелико (22 и 28), то коэффициент готовности данных экскаваторов по упомянутым показателям достигает максимальных значений – 0,9839 и 0,982, соответственно.

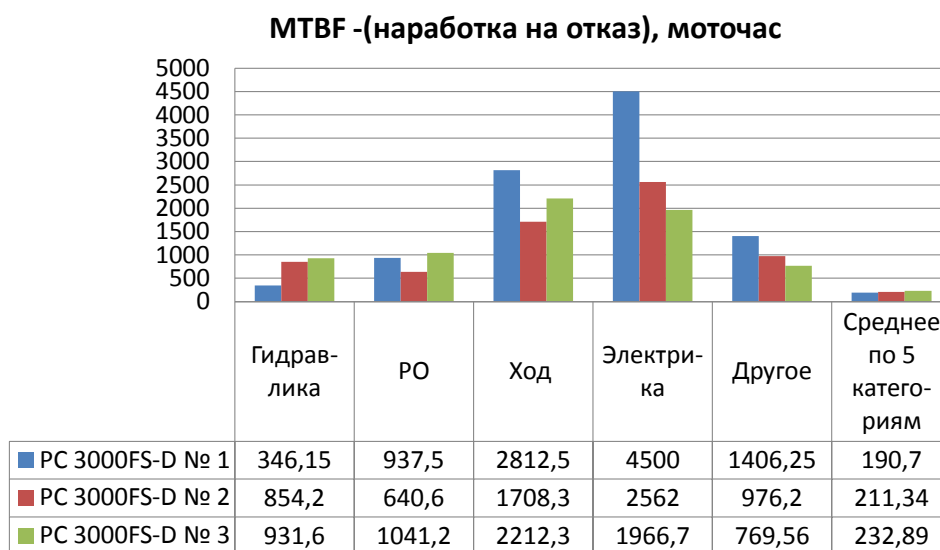


Рис.3.9. Сравнение оценочных показателей надежности экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по MTBF (наработке на отказ)

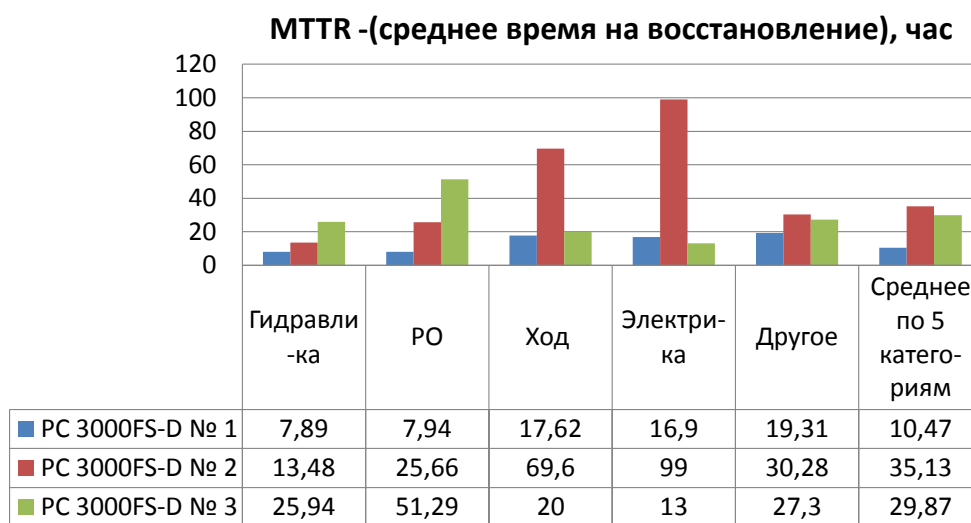


Рис. 3.10. Сравнение оценочных показателей надежности экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по MTTR (среднему времени восстановления).

Гидравлическое оборудование.

Анализ данных по отказам гидравлического оборудования данных трех экскаваторов PC 3000D, показывает, что оно, в целом, у всех обследованных экскаваторов, имеет наименьшую наработку на отказ 562,04 мч, а среднее время его восстановления при наибольшем количестве отказов 108 (65+24+19) равно 12,29 ч (рис. 3.8).

Так у экскаватора № 1 зафиксировано наибольшее количество отказов по

этой категории - 65, наибольшее суммарное время простоев, наименьшая наработка на отказ MTBF равная 346,15 мч и наименьшее среднее время его восстановления MTTR – 7,89 часов (рис. 3.11).

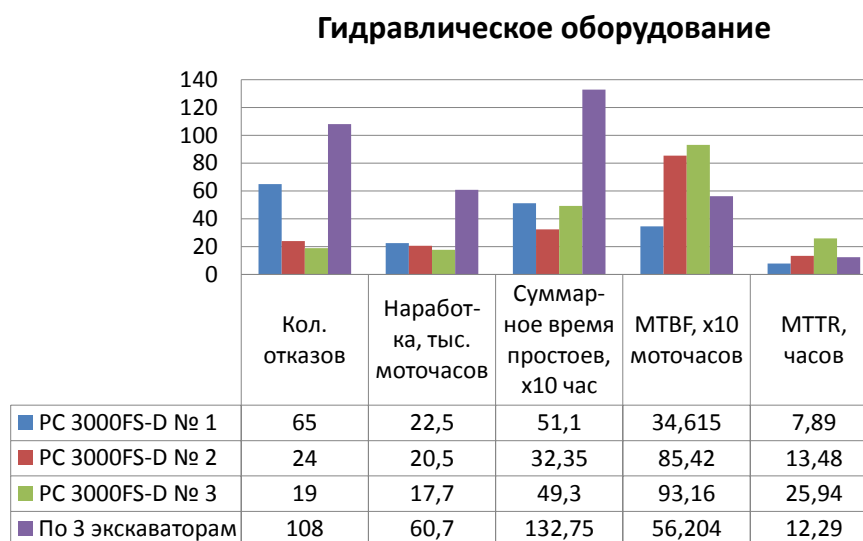


Рис. 3.11. Сравнение оценочных показателей надежности гидравлического оборудования экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по: наработке на отказ - MTBF и среднему времени восстановления - MTTR

Надежность отдельных гидроэлементов в системе неодинакова. Наиболее часто выходящие из строя компоненты гидравлических систем, как правило, находятся в зоне близко расположенной к рабочему оборудованию, в известной степени являясь частью его, т. е. в зоне забоя с наиболее неблагоприятными условиями эксплуатации: по вибрационному и ударному режимам нагружения, запыленности и температурным воздействиям.

Самыми ненадежными звеньями гидросистем экскаваторов являются элементы соединения трубопроводов и рукавов высокого давления (РВД), их крепления, особенно расположенные в зонах рабочего оборудования, а также между насосом, блоком перепускных и регуляторных клапанов. РВД подвержены наиболее жестким нагрузкам (по давлению, температуре и пульсациям).

Главные причины выхода из строя гидравлических цилиндров: износные разрушения их шевронных уплотнений (приводящие к утечкам или внутренним байпасным переточкам); проникновение грязи в грязесъемники; задиры зеркальных поверхностей, механические повреждения штоков поршней в результате ударов камнями, так и касания бортами самосвалов.

Самыми тяжело нагруженными и подверженными износу группами гидроцилиндров является пара гидроцилиндров открытия челюсти, далее по мере уменьшения – гидроцилиндры поворота ковша, подъема рукояти и стрелы. Износ внутренней полости гидроцилиндра и наружной поверхности поршня незначителен, поэтому отказы, по этой причине или деформации гидроцилиндра не превышают 5...7%. Относительно редко проявляются дефекты на трущихся поверхностях пар сопряжения вследствие абразивного воздействия твердых частиц попадающих в рабочую жидкость.

Подтверждается, что, наиболее частому выходу из строя подвержены элементы гарнитуры силовых гидроцилиндров рабочего оборудования (открывания челюсти ковша, поворота ковша и рукояти, в меньшей степени - стрелы): их шевронные уплотнения, РВД, втулки, пальцы, элементы соединения трубопроводов, отказы которых составляют 68% от общего числа отказов компонентов гидравлики. Порядка 13% составляют простои, связанные с плановой заменой гидроцилиндров (14 замен), наработавших свои нормативные 7,5...22,2 тыс. мч. Имели место плановые замены гидромоторов поворота платформы, отработавших 16 тыс. мч, что больше нормативных 15 тыс. мч, насосов системы смазки до 18 тыс. мч. За весь подконтрольный период 22500 мч, не было отмечено выхода из строя главных насосов и только у экскаватора № 2 имел место перемонтаж второго главного насоса, после наработки им лишь 7,77 тыс. мч, на что было затрачено 159 ч, тогда как остальные насосы безотказно отработали срок в 1,5 раза превышающий их норматив. У экскаватора № 3, имели место 8 простоев суммарной длительностью 384 ч для замен и ремонта стреловых и ковшовых гидроцилиндров, потребовавшихся, в основном, из-за переработки ими нормативных сроков, что составило до 78% от общего баланса времени простоев по категории «гидрооборудование».

Наибольшее количество отказов возникает по причине выхода из строя элементов групп гидрокоммуникаций, преимущественно РВД ($K_0 = 35\%$), гарнитуры гидроцилиндров ($K_0 = 25\%$), гидромоторов привода вентиляторов систем охлаждения РЖ ($K_0 = 10\%$), насосов системы смазки ($K_0 = 8\%$),

гидромоторов хода и вращения ($K_0 = 11\%$), главных гидронасосов ($K_0 = 5\%$). Отказы блоков золотниковых распределителей и предохранительных клапанов составляют до 4% числа отказов гидросистем, наименьшее количество отказов приходится на бак и радиаторы ($K_0 = 2\%$).

Анализ отказов гидроприводов показывает, что свыше 85% это частичные и лишь около 10% - полные.

Рабочее оборудование

По этой категории, у трех экскаваторов зафиксировано суммарное количество отказов 73 (24+32+17) общей продолжительностью простоя 1883,5 ч, средняя его наработка на отказ MTBF составила 831,5 мч, а среднее время восстановления MTTR - 25,8 ч (рис. 3.12).

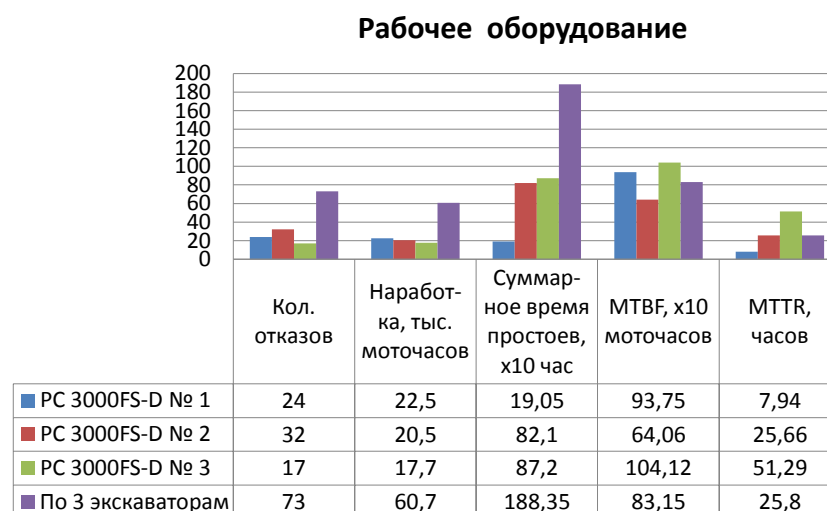


Рис. 3.12. Сравнение оценочных показателей надежности рабочего оборудования экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по: наработке на отказ - MTBF и среднему времени восстановления - MTTR

Номенклатура работ по восстановлению рабочего оборудования на обследованных экскаваторах была различна, так как характер отказов у каждого экскаватора зависел, прежде всего, от крепости, абразивности и ряда других физико-механических свойств обрабатываемых материалов, а также от режима выполняемых ими работ.

Основной обрабатываемый материал представлен породами кратера слабой и средней прочности с карбонатными прожилками, трещиноватыми, но встречаются достаточно обширные участки высокой и очень высокой прочности 40 и более МПа, плотностью 2,0...2,2 т/м³, влажностью 5...8%.

Так у экскаваторов № 1 и 2, работающих с особо абразивными материалами, значительная доля времени ремонта уходила на восстановление ковшей (главные их повреждения – трещины в структуре материалов вследствие плохой сварки, неправильной эксплуатации, недопустимых перегрузок и т.д.).

У экскаватора № 2 тратилось свыше 60% времени на проведение сварочных работ и замену быстро изнашивающегося вооружения – коронок и межзубьевых защит.

У экскаватора № 3, наоборот, максимальные потери времени на ремонт рабочего оборудования возникали в результате появления необходимости многократной замены ковшей (6 раз – 147 ч), восстановления стыковочных узлов (например, ковш-рукоять – 144 ч, замены пальцев трапеции ковша – 73 ч) и др.

В целом по данной группе экскаваторов, доля простоев для восстановления работоспособности их рабочего оборудования оказалась максимальной и составила 27,24% .

Ходовое оборудование.

По этой категории у всех трех экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 28 (8+12+8) общей продолжительностью 1136 часов, средняя наработка на отказ MTBF составила 2168 мч, а среднее время восстановления MTTR - 51,64 часа (рис. 3.13).

Номенклатура работ по восстановлению ходового оборудования на обследованных экскаваторах, в основном, сводилась к замене наиболее часто подвергающихся разрушению опорных катков, в меньшей степени - поддерживающих роликов, ревизии и регулировке системы натяжения гусеничной ленты, частичной замене ее траков.

Преждевременные поломки гусеничных ходовых механизмов, часто происходят по причине их перегрузки, во время переезда через крупные и острые скальные куски, что приводило к разрушению опорных элементов.

У экскаватора № 2 после отработки 1514 мч имел место длительный простой – 660 ч, связанный с ремонтом ходового редуктора, а после 10 тыс. мч наработки, потребовалась замена 7-ми опорных катков правой стороны длительностью 106 ч,

что существенно увеличило среднее время восстановления MTBF его ходового оборудования до 69,6 ч, а также всей группы экскаваторов до 51,64 ч.

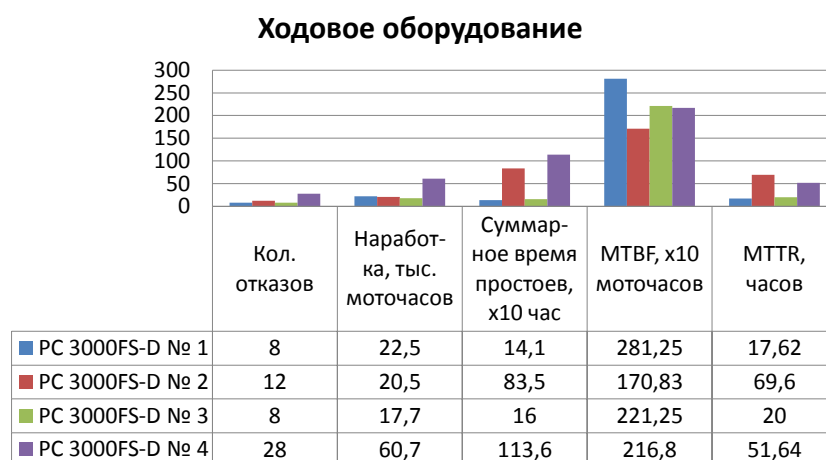


Рис. 3.13. Сравнение оценочных показателей надежности ходового оборудования экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по: наработке на отказ - MTBF и среднему времени восстановления - MTTR

Наработка на отказ ходового оборудования экскаваторов оказалась достаточно высокой, в среднем составила 2168 мч, но более высокую наработку на отказ показывает только электрооборудование. В целом по группе экскаваторов, доля простоев для восстановления работоспособности ходового оборудования составила 16,4%.

Электрооборудование.

По этой категории у трех экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 22 (9+8+5) общей продолжительностью 993,5 ч, средняя наработка на отказ MTBF составила 2756,1 мч, а среднее время восстановления MTTR - 45,16 часа (рис. 3.14).

Номенклатура работ по восстановлению электрооборудования на обследованных экскаваторах, в основном, сводилась к диагностике и настройке электросистемы, заменам различных элементов низковольтной и средневольтной аппаратуры, в частности, датчиков, реле, проводов, электродвигателей систем отопления и вентиляции и др.

Из наиболее крупных единовременных простоев следует упомянуть: у экскаватора № 1 - 72 ч на замену коммутатора и датчика; у № 2 - 768 ч на

проведение комплекса работ, связанных с установкой и настройкой контроллера, блока управления ДВС и его проводки; у экскаватора № 3 65 ч на восстановление обрыва жгута проводов управления ДВС.

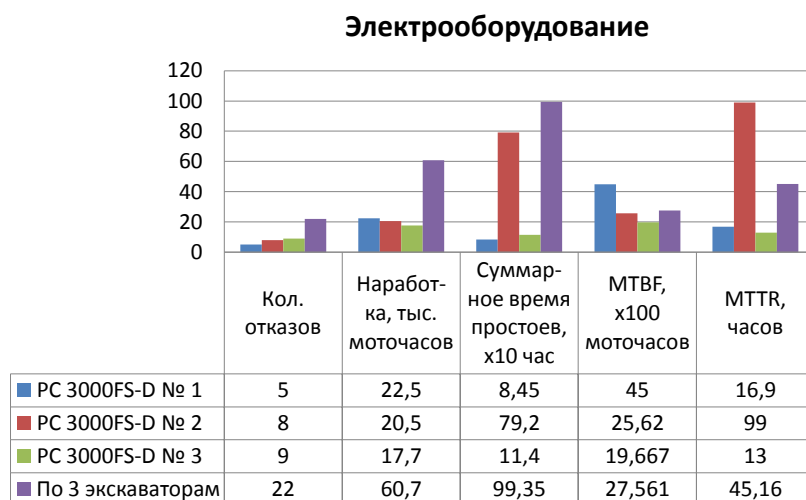


Рис. 3.14. Сравнение оценочных показателей надежности электрооборудования экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по: наработке на отказ - MTBF и среднему времени восстановления – MTTR

Наработка на отказ электрооборудования трех экскаваторов в среднем, оказалась самой высокой и составила 2756,1 мч. В целом по группе экскаваторов, доля простоев для восстановления работоспособности электрооборудования минимальна и составляет 14,37%.

Другое оборудование

По этой категории у трех экскаваторов отмечено суммарное количество отказов 60 (16+21+23) общей продолжительностью 1573 ч, средняя наработка на отказ MTBF составила 1011,7 мч, а среднее время восстановления MTTR - 26,21 часа (рис. 3.15).

Номенклатура работ по восстановлению оборудования категории «Другое» на обследованных экскаваторах, в основном, была направлена на поддержание работоспособности силовой установки с ДВС, ее системы охлаждения и кондиционирования, систем отопления кабины оператора, вентиляции, как правило, с полной их заменой после появления отказа.

Мелкому ремонту подвергалась сопутствующая гарнитура вентиляторов, выхлопных коллекторов, джойстики и остекление кабины и др. На экскаваторах за время наблюдения 5 раз меняли ДВС (три раза после отработки ими более 15 тыс.

нормативных часов), на что было задолжено 752 часа – 47,8% от общего баланса простоев по данной категории.

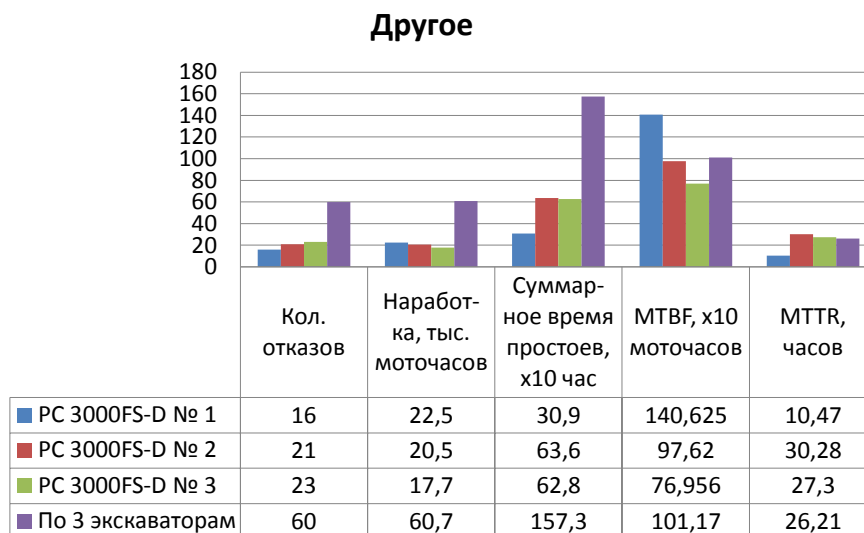


Рис. 3.15. Сравнение оценочных показателей надежности компонентов категории «Другое оборудование» экскаваторов PC 3000D № 1, 2 и 3 по: наработке на отказ - MTBF и среднему времени восстановления - MTTR

На рис. 3.16. Представлена обобщенная структурная блок-схема экскаваторов PC 3000D №1 (6280), №2 (6283) и №3 (6285) и даны основные показатели их надежности.

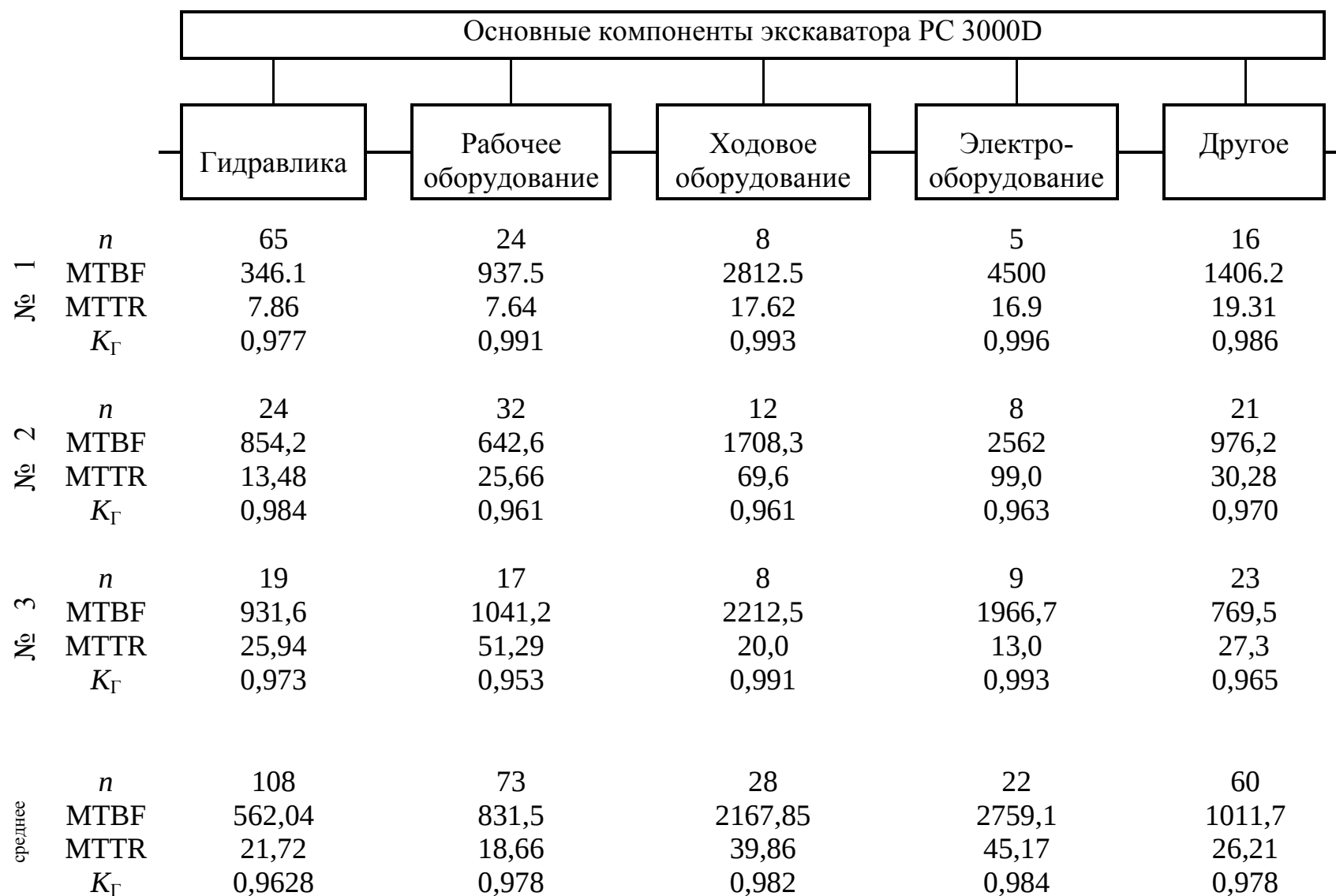


Рис. 3.16. Обобщенная структурная блок-схема экскаваторов PC 3000D № 1(6280), 2 (6283) и 3 (6285) и основные показатели их надежности

3.3.2 Анализ результатов эксплуатации КГЭ РС 5500Е

На железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш», с 2013 г началась и в настоящее время продолжается эксплуатация двух КГЭ типа РС 5500Е (№ 15089 и № 15124).

Обобщенная блок-схема экскаваторов РС 5500Е (рис. 3.17), а также блок-схемы экскаваторов № 15089 и № 15089 (рис. 3.22 и 3.23) развернуты в соответствие с их структурной композицией, отражающей взаимодействие главных их компонентов. Регистрация отказов осуществлялась по 17 категориям и 143 их элементам (см. табл. 2.1, Приложения).



Рис.3.17. Обобщенная структурная блок-схема экскаваторов РС 5500Е

Систематизированные данные производственных наблюдений за их работой, представлены в таблицах 3.16...3.19, Приложения.

Вероятностная оценка уровня технического состояния экскаваторов и характеристик их надежности функционирования осуществлялась непрерывно в запланированном интервале наблюдений, а далее, полученные данные группировались ежемесячно, как этого требует «Методика расчета эксплуатационных показателей парка оборудования (экскаваторов и буровых станков) рудоуправления ОАО «Карельский Окамыш» в его отчетных документах для производства анализа работы.

С позиций надежности, рассчитаны месячные значения коэффициентов готовности K_G , технической готовности K_{TG} и использования $K_{И}$, определена производительность экскаваторов (табл. 3.21, Приложения), а также были получены месячные значения среднего времени их наработки на отказ - MTBF и среднего времени восстановления - MTTR (рис. 3.24).

Диаграммы (рис. 3.18), показывают уровень эффективности эксплуатации экскаваторов РС 5500Е и тесную корреляционную связь между

производительностью и коэффициентом использования $K_{И}$, который, в свою очередь зависит, с одной стороны от технической готовности экскаваторов к работе, от качества и ритмичности организации их работы.

Основные изменения коэффициентов готовности $K_{Г}$ исследуемых экскаваторов в значительной степени зависят от фактического их состояния, качества обслуживания, количества и длительности простоев, распределение причин появления которых видно на диаграммах, представленных на рис. 3.19, 3.20 и 3.21, составленных на основе статистических данных (табл. 3.16 и 3.18, Приложения) по простоям двух гидравлических экскаваторов РС 5500Е № 1 (15084) и № 2 (15124), отработавших на железорудном карьере соответственно $T_{к1} = 12432$ ч и $T_{к2} = 10968$ ч.

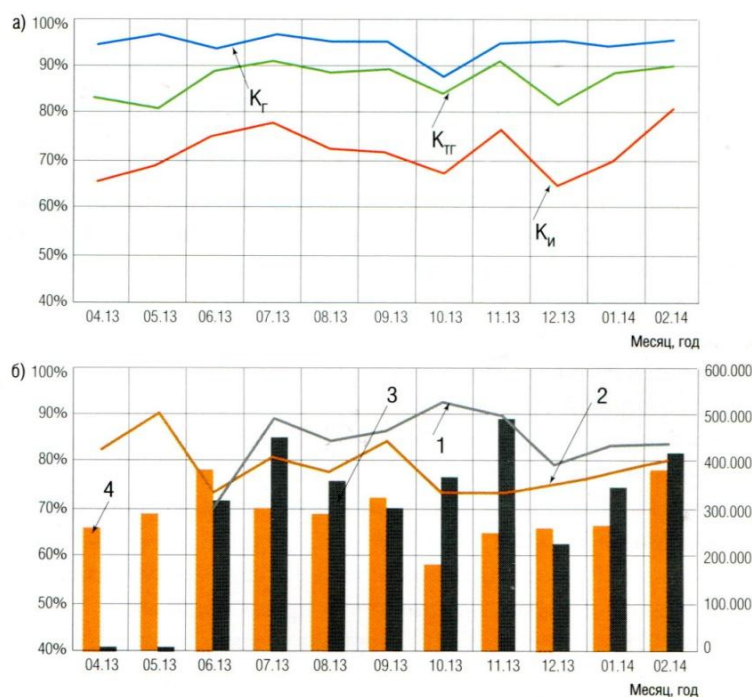


Рис. 3.18. Диаграммы эффективности эксплуатации экскаваторов РС 5500Е в течение 2013-14 гг., характеризующиеся изменениями: а - коэффициентов готовности $K_{Г}$, технической готовности $K_{ТГ}$ и коэффициентов использования $K_{И}$; б - коэффициентов использования (1 и 2) и производительности (3 и 4) экскаваторов (№1 и №2), $m^3/мес$.

КГЭ РС 5500 №15089 и №15124 за период наблюдения имели 13206 и 17324 простоев, отработали 12432 и 10968 мч, а удельные наработки на 1 отказ соответственно составили 0,941 и 0,633 мч. Конкретные значения наработок на отказ и количество простоев по каждому компоненту КГЭ РС 5500 приведены в их структурных блок-схемах (рис. 3.19 и 3.20).

Таблица 3.5

Статистические данные по длительности и категориях простоев гидравлических экскаваторов РС 5500Е на железорудном карьере «Карельский Окамыш»

Группы функциональных простоев		Экскаватор № 15089			Экскаватор № 15124			$T_{\text{Вср1-2}},$ ч ⁻¹
		$T_{\Sigma 1},$ ч	n_1	$T_{\text{Вср1}},$ ч ⁻¹	$T_{\Sigma 2},$ ч	n_2	$T_{\text{Вср2}},$ ч	
Организационные		1942,3	12875	0,15	1602,6	17056	0,093	0,11
Восстановительные, ковшей и РО		155,83	54	2,88	214,5	75	3,96	3,42
Плановые, ТО и Р		876,85	61	14,29	609,89	70	8,71	11,5
Технические:		961,17	216	4,44	304,3	121	2,51	3,75
В том числе	Гидравлика	530,07	122	5,33	93,5	34	2,75	3,99
	Ходовой механизм	198,63	24	8,27	63,64	7	9,09	8,68
	электр	высоковольтная	18,67	5	6,03	12	4,79	5,41
		средневольтная	47,07	15	3,14	15	1,36	2,25
		низковольтная	53,59	17	3,15	28	1,72	2,43
	Кабельный барабан	85,79	17	5,04	12,15	4	3,39	4,52
	Система автоматич. смазки	26,95	18	1,5	48,49	26	1,86	1,68
В целом по экскаватору		3930,9	13191	0,298	2728,1	17324	0,157	0,227

В категории «Организационные» причины отмечено наибольшее количество отказов 12875 и 17056, длительностей простоев 1942,3 (49,44%) и 1602,6 ч (58,74%), и соответствующих наработок на отказ 0,965 и 0,43 мч, которые у данных экскаваторов произошли по причинам, не имеющим отношения к их физическому состоянию (их перечень установлен регламентом компании KMG и контрактом с ОАО «КО» на их эксплуатацию), это например: отсутствие физическому состоянию (их перечень установлен регламентом компании KMG и контрактом с ОАО «КО» на их эксплуатацию), это например: отсутствие электроснабжения, транспорта для погрузки, задержки доставки запчастей, горно-технологические и климатические неблагоприятные факторы, внешние управленческие ошибки и др.

В категории «Технические» простои (по экскаватору в целом), учтены количество отказов, их длительность и наработка на отказ, соответственно равные: 216 и 121; 961,17 ч (22,3%) и 304,3 ч (11,17%); 57,56 и 90,64 мч.

Здесь учитываются отказы компонентов систем: гидравлики, механизмов хода, электросети и блоков управления, редукторов приводов, металлоконструкций верхнего строения, опорно-поворотного круга, системы автоматизированной смазки, кабельного барабана и др.

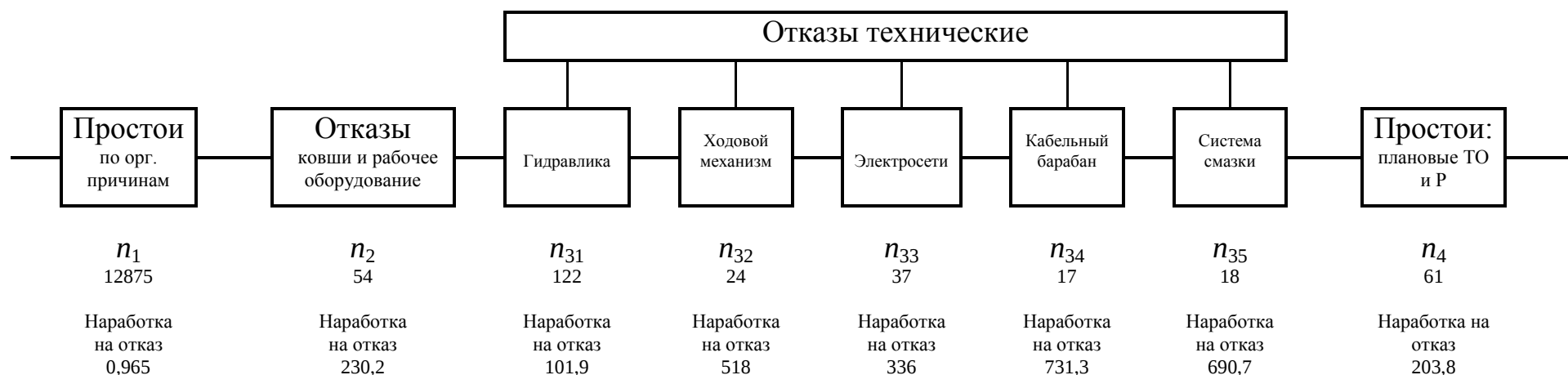


Рис. 3.19. Структурная блок-схема и показатели надежности экскаватора PC 5500E №15089

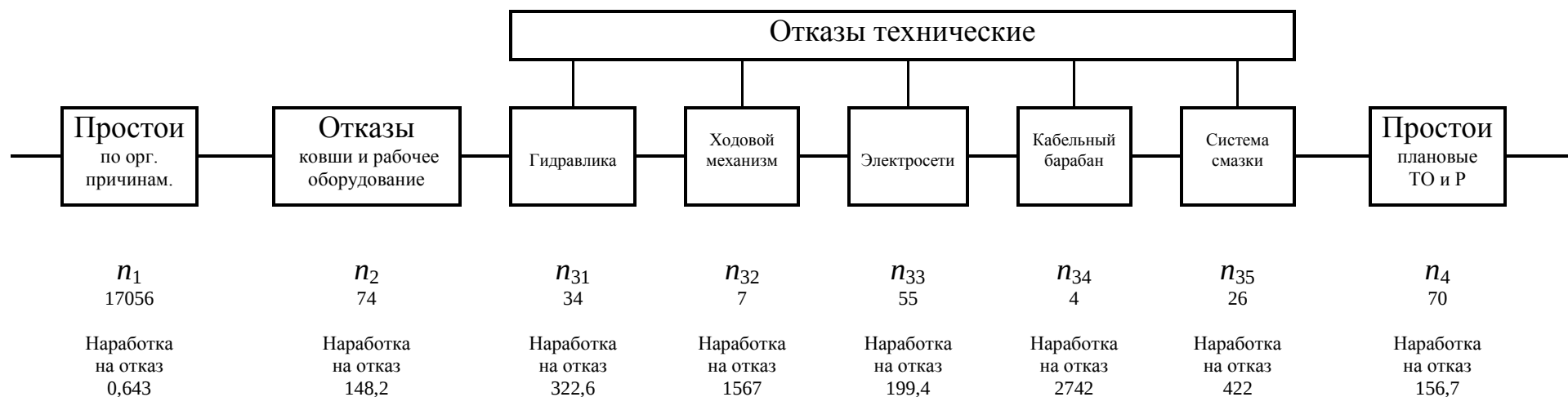


Рис. 3.20. Структурная блок-схема и показатели надежности экскаватора PC 5500E №15124

В категории восстановительных простоев «Ковши и РО», учтены количество отказов, их длительность и наработка на отказ, соответственно равные: 54 и 74; 155,83 ч (3,94%) и 214,13 ч (7,84%); 230,3 и 148,2 мч, возникающие в результате разрушения элементов рабочего оборудования: ковшей; шарниров стрел и рукоятей, их пальцев, втулок, креплений и др.

В категории «Плановые ТО и Р», зафиксированы количество отказов, их длительность и наработка на отказ, соответственно равные: 61 и 70; 876,85 ч (22,17%) и 607,08 ч (22,25%); 203,8 и 156,7 мч отражающие затраты времени на: плановое обслуживание и инспекцию узлов машины, осуществление модификации, капитального ремонта, модернизации и др.

Группировка категорий оборудования экскаваторов РС 5500 по длительности суммарного времени простоев (рис. 3.21), показывает, что эффективность их использования ($K_{и}$) очень низка вследствие больших потерь времени на непроизводственные нужды.



Рис. 3.21. Группировка 9-ти категорий оборудования экскаваторов РС 5500 по длительности суммарного времени простоев, час

Распределение же времени простоев и их количества по категориям оборудования экскаваторов РС 5500Е (без учета простоев по организационным причинам), показывает (рис. 3.22), что наибольшее внимание сервисных служб должно уделяться восстановлению гидравлического, рабочего и ходового оборудования путем превентивного резервирования соответствующих компонентов и своевременной их заменой.

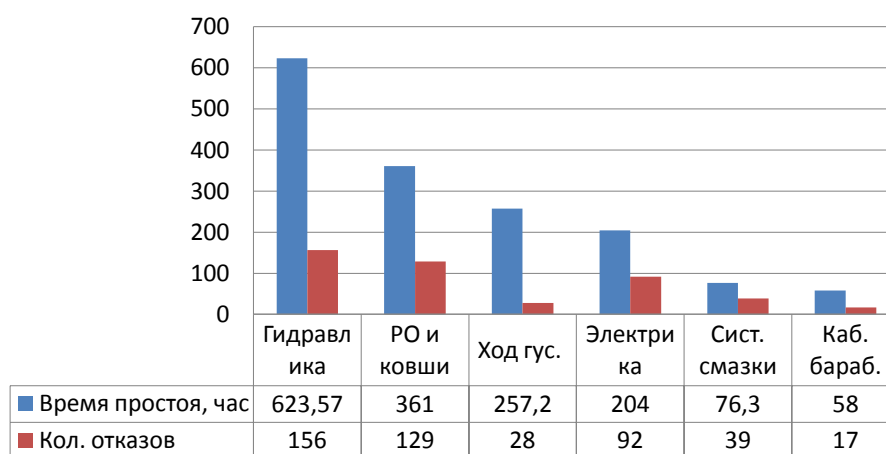


Рис. 3.22. Гистограмма распределения времени простоев и их количества (без учета простоев по организационным причинам), по 6-ти категориям оборудования экскаваторов РС 5500Е

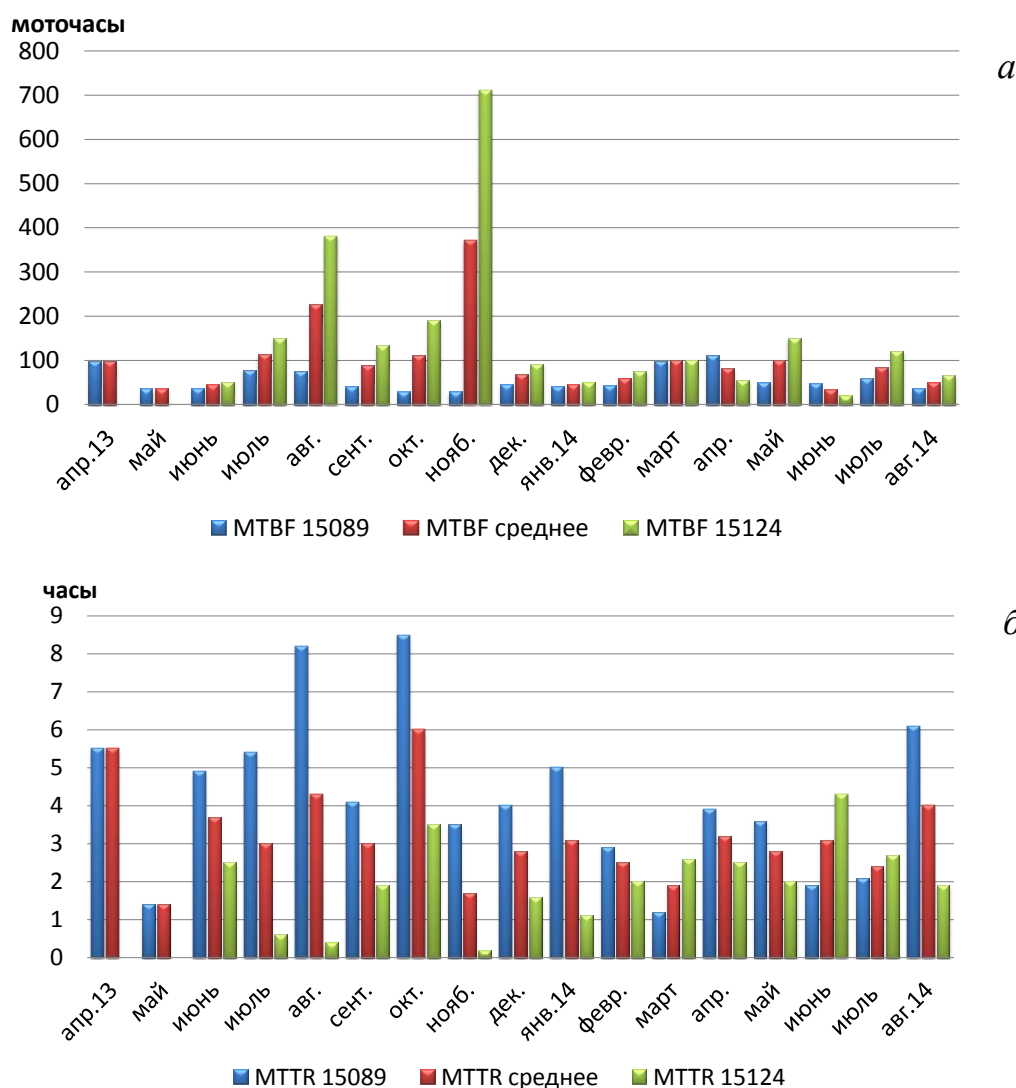


Рис. 3.23. Гистограммы: а - MTBF - среднего времени наработки на отказ (без учета простоев на внеплановое обслуживание и по организационным причинам); б - MTTR - среднего времени восстановления работоспособности (ремонта) экскаваторов РС 5500FS/E при их эксплуатации на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш» (численные значения величин приведены в табл. 3.16...3.19 Приложения).

Таблица 3.6.

Показатели надежности работы экскаватора РС 5500 №15084 на железорудном карьере ООО «Карельский Окамыш»

Простои (часы) - 2013									
Системы & Компоненты	коды	АПР	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТ	ОКТАБРЬ	ИТОГО
ЭЛЕКТРИКА высоковольтная	1	9,90					2,37		12,27
ЭЛЕКТРИКА средневольтная	2	28,40	18,67						47,07
ЭЛЕКТРИКА низковольтная	3		1,42				11,13	2,42	14,97
ЭЛЕКТРОМОТОР	4								0,00
ГИДРАВЛИКА	5		3,38	48,63	34,52	40,70	34,22	30,73	192,18
РЕДУКТОРЫ	6								0,00
СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ СМАЗКИ	7							0,57	0,57
СИСТЕМА СМАЗКИ КРУГА ВРАЩЕНИЯ	8								0,00
АЭРОКОНДИЦИЯ	9		1,10						1,10
ХОДОВАЯ СИСТЕМА	10				13,93			135,62	149,55
КАБЕЛЬНЫЙ БАРАБАН	11		2,47			33,20	21,33		57,00
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ	12								0,00
КАБИНА	13								0,00
КОВШ / ГАРНИТУРА	14	22,45	2,20	34,77	4,42	5,62	21,40	23,68	114,53
ПЛАНОВЫЕ ПРОСТОИ	15	61,22	114,02	7,00	56,97	8,03		10,20	257,43
ОПЕРАТИВНЫЕ ПРОСТОИ/ОБСЛУЖИВАНИЕ	16			3,38		1,85			5,23
ПРОЧИЕ	17	124,42	84,01	59,78	106,96	139,66	108,83	105,23	728,89
ИТОГО		246,39	227,26	153,56	216,79	229,06	199,28	308,45	1580,79

КОЛИЧЕСТВО ОТКАЗОВ - 2013

SYSTEMS & COMPONENTS	коды	АПР	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТЯБРЬ	ОКТ	ИТОГО
ЭЛЕКТРИКА высоковольтная	1	2					1		3
ЭЛЕКТРИКА средневольтная	2	5	10						15
ЭЛЕКТРИКА низковольтная	3		1				6	1	8
ЭЛЕКТРОМОТОР	4								0
ГИДРАВЛИКА	5		5	10	6	7	5	9	42
РЕДУКТОРЫ	6								0
СИСТЕМА ЦЕНТРАЛЬНОЙ СМАЗКИ	7							1	1
СИСТЕМА СМАЗКИ КРУГА ВРАЩЕНИЯ	8								0
АЭРОКОНДИЦИЯ	9		1						1
ХОДОВАЯ СИСТЕМА	10				3			9	12
КАБЕЛЬНЫЙ БАРАБАН	11		3			2	5		10
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ	12								0
КАБИНА	13								0
КОВШ / ГАРНИТУРА	14	9	2	3	3	7	5	7	36
ПЛАНОВЫЕ ПРОСТОИ	15	5	9	1	8	1		2	26
ОПЕРАТИВНЫЕ ПРОСТОИ/ОБСЛУЖИВАНИЕ	16			2		2			4
ПРОЧИЕ	17	1108	929	476	782	997	1333	655	6280
ИТОГО		1129	960	492	802	1016	1355	684	6438

ГОТОВНОСТЬ / ИСПОЛЬЗОВАНИЕ - 2013

	АПР	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТ	ОКТ	СРЕДНЕЕ
	30	31	30	31	31	30	31	214
ОБЩЕЕ КОЛИЧЕСТВО ЧАСОВ ПРОСТОЕВ	246,39	227,26	153,56	216,79	229,06	199,28	308,45	1580,79
ОБЩИЙ % ИСПОЛБЗОВАНИЯ	65,8%	68,4%	78,7%	70,9%	69,2%	72,3%	58,5%	69%
ЧАСЫ ПРОСТОЯ б/учета данных Кода 17	121,97	143,25	93,78	109,83	89,40	90,45	203,22	851,90
% ТЕХН. ГОТОВНОСТИ б/учета КОДА 17	83,1%	80,1%	87,0%	85,2%	88,0%	87,4%	72,7%	83%
ЧАСЫ ПРОСТОЕВ б/учета КОДОВ 16-17	121,97	143,25	90,40	109,83	87,55	90,45	203,22	846,67
% ИСПОЛЬЗОВАНИЯ б/учета КОДОВ 16-17	83,1%	80,1%	87,4%	85,2%	88,2%	87,4%	72,7%	84%
ЧАСЫ ПРОСТОЕВ б/учета КОДОВ 15-17	60,75	29,23	83,40	52,87	79,52	90,45	193,02	589,23
%ТЕХН. ГОТОВНОСТИ б/учета КОДОВ 15-17	91,6%	96,1%	88,4%	92,9%	89,3%	87,4%	74,1%	89%
ЧАСЫ ПРОСТОЕВ б/учета КОДОВ 14-17	38,30	27,03	48,63	48,45	73,90	69,05	169,33	474,70
% ГОТОВНОСТИ (физической)	94,7%	96,4%	93,2%	93,5%	90,1%	90,4%	77,2%	91%

MTBF - НАРАБОТКА НА ОТКАЗ - 2013

	АПР	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТ	ОКТ	СУММА и СРЕДНЕЕ
ЧАСЫ РАБОТЫ МАШИНЫ б/у КОДОВ 14-17	681,70	716,97	372,90	695,55	670,10	674,95	574,67	4386,83
КОЛИЧЕСТВО ОТКАЗОВ б/у КОДОВ 14-17	7	20	10	9	9	17	20	92,00
MTBF - НАРАБОТКА НА ОТКАЗ, часов	97,4	35,8	37,3	77,3	74,5	39,7	28,7	47,7

MTTR - СРЕДНЯЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РЕМОНТА (ПРОСТОЯ) - 2013

	АПР	МАЙ	ИЮНЬ	ИЮЛЬ	АВГУСТ	СЕНТ	ОКТ	СУММА и СРЕДНЕЕ
ЧАСЫ ПРОСТОЕВ МАШИНЫ б/у 14-17	38,30	27,03	48,63	48,45	73,90	69,05	169,33	474,70
КОЛ. ПРОСТОЕВ б/у КОДОВ 14-17	7	20	10	9	9	17	20	92,00
MTTR - СР. ПРОДОЛЖ. РЕМОНТА, часов	5,5	1,4	4,9	5,4	8,2	4,1	8,5	5,2

Весьма сходные показатели надежности, в частности средние величины наработки на отказ MTBF и среднее время восстановления MTTR оборудования, выявлены при эксплуатации 5-ти экскаваторов PC 5500E на карьерах Hope Downs, West Angelas и Yandicoogina в Австралии, табл. 3.7.

Таблица 3.7.

Показатели надежности экскаваторов PC 5500E на карьерах Hope Downs, West Angelas и Yandicoogina в Австралии за Май 2014

Серийный №	№15111	№15112	№15113	№15072	№15101
Карьер	Hope Downs 4	Hope Downs	Hope Downs 4	West Angelas	Yandicoogina
Коэфф. готовности, %	76,5	69,0	81,7	76,9	70,8
Коэфф. использования, %	45,2	36,6	48,4	42,4	44,1
Оперативные остановки, час	124,81	122,9	145,47	115,9	116,46
Простои по техническим причинам, час	99,75	108,5	95,4	120,8	74,46
Наработка за месяц, мч	328,64	265,5	352,51	307,8	321,37
Наработка с момента запуска в эксплуатацию, мч	7529	8562	8042	30821	12257
MTBF, мч	26,54	26,6	50,65	21,8	34,84
MTTR, час	4,3	5,6	4,93	4,0	10,69
Плановые простои, час	77,44	52,9	66,79	87,1	79,31
Аварийные простои, час	92,79	97,5	58,02	83,1	139,93

Здесь также отмечаются достаточно низкие средние значения коэффициентов использования $K_{и}$ рабочего времени всех 5-ти экскаваторов, не превышающие 50%, в результате вынужденных длительных операционных простоев из-за сложных горно-технологических условий эксплуатации, достаточно коротких промежутков времени наработки, как на отказ, так и между отказами, появления мелких, до достаточно частых аварийных остановок, вследствие низкой эффективности работы сервисно-ремонтной службы.

Экскаватор PC 5500 № 15082 отработавший 30821 мч подлежал плановой капитальной модернизации с заменой основных модулей и ремонтом, прежде всего гидравлического и электрического оборудования и основных трансмиссий приводов насосных станций, механизма поворота и хода, систем охлаждения, вентиляции и смазки, также рабочего оборудования.

Процентное распределение длительностей отказов компонентов и степень их влияния на уровень надежности, можно оценить по гистограмме (рис. 3.24), в которой учитываются простои на плановое обслуживание, но исключены простои

организационного характера, не имеющие отношения к физическому состоянию экскаватора. Очевидно, что на данных карьерах основными компонентами КГЭ, требующими наибольшего внимания сервисных служб оказались ковши, рабочее и гидравлическое оборудование.

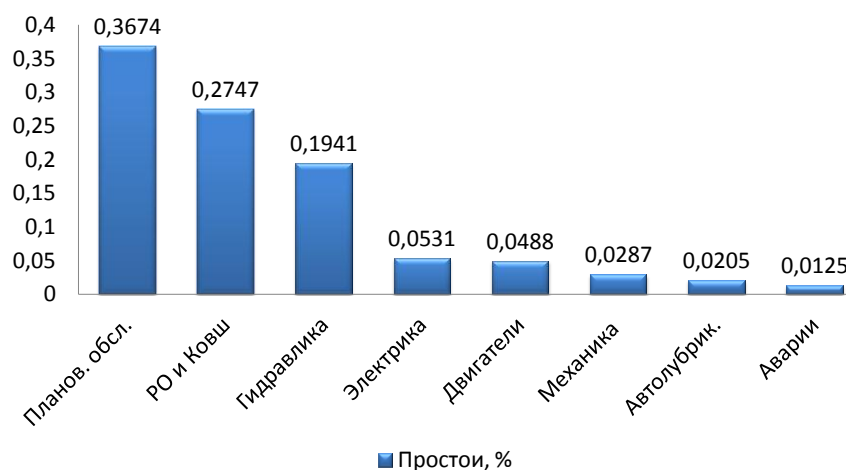


Рис. 3.24. Гистограмма процентного распределения длительности отказов по функциональным группам экскаватора PC 5500E на карьерах Австралии

Компания KMG поставила на горные предприятия мира более 100 мощных КГЭ типа PC 8000, часть которых работает и в РФ. Наибольший интерес представляют результаты работы экскаваторов этого типа в Колумбии, где на карьерах Drummond и Cerrejon с 2001 и 2004 гг эксплуатируются 10 машин и накоплен большой массив данных с наработкой, одного из них, свыше 110 тыс. мч.

На рис. 3.25 представлены кумулятивные графики: коэффициентов готовности K_r ; средних значений наработки на отказ MTBF; среднего времени восстановления MTTR и месячной производительности, построенные по статистическим данным зафиксировавших свыше 20 тыс. отказов полученных при эксплуатации 10-ти экскаваторов PC 8000 за период наработки каждым из них, в среднем по 60 тыс. мч.

Изменение коэффициента готовности, как MTBF, так и MTTR в пределах 1-2 тыс. мч эксплуатации сопровождается достаточно большим количеством случайных отказов, характерных для периода приработки оборудования. В целом же, все показатели, включая производительность, но не MTTR, плавно снижаются, что связано с процессом общей деградации оборудования в

результате его эксплуатационного старения.

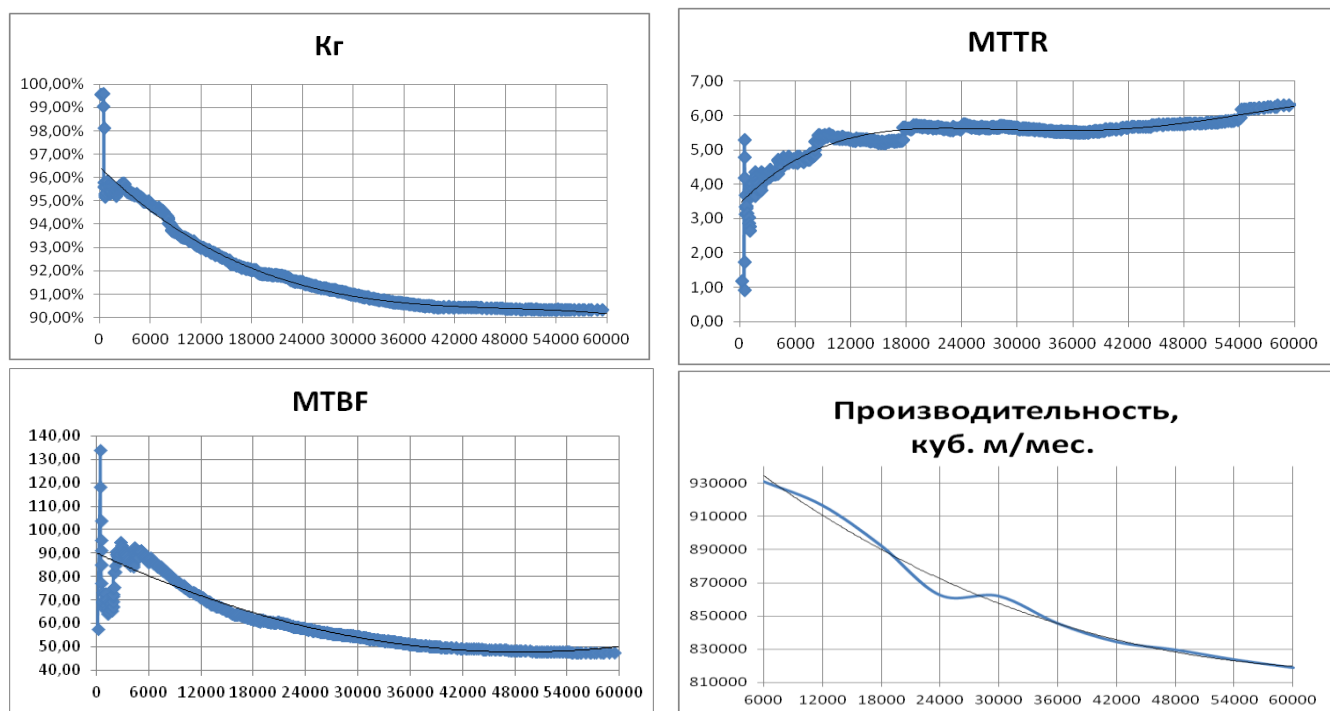


Рис. 3.25. Графики изменения коэффициента готовности $K_{Г}$, наработки на отказ MTBF (моточасов), времени восстановления MTTR (час) и месячной производительности ($\text{м}^3/\text{мес.}$) экскаватора PC 8000 за период наработки 60 тыс. моточасов

По данным таблицы 3.20 П, где приведены усредненные данные 914 отказов экскаватора PC 8000 № 12059, построены графики изменения коэффициента готовности $K_{Г}$, средних значений наработки на отказ MTBF, среднего времени восстановления MTTR (рис. 3.26) для наработки 60 тыс. мч. Из графика видно, что с увеличением времени эксплуатации экскаватора снижаются его характеристики надежности, что сопровождается уменьшением времени наработки на отказ MTBF, увеличением продолжительности простоев MTTR и снижением производительности, что имеет место, несмотря на регулярно осуществляемые профилактические замены изнашивающихся компонентов, которые наряду с основными металлоконструкциями, также подвержены явлениям старения, по мере увеличения срока службы.

С увеличением времени эксплуатации КГЭ снижаются MTBF и производительность, увеличивается суммарная MTTR, что происходит, несмотря на периодическое обновление изнашивающихся компонентов, которые наряду с основными металлоконструкциями машины, также подвержены старению.

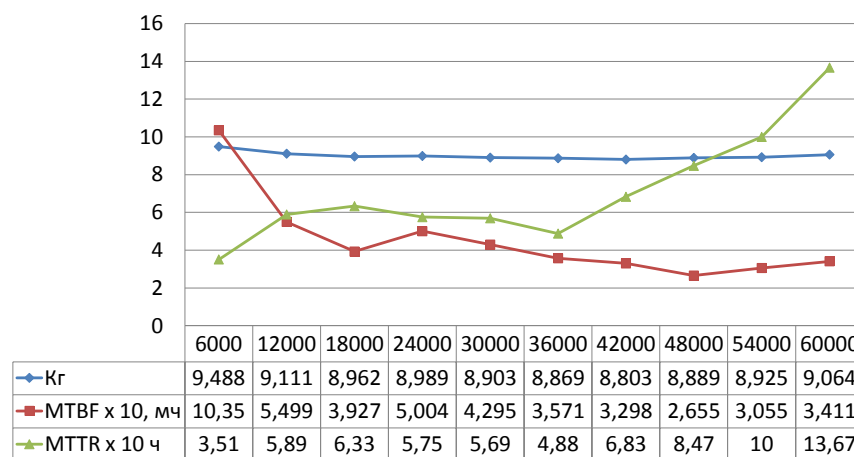


Рис. 3.26. Графики изменения коэффициента готовности K_g , наработки на отказ MTBF, времени восстановления MTTR экскаватора PC 8000 за период наработки 60 тыс. мч

Установлена зависимость старения оборудования в функции времени его наработки (количества лет эксплуатации), которая должна учитываться при определении удельных эксплуатационных расходов на заменяемые компоненты и сопутствующие им трудозатраты, введением поправочного коэффициента Y , учитывающего темпы снижения надежности оборудования. Он представляет собой обобщенный параметр, зависящий от отношения среднего значения MTTR к среднему значению MTBF за определенный период времени (рис. 3.27), текущее значение которого, в конкретном году X_i , аппроксимируется уравнением вида

$$Y_i = \text{MTTR}/\text{MTBF} = AX_i + B, \quad (3.9)$$

где - коэффициенты A и B , зависят от надежности компонентов машины, условий эксплуатации, а также, в значительной степени, и от типа привода насосной станции, фиксируя определенные преимущества КГЭ с электроприводом.

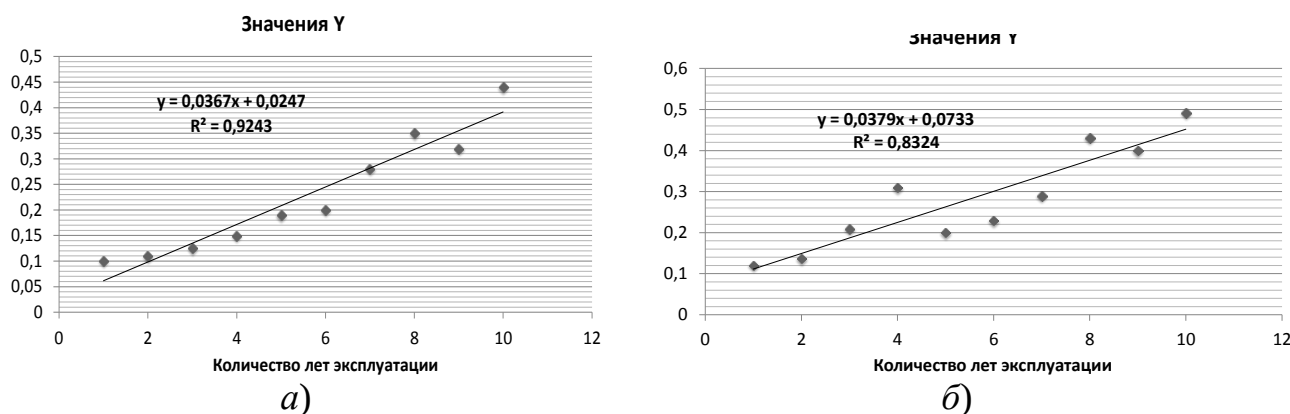


Рис.3.27. Графики изменения временного фактора снижения надежности (обобщенного параметра потока отказов) экскаватора: а - PC 5500E; б - PC 3000D в зависимости от количества лет эксплуатации

В соответствие с данными рис. 3.27, изменение временного фактора старения оборудования k_{hi} в текущем T_i году следует учитывать выражением

$$k_{hi} = 1 + Y_i = 1 + A(T_i + B) \quad (3.10)$$

3.4 Анализ законов распределения случайных значений наработок компонентов гидравлических экскаваторов

У современных КГЭ компании KMG, обслуживаемых по системе с превентивной заменой компонентов в установленные графиками сроки, характерно возникновение, как правило, случайных, достаточно мелких по своей значимости отказов, являющихся результатом локального изнашивания элементов или появления усталостных повреждений, что исключает, как правило, возникновение внезапных крупных отказов (аварий), в таких случаях, величины наработок до отказа, как это будет показано ниже, имеют равномерный характер распределения отказов.

В наших исследованиях КГЭ типа РС 3000D и РС 5500E, подтверждено высказанное ранее положение, что экспоненциальному распределению подчиняются наработки до отказа практически всех элементов гидросистем (насосов и моторов, гидроцилиндров, их шевронных уплотнений, рукавов высокого давления и гарнитуры их креплений и др.), гидросистемы в целом, а также и всех основных механических компонентов экскаваторов, прежде всего, редукторов, муфт, втулок, элементов ходовых устройств.

Статистические данные наблюдений отказов и мер их устранения (таблицы 3.1...3.15 Приложений) были сгруппированы в интервалы с необходимым и достаточным объемом изучаемых случайных величин, по которым строились соответствующие гистограммы эмпирических распределений параметров исследуемых компонентов и определялись, например для КГЭ типа РС 3000D, их числовые характеристики $\overline{m}_t$, $\overline{D}_t$, $\overline{\sigma}_t$ и $\overline{v}_t$, приведенные в табл. 3.8.

Таблица 3.8

Основные числовые значения параметров распределения случайных величин отказов экскаваторов РС 3000D

	$\overline{m}_t$, ч	$\overline{D}_t$, ч ²	$\overline{\sigma}_t$, ч	$\overline{v}_t$
РС 3000BH/D № 6280	160,95	17894,59	133,8	0,831
РС 3000FS/D № 6283	208,57	38670,59	196,65	0,943
РС 3000FS/D № 6285	239,63	59013,69	242,9	1,014

Наработка гидрооборудования экскаватора РС 3000BH/D № 1 между отказами за срок эксплуатации 22500 мч распределяется в диапазоне между 6 и 4190 мч (табл. 3.3, Приложения), поэтому временной интервал оценки отказов Δt по правилу Старджесса принимается равным

$$\Delta t = (t_{\max} - t_{\min}) / (1 + 3,3 \lg n) = (4190 - 6) / (1 + 3,3 \lg 65) = 599,4 \text{ мч}$$

Массив отказов по гидравлическому оборудованию распределяем на 7 интервалов по 600 мч, приведенных ниже в таблице

Интервал отказов, часы	Число отказов в интервале	n_i/n
0 - 600	48	0,7384
600 - 1200	9	0,1384
1200 - 1800	4	0,0614
1800 - 2400	2	0,0307
2400-3000	1	0,0154
3000-3600	0	0,0
3600-4200	1	0,0154
	Сумма 24	Сумма 0,999

Математическое ожидание и дисперсия наработки на отказ гидрооборудования экскаватора РС 3000 №1(6280) равны

$$\overline{m}_t = \sum_{i=1}^k \overline{t}_i \cdot n_i / n = 300 \cdot 0,738 + 900 \cdot 0,138 + 1500 \cdot 0,0614 + 2100 \cdot 0,0307 + 2700 \cdot 0,0154 + 0 + 3900 \cdot 0,0154 = 602,27 \text{ мч};$$

$$\overline{D}_t = \sum_{i=1}^k (\overline{t}_i - \overline{m}_t)^2 \cdot n_i / n = (300 - 602,27)^2 \cdot 0,738 + (900 - 602,27)^2 \cdot 0,138 + (1500 - 602,27)^2 \cdot 0,0614 + (2100 - 602,27)^2 \cdot 0,0307 + (2700 - 602,27)^2 \cdot 0,0154 + 0 + (3900 - 602,27)^2 \cdot 0,0154 = 431680,6 \text{ мч}^2,$$

где n - объем выборки СВ; n_i - количество значений СВ, попавших в i -й интервал; k - число интервалов группирования СВ; $\overline{t}_i$ - середина i -го интервала.

Среднеквадратическое отклонение $\overline{\sigma}_t = \sqrt{D_t} = 657$ мч, а коэффициент вариации $\overline{v}_t = \overline{\sigma}_t / \overline{m}_t = 657/602,27 = 1,09$, следовательно, наработки между отказами гидравлического оборудования экскаватора представляется экспонентой (рис. 3.28).

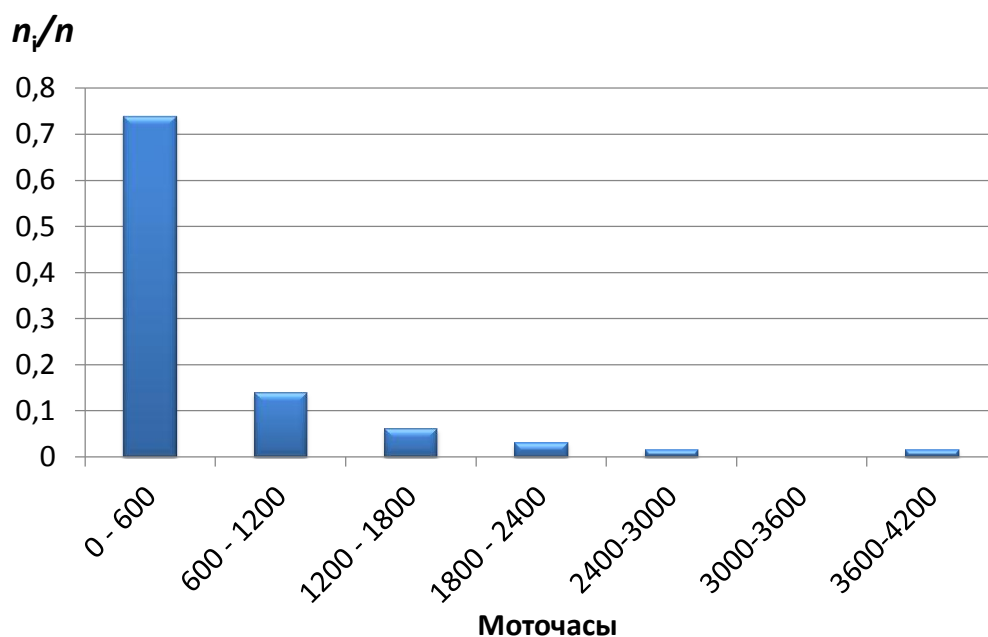


Рис. 3.28. Гистограмма распределения частоты наработки гидравлического оборудования экскаватора PC 3000BH/D № 1 (6280)

Распределение плотности вероятности наработки гидравлического оборудования на отказ, представленный на рис. 3.29 с определенным допущением можно отнести к равномерному, а количественные значения его наработки отвечают установленным на заводе нормативам.

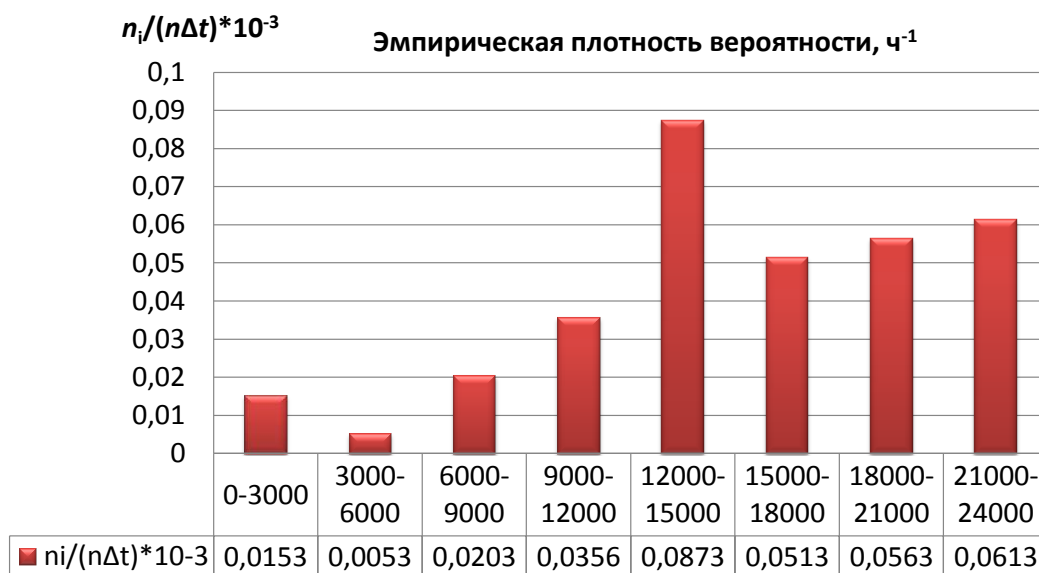


Рис. 3.29. Эмпирическая плотность вероятности появления отказов гидравлического оборудования экскаватора PC 3000 BH/D № 1 (6280)

Вероятность безотказной работы гидравлического оборудования и самого экскаватора № 1 (6280) в целом описывается выражениями, соответственно

$$P(t) = e^{-(t/346,1)} \text{ и } P(t) = e^{-(t/190,7)},$$

откуда вероятность безотказной работы гидравлического оборудования, например за 10 мч работы, составляет 0,9715, что естественно выше, чем в целом самого экскаватора 0,9489.

Среди 65 отказов гидравлического оборудования экскаватора № 6280, в частности было отмечено 29 отказов *шевронных уплотнений* гидроцилиндров, показавших наработку до 1-го отказа 6578 мч. Поскольку наработка шевронных уплотнений между отказами распределялась в диапазоне между 17 и 2983 мч, то имеем: $\overline{m}_t = 623,5$ мч, $\overline{D}_t = 402942,37$ мч², $\overline{\sigma}_t = \sqrt{\overline{D}_t} = 634,77$ мч, $\overline{v}_t = \overline{\sigma}_t / \overline{m}_t = 1,108$, и следовательно, наработки между отказами шевронного уплотнения также подчиняются экспоненциальному закону распределения, что наглядно подтверждается и характером гистограммы, представленной на рис. 3.30.

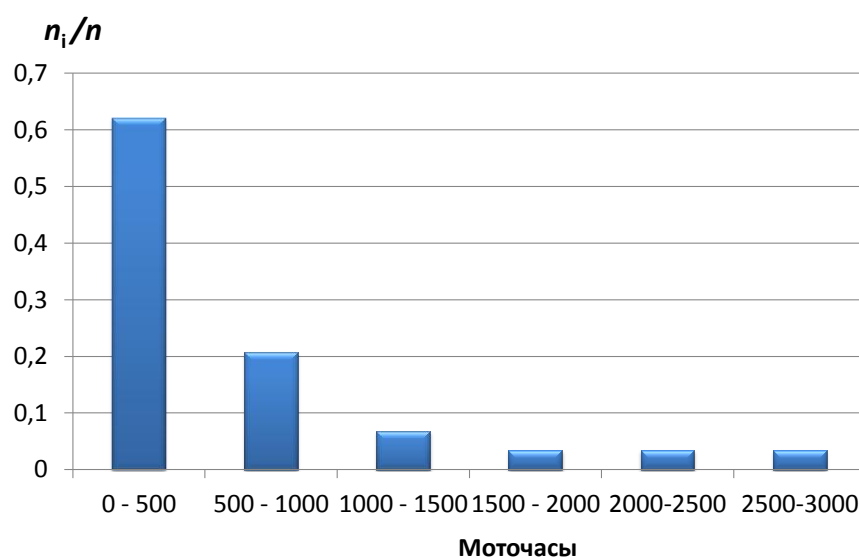


Рис. 3.30. Гистограмма частоты распределения наработки между отказами шевронного уплотнения экскаватора РС 3000D № 1 (6280)

Вероятность безотказной работы шевронного уплотнения имеет вид $P(t) = e^{-(t/775,8)}$ и за 10 мч работы составляет 0,9871.

Распределение плотности вероятности наработки шевронного уплотнения на отказ, представленный на рис. 3.31 по характеру всплесков отказов, в известной степени, коррелирует с аналогичной гидрооборудования (рис. 3.30) и ее также с определенным допущением можно отнести к равномерному.

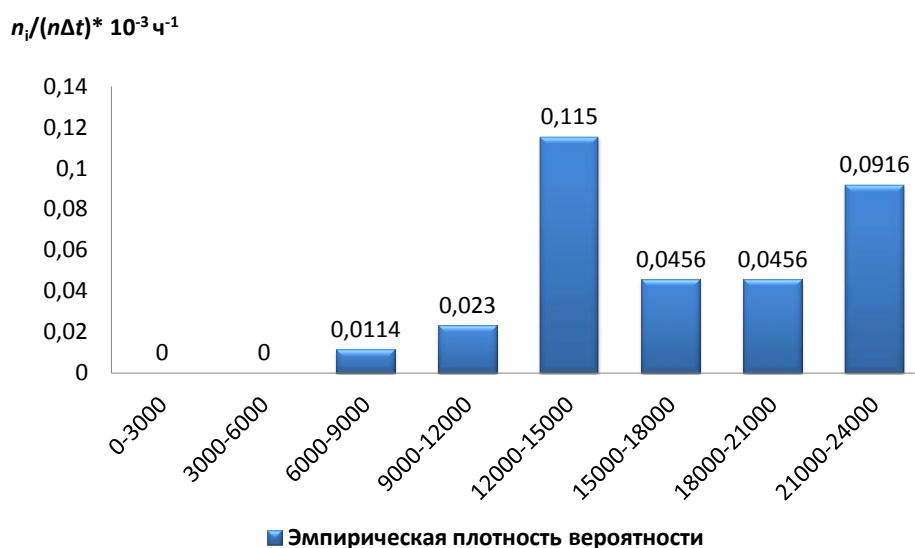


Рис. 3.31. Гистограмма эмпирической плотности вероятности распределения наработок на отказ шевронных уплотнений экскаватора PC 3000D №1 (6280)

Наработка на отказ *рабочего оборудования* экскаватора PC 3000 № 1 (6280) в среднем составляет $22500/24 = 937,5$ мч. Нарботка его между отказами находится в диапазоне между 126 и 3516 мч, тогда временной интервал оценки отказов Δt по правилу Старджесса принимаем равным 700 мч, а всю совокупность данных разбиваем на 4 интервала с величинами отношений n_i/n , по которым получаем гистограмму экспоненциального закона распределения наработки рабочего оборудования между отказами экскаватора (рис. 3.32).

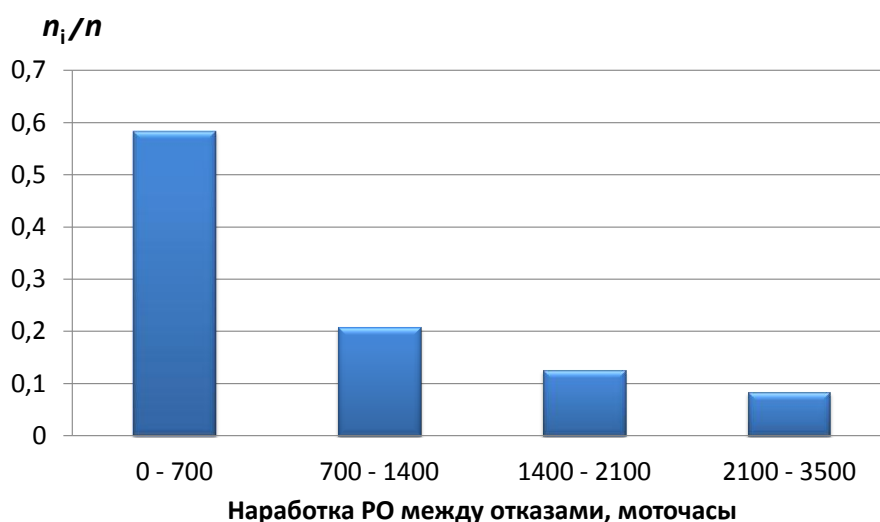


Рис. 3.32. Гистограмма распределения частоты наработки рабочего оборудования между отказами экскаватора PC 3000D № 1 (6280)

Математическое ожидание наработки на отказ рабочего оборудования экскаватора PC 3000 № 1 равно $\overline{m}_t = 873,6$ мч, дисперсия $\overline{D}_t = 570330$ мч², среднее квадратическое отклонение $\overline{\sigma}_t = \sqrt{\overline{D}_t} = 570330^{0,5} = 755,2$ мч, а коэффициент

вариации $\bar{v}_t = \bar{\sigma}_t / \bar{m}_t = 755,2/873,6 = 0,864$, что близко к единице, следовательно, наработки на отказ рабочего оборудования экскаватора подчиняются экспоненциальному закону распределения.

Вероятность безотказной работы рабочего оборудования экскаватора № 1 имеет вид $P(t) = e^{-(t/937,5)}$, а экскаватора в целом $P(t) = e^{-(t/190,7)}$.

Вероятность безотказной работы рабочего оборудования за 10 мч работы составляет 0,9894, а экскаватора в целом 0,9489, а 100 мч работы составляет соответственно 0,898825 и 0,5919.

Вероятность безотказной работы экскаватора $P(t)$, за n мч работы, можно подсчитать другим путем, перемножив вероятности безотказной работы всех обследованных ранее 5-ти компонентов машины, которая для 100 мч равна

$$P(t) = 0,898825 * 0,9314 * 0,7491 * 0,9651 * 0,9780 = 0,591919,$$

что показывает полное совпадение результатов. Отсюда можно сделать вывод, что наработки на отказ всего оборудования экскаватора в целом, также подчиняются экспоненциальному закону распределения.

Экскаватор PC 5500FS/E № 15089 за период с апреля 2013 г и по сентябрь 2014 г наработал 7956 мч, и за этот период были зафиксированы 122 отказа по категории *гидравлическое оборудование* (табл. 3.17, Приложения).

Распределение времени наработки всех его элементов между отказами уложилось в диапазон между 10 и 1455 мч, поэтому временной интервал оценки отказов Δt по правилу Старджесса принимается равным $\Delta t = 158,37$ мч, а массив отказов по гидравлике распределяется в 7 интервалах по 200 мч. Основные числовые значения параметров распределения имеет вид: $\bar{m}_t = 378,1$ мч, $\bar{D}_t = 288673,46$ мч², $\bar{\sigma}_t = 537,28$ мч, и $\bar{v}_t = 1,42$, а гистограмма частоты распределения наработки гидравлического оборудования между отказами данного экскаватора (рис. 3.33), это экспонента со значением коэффициента вариации $\bar{v}_t = 1,42$.

Вероятность безотказной работы гидравлического оборудования экскаватора PC 5500 FS/E № 15089 имеет вид $P(t) = e^{-(t/378,1)}$.

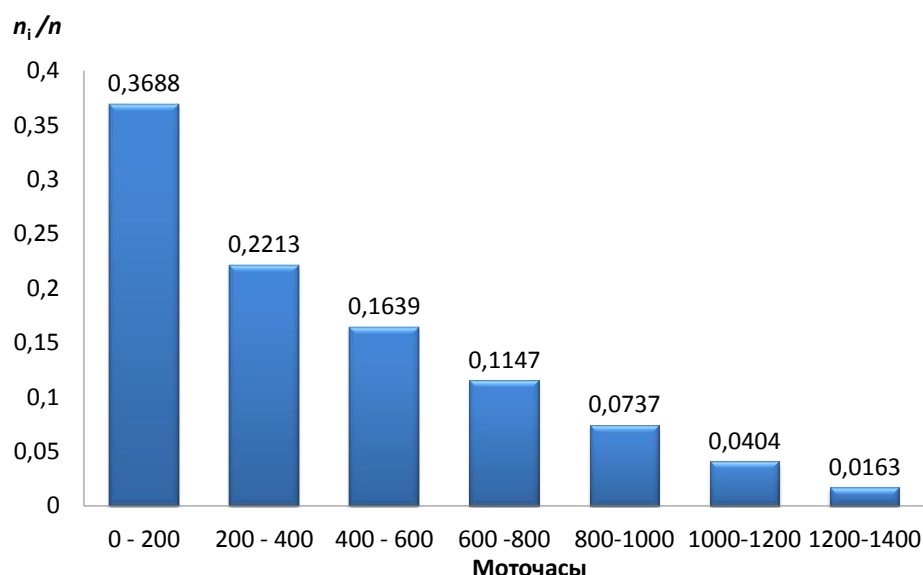


Рис. 3.33. Гистограмма распределения частоты наработки на отказ гидравлического оборудования экскаватора PC 5500FS/E № 15089

Экскаватор PC 8000FS/E № 12059, эксплуатирующийся на карьере Drammond в Колумбии наработал 60034 мч, и за этот период было зафиксировано 944 отказа, относящихся непосредственно к компонентам экскаватора позволивших оценить средние значения наработки на отказ 44,75 мч, времени восстановления 7,1 ч, месячной производительности 802,6 тыс. м³, и коэффициента готовности – $K_T = 0.90$.

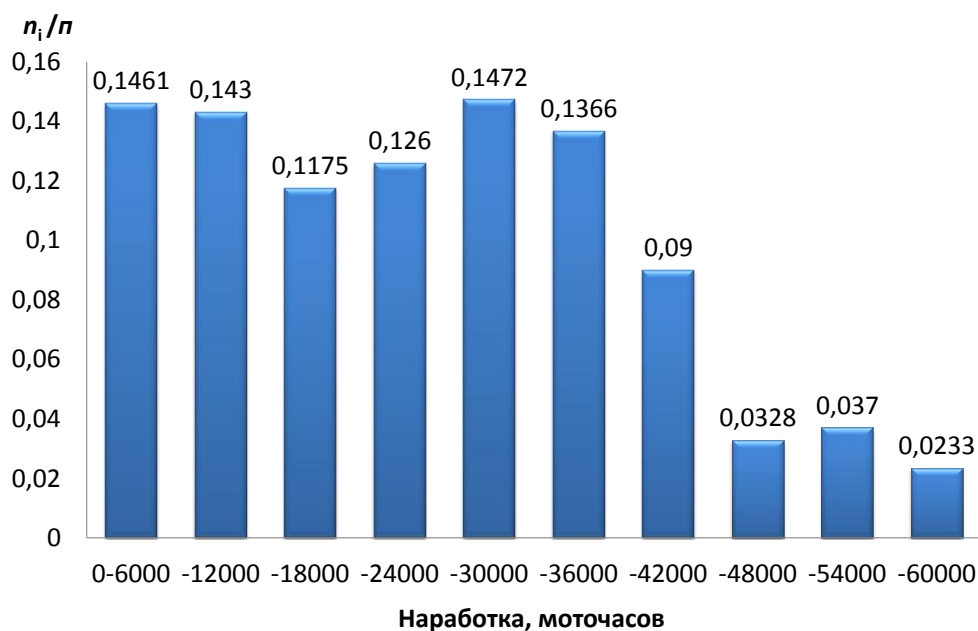


Рис. 3.34. Гистограмма равномерного процентного распределения частоты отказов экскаватора PC 8000

Распределение частоты отказов экскаватора PC 8000 в целом (рис. 3.34),

имеет достаточно предсказуемый равномерный характер, объясняемый следующими мероприятиями по его обслуживанию и замене компонентов: при наработке 12 тыс. мч заменяются вспомогательные агрегаты обслуживания гидросистемы - насосы вентиляторов обдува радиаторов охлаждения РЖ, смазки, управления, а также г.ц. ковша и открывания челюсти, в результате чего наблюдается снижение количества отказов.

Далее, при наработке 18 тыс. мч, наступает срок проведения среднего ремонта, при котором заменяется модуль системы вращения платформы, все 8 главных насоса, модули привода хода, опорные катки, поддерживающие ролики, ведущие звездочки и система натяжения гусениц, а также г.ц. стрелы, рукояти и открытия челюсти. После проведения модернизации наступает период приработки и активной эксплуатации экскаватора с небольшой вариацией количества отказов вокруг среднеравномерной величины, вплоть до наработки 36 тыс. мч, когда осуществляется крупная модернизация машины, предусматривающая полную замену опорно-поворотного круга, всего гидрооборудования, включая все г.ц., механических трансмиссий и систем их обслуживания, обновления всего ходового устройства. Далее отмечается снижение количества отказов и поддержание его на стабильном уровне, в результате проведения регламентных замен на рубежах наработки 42, 48 и 54 тыс. мч, эквивалентных тем, которые осуществлялись на рубежах наработки 12, 24 и 30 тыс. мч.

Учитывая тот факт, что основные несущие металлоконструкции экскаватора сохраняют свою высокую работоспособность, а используемая система превентивной замены вырабатывающих свой ресурс компонентов экскаватора, позволяет восстанавливать их работоспособность до необходимого высокого уровня готовности, можно утверждать о целесообразности продлении срока эксплуатации КГЭ, как минимум до 90 тыс. мч при условии экономически оправданных затратах, чему и будут посвящены дальнейшие наши исследования в главе 4.

3.5. Оценка ресурсов основных компонентов КГЭ и формирование их технической базы

Наиболее полная статистическая информация по количеству отказов и их характеристике, сроках наработок на отказ и между отказами, по способам и длительности восстановления работоспособности элементов и компонентов экскаваторов была собрана, систематизирована и проанализирована по 11 машинам компании KMG (их них трем РС 3000 и двум РС 5500, работающим на горных предприятиях РФ), а также по пяти РС 5500 и одному РС 8000, эксплуатируемым, соответственно, в Австралии и Колумбии (табл. 3.10).

Таблица 3.10.

Основные показатели надежности работы обследованных гидравлических экскаваторов компании KMG

Тип экскаватора и его серийный номер	Общая наработка, мч	Количество отказов	MTBF, мч	MTTR, часов	$K_{и}$, %	$K_{г}$, %
PC 3000BH/D №1 (6280)	22500	118	190,7	10,47	62,1	94,8
PC 3000FS/D №2 (6283)	20500	97	211,34	35,13	58,3	85,75
PC 3000FS/D №3 (6285)	17700	76	232,89	29,87	61,4	88,63
PC 5500FS/E №1 (15084)	12432	216*	57,56	4,44	72,1	91,0
PC 5500FS/E №2 (15124)	10968	121*	90,64	2,51	76,5	93,0
PC 5500FS/E (15111)	7529	285	26,59	4,3	45,2	76,5
PC 5500FS/E (15112)	8562	328	26,6	5,6	36,6	69,0
PC 5500FS/E (15113)	8049	161	50,65	4,9	48,4	81,7
PC 5500FS/E (15072)	30821	522	21,8	34,0	42,4	76,9
PC 5500FS/E (15101)	12257	366	34,84	10,7	44,1	70,8
PC 5500FS/E (12035)	60004	944	44,45	7,1	62,0	90,0

Примечание: * по категории технические отказы

Получены по каждому экскаватору количественные оценки показателей безотказности и ремонтпригодности: прежде всего их гидравлических систем и их функциональных элементов, также основных компонентов, установлены наиболее характерные законы распределения исследуемых СВ, и, что определены наиболее вероятные сроки безотказной работы главных компонентов экскаваторов, без чего невозможно выработать экономически оправданную стратегию их превентивной замены, организовать правильное обслуживание и своевременный ремонт, назначить рациональный срок службы машины до списания.

Анализ статистических данных показал, что в целом при эксплуатации КГЭ можно выделить четыре периода проявления интенсивности потока отказов (частоты от времени наработки):

- 0...2 тыс. мч - относительно высокий начальный поток отказов сопровождающийся достаточно большой флуктуацией характерной для периода ввода экскаватора в эксплуатацию, его приработки, устранения дефектов сборки и последствий ошибок экипажей и т.д;

- 2...6 тыс. мч - период снижения его до уровня режима нормальной эксплуатации, как результат осуществления регламентных замен изнашивающихся компонентов (обязательно оригинальными или сертифицированными) и стабилизации уровня сервисного обслуживания;

- 6...18 тыс. мч - режим стабильной эксплуатации, с постепенно увеличивающимся потоком отказов, преимущественно по гидравлическому, рабочему и ходовому оборудованию, до значений предельных по износу их главных компонентов, что определяет первую их временную границу крупной плановой замены) а сервисные службы выходят на «эксплуатационный» уровень, определяемый качеством обслуживания оборудования на данном горном предприятии;

- 18...36 тыс. мч - продолжение режима устойчивой эксплуатации, с последующим равномерным увеличением потока отказов, как следствие естественного старения оборудования. Далее, вплоть до окончания выбранного срока эксплуатации КГЭ, должно осуществляться периодическое повторение плановых замен компонентов, обеспечивающих условия нормальной его эксплуатации с высоким уровнем готовности, несмотря на дальнейшее увеличение потока отказов (в соответствие с увеличением времени наработки) по градиенту естественного старения оборудования.

Установлен средний ресурс гидроагрегатов по обобщенным данным эксплуатации КГЭ в условиях РФ и он составляет (в тыс. мч): главные аксиально-поршневые насосы – 15,7; гидромоторы хода и вращения платформы,

соответственно: до 24,2 и 13,8; гидроцилиндры, соответственно, челюсти 5,6; ковша 19,4; рукояти 22,2; стрелы 16,5. Ресурс редукторов насосной станции, хода и вращения платформы, соответственно до 20, 18 и 15, а основных металлоконструкций платформы, рамы хода - до 80 -120, рукояти до 35 и стрелы до 80 тыс. мч. Произведена группировка основных компонентов близких по наработке до отказа (ресурсу), установлены рекомендуемые средние нормативные сроки службы компонентов КГЭ компании KMG.

В результате проведенных нами исследований экскаваторов РС 3000 и РС 5500, а также на основе данных, полученных при исследовании других экскаваторов компании KMG, имеется возможность произвести группировку основных компонентов механических и гидравлических систем (табл. 11), в комплекты элементов экскаваторов, наработки до отказа (ресурс), которых близки друг к другу и варьируют достаточно в узких пределах, на основе чего рекомендовать средний нормативный срок службы компонентов для КГЭ компании KMG.

Таблица 11

Группировка основных компонентов гидравлических экскаваторов компании KMG по среднему нормативному сроку службы (моточасов):

Металлоконструкции (стандартное исполнение)

Хода	- “ -	80 000
Верхнего строения	- “ -	80 000
Стрелы	- “ -	80 000
Рукояти	- “ -	35 000

Главный привод (в зависимости от данных поставщика)

Сетевые электромоторы	30 000...50 000
Дизели	10 000... 20 000

Муфты

15 000

Редукторы

Редукторы главных насосов	20 000
Редукторы хода	20 000
Редукторы вращения	15 000... 20 000

Гидронасосы и моторы

Главные насосы	10 000
Моторы хода	10 000
Моторы поворота	10 000
Насосы смазки редукторов	5 000

Гидроцилиндры

Стрелы и Рукояти - по уплотнениям и направляющим кольцам	5 000
Ковша* - замена по потребности	10 000
Челюсти* - замена в зависимости от горных условий	7 500
*срок службы может быть уменьшен в зависимости от риска наружного повреждения	
Главный блок управления (за исключением главных-, вторичных- и невозвратных клапанов потока)	30 000
Система охлаждения масла	
Вентиляторов	10 000
Моторов вентиляторов	10 000
Охладителей гидравлического масла	10 000
Радиаторов (только с дизельным приводом)	10 000
Подшипники вращения (только использующие систему смазки одобренную компанией KMG)	20 000
Роторный узел вращателя (смена уплотнений)	15 000
Компоненты хода (в зависимости от горных условий)	
Звездочки ведущие*	15 000
Колеса направляющие*	15 000... 20 000
Катки опорные*	10 000... 15 000
Ролики поддерживающие*	15 000
Траки*	15 000... 20 000
Цилиндры натяжения траковой ленты*	15 000
Ковш	
Задняя стенка*	20 000
Фронтальная часть (зависит от условий эксплуатации)*	5 000... 10 000

Примечание.

Данные нормативы будут соответствовать реальным показателям наработки, когда машина эксплуатируется при нагрузках в пределах расчетных и используются только фирменные или одобренные компанией компоненты и запчасти. У компонентов, особенно контактирующих с породой (отмечены*), подверженных специфическому износу и разрушению, в зависимости от конкретных горно-геологических условий и особенно от абразивности горной породы, срок службы может значительно отличаться от предложенных нормативных.

Руководствуясь обоснованными выше нормативами сроков службы компонентов, используемых при модульном проектировании гидравлических экскаваторов компанией KMG, нами предложены универсальный исходный комплект технической базы экскаваторов и нормы трудовых затрат на их замену и обслуживание (таблица 3.12), на основе которого имеется возможность, для любого экскаватора компании, составить конкретные регламентные таблицы замен компонентов, средней часовой стоимости запчастей и трудозатрат сервисного персонала, необходимых для осуществления превентивного обслуживания машины.

Таблица 3.12

Исходный комплект технической базы заменяемых компонентов экскаваторов компании KMG, сроки службы и нормы трудовых затрат на их замену и обслуживание

KOMATSU Mining Germany		Плани- руемый срок службы, мч	PC 3 000 D/E* Прямая (FS) и обратная (BH) лопаты						PC 5 500 D/E* Прямая (FS) и обратная (BH) лопаты						PC 8 000 D/E* Прямая (FS) и обратная (BH) лопаты								
Агрегаты и компоненты			Время за- мены компо- нента, ч		Кол-во компо- нентов, шт		Кол. меха- ников, чел.	Общее кол- во чел- час.на ком- понент		Время замены компо- нента, ч		Кол-во компо- нентов, штук		Кол. меха- ников, чел.	Общее кол- во чел-час. на ком- понент		Время замены компо- нента, ч		Кол-во компо- нентов штук		Кол. меха- ников, чел.	Общее кол-во чел- час.на ком- понент	
			FS	BH	FS	BH		FS	BH	FS	BH	FS	BH		FS	BH	FS	BH	FS	BH		FS	BH
Дизельный привод		15 000	20		1		4	80		24		2		4	96		26		2		4	104	
Электромотор		25 000	24		1		4	96		26		2		4	104		36		2		4	144	
Муфты	Двигатели - редукторы	15 000	2		1		2	4		4/6*		2		2	8/12*		5/4*		2		2	10/8*	
Редукторы	Главных насосов	25 000	16		1		3	48		20		2		3	60/24*		30		2		3	90/72*	
	Хода	20 000	12		2		2	24		16		2		2	32		24		2		3	72	
	Вращения платформы	15 000	8		1		2	16		8		2		2	16		8		3		2	16	
Гидравличес- кие насосы и моторы	Главные насосы	15 000	5		3		2	10		6		6		2	12		8		8		2	16	
	Насосы управления	7 500	1		1		1	1		1		2		2	2		1		2		1	1	
	Насос центр. смазки	5 000	1		1		1	1		1		2		1	1		1		2		1	1	
	Мотор хода	15 000	2		2		1	2		3		4		2	6		3		4		2	6	
	Мотор вращения платформы.	12 500	3		1		2	6		3		2		2	6		3		3		2	6	
Гидроцилиндры	Стрелы	15 000	6	6	2		3	18	18	8	8	2		2	24	24	10	10	2		2	30	30
	Рукояти	15 000	6	4	2		3	18	12	8	4	2		3	24	12	12	7	2		3	36	21
	Ковша	10 000	4	2	2	1	3	12	6	5	4	2		3	15	12	6	4	2		3	16	12
	Челюсти	7 500	3	-	2		2	6	-	3	-	2		2	6	-	3	-	2		2	6	-
Главные гидро- клапаны	Блоков управления	25 000	5		3		2	10		6		4		2	12		6		4		2	12	
	Переливные предохранители	7 500	1		24	20	1	1		1		29	29	1	1		1		53		46	1	1
Система масло- охлаждения	Вентилятор насосов	10 000	1		1		1	1		1		2		1	1		6		4		2	12	
	Вентилятор моторов	10 000	1		2		1	1		1		2		1	1		1		2		1	1	
	Масло- охладители	10 000	6		2		2	12		6		4		2	12		1		2		1	1	
Система охлаждения двигателей (дизелей)	Водяная	25 000	8		1		2	16		8		2		2	16		10		2		2	20	
	Вентилятор насосов	10 000	1		2		1	1		1		2		1	1		1		2		1	1	
	Вентилятор моторов	10 000	1		2		1	1		1		2		1	1		1		2		1	1	

Опорно-поворотный круг		30 000	64		1		4	240/256*		76		1		4	304/320*		76/80*		1	4	304/320*	
Роторный узел		15 000	10		1		2	20		6/14*		1		2	12/28*		8/14*		1	2	16/28*	
Оси, вкладыши, втулки, гарнитура	Втулки опоры стрелы	20 000	26	20	4		3	78	60	40	32	4		3	120	96	40	32	4	3	120	96
	Втулки стрела/рукоять	20 000	20	16	4		3	60	48	20	16	4		3	60	48	20	16	4	3	60	48
	Втулки рукоять/ковш	15 000	10	8	4	2	2	20	16	10	8	4	2	2	20	16	10	8	4	2	20	16
	Втулки ковш/челюсть	15 000	8	-	4		2	16	-	8	-	4		2	16	-	10	-	4	2	20	-
	Втулки цил. стрелы	15 000	8		4		3	24		8		4		3	24		10		4	3	30	
	Втулки цил. рукояти	10 000	8	5	4		3	24	15	10	6	4		3	30	18	14	6	4	3	42	18
	Втулки цил. ковша	10 000	6	5	4		2	12	10	6	5	4		2	12	10	8	6	4	2	16	12
	Втулки цил. звена ВН	10 000	-	6	-	10	2	-	12	-	5	-	10	2	-	10	-	10	-	3	-	30
	Втулки цил. челюсти	10 000	6	-	4		2	12	-	6	-	4		2	12	-	6	-	4	2	12	-
Ходовая система	Ведущие звездочки	10 000-15 000	8		2		2	18		8		2		2	16		12		2	2	24	
	Натяжные колеса	20 000	4		2		2	8		6		2		2	12		8		2	2	16	
	Верхние ролики	15 000	3		6		2	6		3		6		2	6		4		6	2	8	
	Опорные катки	15 000	2		16		2	4		2		14		2	4		2		16	2	4	
	Траки комплект	15 000-20 000	4		2		4	16		5		2		4	20		6		2	5	30	
	Цилиндр натяжения	15 000	6		4		2	12		6		4		3	18		7		4	4	28	

ВЫВОДЫ

1. Установлено, что случайные значения наработок до отказа всех гидроэлементов КГЭ подчиняются экспоненциальному закону распределения, а случайные значения времени восстановления работоспособного состояния гидроэлементов закону равномерной плотности.
2. Выявлено, что наибольшую частоту отказов, наименьшие наработку на отказ и среднее время восстановления имеет гидрооборудование, в то же самое время, наименьшее суммарное время простоев и наибольшую наработку на отказ показывают электрическая система и ходовое оборудование, но при этом они (преимущественно ходовое оборудование) требуют наибольших средних затрат времени на восстановление, и хотя количество отказов по этим категориям невелико, все же степень влияния их на техническую готовность конкретно данных экскаваторов по упомянутым показателям достигает максимальных значений.
3. Наибольшее количество отказов возникает по причине выхода из строя элементов гидросистемы: рукавов высокого давления до 35%, гарнитур гидроцилиндров до 25%; гидромоторов хода и вращения до 11%, вентиляторов систем охлаждения РЖ до 10%, насосов системы смазки до 8%; главных гидронасосов до 5%, блоков золотниковых распределителей и предохранительных клапанов до 4%; бака и радиаторов до 2%. Свыше 85% всех отказов составляют частичные и лишь около 10% - полные отказы.
4. Выявлены четыре периода проявления интенсивности потока отказов (частоты от времени наработки):
 - 0...2 тыс. мч - относительно высокий начальный поток отказов сопровождающийся достаточно большой флуктуацией характерной для периода ввода экскаватора в эксплуатацию, его приработки, устранения дефектов сборки и последствий ошибок экипажей и т.д;
 - 2...6 тыс. мч - период снижения его до уровня режима нормальной эксплуатации, как результат осуществления регламентных замен изнашивающихся компонентов (обязательно оригинальными или

сертифицированными) и стабилизации уровня сервисного обслуживания;

- 6...18 тыс. мч - режим стабильной эксплуатации, с постепенно увеличивающимся потоком отказов, преимущественно по гидравлическому, рабочему и ходовому оборудованию, до значений предельных по износу их главных компонентов, что определяет первую их временную границу крупной плановой замены, а сервисные службы выходят на «эксплуатационный» уровень, определяемый качеством обслуживания оборудования на данном горном предприятии;

- 18...36 тыс. мч - продолжение режима устойчивой эксплуатации, с последующим равномерным увеличением потока отказов, как следствие естественного старения оборудования. Далее, вплоть до окончания выбранного срока эксплуатации КГЭ, должно осуществляться периодическое повторение плановых замен компонентов, обеспечивающих условия нормальной его эксплуатации с высоким уровнем готовности, несмотря на дальнейшее увеличение потока отказов (в соответствии с увеличением времени наработки) по градиенту естественного старения оборудования.

5. Установлена закономерность уменьшения МТBF и увеличения МТTR, с увеличением срока эксплуатации машины, происходящие, несмотря на профилактические замены изнашивающихся компонентов, что приводит к увеличению удельных эксплуатационных расходов на заменяемые компоненты и на соответствующие трудозатраты, что должно учитываться введением временного фактора старения оборудования, который в текущем T_i году определяется выражением $k_{\text{нi}} = 1 + Y_i = 1 + A(T_i + B)$.

6. Определены доверительные границы для оценок наработок до отказа МТBF и среднего времени восстановления МТTR, позволившие установить наиболее вероятные ($\gamma = 0,9$ для совокупности гидроэлементов и $\gamma = 0,8$ для отдельных гидроэлементов) интервалы изменения средних оценок показателей надежности.

7. Произведена оценка и группировка основных компонентов механических и гидравлических систем КГЭ производства компании KMG в комплекты с близкой

друг к другу по наработке до отказа (ресурсу), рекомендована исходная техническая база заменяемых компонентов (табл 3.12), устанавливающая их сроки службы и нормы трудовых затрат на замену и обслуживание, на основе которой для любого экскаватора компании составляются индивидуальные регламентные таблицы: сроков замен компонентов, средней часовой их стоимости и трудозатрат, необходимых для осуществления превентивного обслуживания машины.

Таким образом, реализовано 2-ое научное положение, состоящее в разработке комплекта технической базы КГЭ и технологических карт периодической замены его изнашивающихся компонентов на основе их систематизации на сбалансированные по ресурсу группы с учетом установленных законов распределения наработок на отказ, обеспечивающих достижение заданного уровня готовности и выбранного срока службы экскаватора до заданных пределов.

4 Разработка организационно-технических рекомендаций по обеспечению высокой готовности КГЭ к эксплуатации и обоснование рациональных сроков их эксплуатации

4.1 Предварительные замечания

Надежность карьерных гидравлических экскаваторов (КГЭ), в особенности их гидрооборудования, как одного из наиболее подверженного отказам компонента, обеспечивается конструктивными, технологическими и организационно-эксплуатационными методами.

При эксплуатации экскаваторов на горных предприятиях РФ, в частности, на месторождении кимберлитовых руд «им. Гриба» «Верхотинского» ГОКа в Архангельском регионе, на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш», карьере нерудных материалов ОАО «Мордовцемент», на угольных разрезах Кузбасса, Сибири и Якутии, определяющим фактором является разработка эксплуатационных методов обеспечения высокого уровня готовности оборудования к эксплуатации,

Расчеты показывают, что за срок эксплуатации 10 лет (60 тыс. моточасов), например, экскаватора типа РС 3000FS/D, только на плановое обслуживание машины, требуется исключение из баланса рабочего времени до 1440 часов и реализация трудозатрат в объеме до 4080 чел.часов. Кроме того, за этот же период необходимо произвести регламентные замены выработавших свой ресурс компонентов экскаватора, на что по разработанным нами нормативам нужно затратить до 9163 чел.часа (см. табл. 4.2).

Анализ статистических данных приведенных в главе 3 и полученных на их основе показателей надежности по основным компонентам экскаваторов типа РС 3000FS/D, а также РС 5500FS/E, позволили установить, что наибольшую частоту отказов, наименьшие наработку на отказ и среднее время восстановления имеет гидравлическое оборудование, в то же самое время, наименьшее суммарное время простоев и наибольшую наработку на отказ показывают электрическая система и ходовое оборудование, но при этом они (преимущественно ходовое

оборудование) требуют наибольших средних затрат времени на восстановление, и хотя количество отказов по этим категориям невелико, все же степень влияния их на техническую готовность конкретных экскаваторов по упомянутым показателям достигает максимальных значений.

Условия эксплуатации карьерного оборудования требуют максимального использования его рабочего времени, которое зависит, с одной стороны от его физической готовности к работе, оцениваемой коэффициентом K_{Γ} , а с другой стороны от технической готовности оборудования оцениваемой коэффициентом $K_{\text{ТГ}}$. Последний определяется отношением количества отработанных моточасов T_0 к сумме отработанных моточасов и времени восстановления компонента $T_{\text{В}}$

$$K_{\text{ТГ}} = T_0 / (T_0 + T_{\text{В}}) \quad (4.1)$$

Для таких систем, как карьерные экскаваторы, улучшение ремонтпригодности за счет сокращения времени восстановления является определяющим, при этом собственно, существенную роль играет высокая безотказность работы оборудования. При повышении безотказности системы, увеличивается T_0 , а сокращение времени восстановления системы, наилучшим образом обеспечивается заменой выработавших свой ресурс модулей новыми, в сроки, устанавливаемые планом превентивных замен, что и снижает $T_{\text{В}}$.

Процесс оптимизации технического обслуживания, как способ повышения готовности гидравлических экскаваторов к эксплуатации, требует разработки математической модели, определяющей очередность комбинированной замены у экскаватора выработавших свой ресурс компонентов, в основу которой должна быть положена экономически обоснованная стратегия обслуживания, направленная на обеспечение равномерности распределения наработки его основных компонентов на отказ, новизна которой заключается в том, что она использует статистически обоснованный график превентивных замен с периодичностью по наработке, обеспечивающей, как высокий уровень готовности его к работе, так и необходимый срок его эксплуатации до списания, определяемый с учетом промышленной себестоимости единицы отгружаемого продукта (у.е./м³).

4.2 Стратегическое планирование замены выработавших свой ресурс модулей

Одним из основных показателей эффективности функционирования карьерных гидравлических экскаваторов является коэффициент их технической готовности $K_{ТГ}$, величина которого в значительной степени зависит от частоты появления отказов, продолжительности их ликвидации и принятой стратегии технического обслуживания. Последняя зависит от структуры и взаимодействия компонентов экскаватора, которую можно оценить, рассмотрев типовую блок-схему экскаватора (см. рис. 2.2), учитывающую количество логически последовательно соединенных элементов машины, их взаимодействие, и с позиций надежности, выразить $K_{ТГ}$ в виде

$$K_{ТГ} = 1/(1 + T_{ПР} \lambda_{ПР} + \sum_{i=1}^n T_{Pi} \lambda_{Pi}) \rightarrow \max ,$$

где $T_{ПР}$ - средняя продолжительность профилактики, ч;

$\lambda_{ПР}$ - интенсивность потока требований по профилактике, ч⁻¹;

T_{Pi} - средняя продолжительность ремонта, ч;

λ_{Pi} - интенсивность потока требований по ремонту i -го оборудования, ч⁻¹;

n - количество логически последовательно соединенных элементов оборудования.

Эффективность эксплуатации гидравлического экскаватора в течение заданного периода его службы, зависит от совершенства используемой стратегии, как профилактического обслуживания его основных систем и механизмов, так и обоснованной периодичности замен расходуемых компонентов при минимальной их продолжительности.

Существуют несколько стратегий технического обслуживания горного оборудования [5,30,31,57] - нулевая или базовая; групповая и индивидуальная.

При *нулевой стратегии* эксплуатация карьерного оборудования производится без профилактических замен деталей, узлов (или элементов) и агрегатов, т.е. профилактическая работа сводится лишь к подтяжке креплений и

смазке узлов машин, которая производится в период приема и сдачи смены, либо во время технологических перерывов в работе. Замена же износившихся деталей и узлов оборудования производится лишь после появления отказов. В последнем случае достигается максимальное использование ресурсов деталей и узлов, однако предприятие терпит большие убытки из-за аварийных простоев машин.

При *групповой стратегии* назначается определенный интервал, по истечении которого заменяются все однотипные детали и узлы оборудования. Если данная деталь или узел отказал в период между запланированными заменами, то следующий срок их замены не переносится. При групповой стратегии замен имеет место повышенный расход запасных деталей и узлов вследствие недоиспользования ими своего ресурса. Однако для того оборудования, в котором имеется много однотипных деталей и узлов, осуществление групповой стратегии является оправданным.

При *индивидуальной стратегии* замена деталей и узлов осуществляется через определенный интервал времени. В отличие от групповой, при индивидуальной стратегии интервал замен начинается для каждой детали или каждого узла в отдельности. Индивидуальную стратегию иногда называют стратегией замен по наработке, и в этом случае достигают более полного использования ресурса каждой детали и узла, по сравнению с групповой стратегией. Непременным условием осуществления индивидуальной стратегии является учет выработанного ресурса узлом или деталью в отдельности.

При эксплуатации ГЭ компании KMG, более приемлемым, оказалось использовать **комбинированную** стратегию обслуживания, сочетающую в себе преимущества групповой и индивидуальной стратегий. При ее осуществлении, назначается период наработки однотипных ресурсоемких агрегатов и узлов (время замены и стоимость которого велика, например, гидронасоса или гидродвигателя), при достижении которого они и все элементы, связанные с ними в цепи (рукава высокого давления, фильтры и т. д.) с невыработанным ресурсом или имеющие меньший нормативный срок эксплуатации заменяются новыми. После этого график проведения последующих профилактик не меняется. Если до

этого момента произошел отказ, повлекший за собой замену какого либо элемента, то профилактическое обслуживание нового поставленного на место отказавшего, производится в срок, назначенный для отказавшего элемента.

На основании разработанных в главе 3 нормативов сроков службы компонентов, используемых при модульном проектировании гидравлических экскаваторов компанией KMG (таблица 3.12), например, для экскаватора РС 3000FS/D эксплуатирующегося на месторождении кимберлитовых руд «им. Гриба» «Верхотинского» ГОКа Архангельского региона, были разработаны технологические карты периодических замен компонентов с оценкой, как средней часовой стоимости запчастей (табл. 4.1), так и трудозатрат сервисного персонала (табл. 4.2), необходимых для производства превентивного обслуживания машины за период наработки 60 тыс. мч (ориентировочный срок службы 10 лет), при сохранении высокого уровня готовности оборудования за весь период эксплуатации. Аналогичные карты (табл. 4.3...4.6, Приложения) разработаны для этого экскаватора при наработке им 90 и 120 тыс. мч (15 и 20 лет длительности эксплуатации). В случае необходимости планирования работы экскаватора на более длительный срок, например 25 и 30 лет, следует добавлять стандартные 5-ти летние комплекты перечней, как средней часовой стоимости запчастей, так и трудозатрат сервисного персонала, по образу и подобию тех, которые были разработаны для временного участка между наработками 15 и 20 лет.

Таблица 4.1

Технологическая карта распределения часовой стоимости (Евро/час) и сроки замен компонентов экскаватора PC 3000FS/D при его эксплуатации 60 тыс. моточасов (10 лет) на 15.04 2015 г

PROJECT: Moscow Mining University						PC3000 FS/D		50% Замененные части		6000 Кол. часов в год		10 лет эксплуатации		Всего часов: 60 000		
Название компонента	новый номер узла	Ожидаемый Срок службы	Прейскур. цена Jan-15	Замены программа	Кол.	О 6 000	Р 12 000	Е 18 000	Р 24 000	А 30 000	Т 36 000	И 42 000	Н 48 000	Г 54 000	60 000	Среднее Евро/ч
Поворотный круг	898 104 40	30 000	132 073		1						1					2,20
Набор монтажных инструмен	797 928 73	30 000	28 180		1						1					0,47
Редуктор поворота	944 872 40	20 000	115 271	да	1				1			1				3,22
Мотор поворота	959 308 40	12 500	13 248	да	1			1		1		1		1		0,74
Муфта	655 545 40	15 000	30 277		1			1			1		1			1,51
Редуктор Насостоно блока	915 376 40	30 000	101 348	да	1						1					1,41
Главный насос	7082K00014	15 000	56 292		3			3			3		3			8,44
Насос вентилятора	7081G00020	12 500	12 549		1			1		1		1		1		0,84
Пилотный насос	70512 351 40	12 500	1 724		1			1		1		1		1		0,11
Насос смазки редуктора	70521 362 40	10 000	2 156		1		1		1		1	1		1		0,18
Радиатор	928 700 40	30 000	54 080		1						1					0,90
Охладитель масла	950 199 40	10 000	11 534		4		4		4		4	4		4		3,84
Мотор вентилятора	907 486 40	10 000	2 342		2		2		2		2	2		2		0,39
Блок клапанов	977 992 40	30 000	22 979		1						1					0,38
Блок клапанов	977 993 40	30 000	23 240		1						1					0,39
Блок клапанов	977 998 40	30 000	21 866		1						1					0,36
Насос лубрикаторов	798 884 73	10 000	10 992		2		2		2		2	2		2		1,83
Узел вращателя Rotary Joint	659 008 40	15 000	25 921	да	1			1			1		1			1,09
Комплект траков (1000 мм)	768 880 73	20 000	240 163		2				2			2				16,01
Редуктор ходовой	898 108 40	20 000	170 492	да	2				2			2				9,52
Мотор ходовой	654 891 40	15 000	15 300	да	2			2			2		2			1,28
Звездочка ведущая (cpl. ovs.	886 297 40	15 000	37 135		2			2			2		2			3,71
Колесо направляющее Idler	970 766 40	20 000	43 776		2				2			2				2,92
Опорные катки	970 767 40	15 000	9 686		14			14			14		14			6,78
Поддерживающие ролики	972 214 40	15 000	8 808		6			6			6		6			2,64
Цилиндр натяжной	953 895 40	20 000	11 186		4				4			4				1,49
Цилиндр стрелы	973 813 40	15 000	87 757	да	2			2			2		2			7,35
Цилиндр рукояти	979 540 40	15 000	81 676	да	2			2			2		2			6,84
Цилиндр ковша	979 535 40	10 000	76 696	да	2		2		2		2	2		2		10,71
Цилиндр челюсти	973 840 40	7 500	41 358	да	2		2	2	2		2	2	2	2		8,08
Шланги высоконапорные			83 037			0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700	0,700		9,69
Плщи и Вкладыши			160 685			0,100	0,200	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300	0,300		7,23
Генеральный ремонт			411 702			0,075	0,150	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225		13,57
Фильтры	w/o Oil Managem		49 343			1,00	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96	0,96		7,93
Стоимость в час:						25,74	78,68	189,00	252,29	45,28	279,89	256,52	184,77	90,73	41,06	144,40
аккумулированн						52,21	97,81	136,43	118,20	145,15	161,06	164,02	155,88	144,40		F

Таблица 4.2

Технологическая карта распределения трудозатрат (чел. час) и сроков замены компонентов экскаватора РС 3000FS/D при его эксплуатации 60 тыс. моточасов (10 лет) на 15.04 2015 г

PC3000 FS/D	предпол	время замены	кол.	механиков	кол. чел. часов	PROJECT: Moscow Mining University								период эксплуатации		10	лет	Сумм. кол часов эксплуат.				60 000	
	срок службы	компонента	компонентов		на компонент	О	Р	Е	Р	А	Т	І	Ν	Г	-	Н	О	У	Р	С		суммарное	
	[ч]	[ч]	кол.	кол.	[ч]	6 000	12 000	18 000	24 000	30 000	36 000	42 000	48 000	54 000	60 000							чел. часов	
Поворотный круг	30 000	60	1	4	240						240											240	
Редуктор поворота	20 000	8	1	2	16				16			16										32	
Мотор поворота	12 500	3	1	2	6			6		6		6		6								24	
Муфта	15 000	2	1	2	4			4			4		4									12	
Редуктор насосной станции	30 000	16	1	3	48						48											48	
Главный насос	15 000	5	3	2	10			30			30		30									90	
Насос вентилятора	12 500	1	1	1	1			1		1		1		1								4	
Пилотный насос	12 500	1	1	1	1			1		1		1		1								4	
Насос смазки редуктора	10 000	1	1	1	1		1		1		1	1		1								5	
Радиатор	30 000	8	1	2	16						16											16	
Охладитель масла	10 000	6	4	2	12		48		48		48	48		48								240	
Мотор вентилятора	12 500	1	2	1	1			2		2		2		2								8	
Блок клапанов	30 000	5	3	2	10						30											30	
Насос лубрикатора	10 000	1	2	1	1		2		2		2	2		2								10	
Узел вращателя	15 000	6	1	2	12			12			12		12									36	
Ходовой комплект траков	20 000	4	2	4	16				32			32										64	
Ходовой редуктор	20 000	12	2	2	24				48			48										96	
Ходовой мотор	15 000	2	2	1	2			4			4		4									12	
Звездочка (cpl. ovs.)	15 000	8	2	2	16			32			32		32									96	
Ведущий ролик	20 000	4	2	2	8				16			16										32	
Каток опорный	15 000	2	14	2	4			56			56		56									168	
Поддерживающий ролик	15 000	3	6	2	6			36			36		36									108	
Цилиндр натяжения хода	20 000	6	4	2	12				48			48										96	
Цилиндр стрелы	15 000	6	2	3	18			36			36		36									108	
Цилиндр рукояти	15 000	6	2	3	18			36			36		36									108	
Цилиндр ковша	10 000	4	2	3	12		24		24		24	24		24								120	
Цилиндр челюсти	7 500	3	2	2	6		12	12	12		12	12	12	12								84	
Двигатель	15 000	20	1	4	80			80			80		80									240	
Вкладыш опоры стрелы	20 000	26	4	3	78				312			312										624	
Вкладыши Стрела-Рукоять	20 000	20	4	3	60				240			240										480	
Вкладыши Рукоять-Ковш	15 000	10	4	2	20			80			80		80									240	
Вкладыши Ковш-Челюсть ПЛ	15 000	8	4	2	16			64			64		64									192	
Вкладыши цилиндра Стрелы	15 000	8	4	3	24			96			96		96									288	
Вкладыши цилиндров Рукояти	10 000	8	4	3	24		96		96		96	96		96								480	
Вкладыши цилиндров Ковша	10 000	6	4	2	12		48		48		48	48		48								240	
Вкладыши цилиндров Челюсти ПЛ	10 000	6	4	2	12		48		48		48	48		48								240	
Переливные клапаны давления	7 500	1	24	1	1		24	24	24		24	24	24	24								168	
Профилактическое обслуживание																							
250 ч		4,5		2	9	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108							1 080	
500 ч		5		2	10	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60							600	
1000 ч		8		4	32	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64							540	
2000 ч		10		4	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80							800	
3000 ч		12		4	48	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96							960	
Суммарное количество часов						408	711	1 020	1 423	418	1 611	1 433	1 010	721	408							9 163	

4.3 Оценка стоимости эксплуатации КГЭ

В результате наблюдений за работой экскаваторов компании KMG с ковшами вместимостью от 15 до 42 м³ в условиях эксплуатации на карьерах и разрезах Российской Федерации, Северной Канады, Якутии, Швеции, также как и высокогорья Латинской Америки, и анализа статистических данных, установлено, что экскаваторы с электроприводом главных насосов имеют более низкие эксплуатационные затраты по категориям планового обслуживания и ее трудоемкости в сравнении с КГЭ, имеющими дизельный привод в среднем на 20%, а по трудозатратам сервисного персонала на 38-65% выше по сравнению с машинами оборудованными электроприводами (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Суммарные затраты времени и рабочей силы на плановое обслуживание гидравлических экскаваторов компании KMG в расчете на 60 тыс. мч эксплуатации

	PC 3000			PC 5500			PC 8000		
	Д	Э	Д/Э	Д	Э	Д/Э	Д	Э	Д/Э
Номинальная вместимость ковшей, м ³	15			29			42		
Эксплуатационная масса, т	265	252		549	531		720	700	
Мощность привода, кВт	940	900		1880	1800		3000	2900	
Общее время, на плановое обслуживание, ч	1440 *	1200 *	1,20	1540	1300	18,4	1640	1360	1,20
Трудозатраты на плановое обслуживание, чел. час	4080 *	2940 *	1,38	5260	3180	1,65	5600	3620	1,54
Среднее кол. сервисного персонала на 1 час эксплуатации, чел/час	2,83	2,45		3,41	2,44		3,41	2,66	

Примечание: * см. таблицы 4.2 и 4.4 и 4.6, Приложения; ** - трудозатраты на замену компонентов экскаваторов определяются по нормативам приведенным в таблице 3.12.

Увеличение номинальной вместимости ковшей и соответствующее увеличение рабочей массы, а также мощности гидравлических приводов приводит к почти пропорциональному увеличению удельных эксплуатационных затрат за сравниваемый период наработки моточасов. При этом увеличение

объемов регламентных сервисных, а также соответствующих текущих эксплуатационных операций и затрат, зависит не столько от увеличения массы машины, сколько от типа привода насосной станции и его мощности, а это, в свою очередь, и определяет основную долю затрат на эксплуатацию гидравлической системы экскаватора.

На графике рис. 4.1 представлена сравнительная диаграмма изменения удельных расходов (ЕВРО/час) на запасные части экскаваторов типа прямая лопата оборудованных дизельными и электро- приводами насосных станций за период эксплуатации 0...60 тыс. моточасов (10 лет).

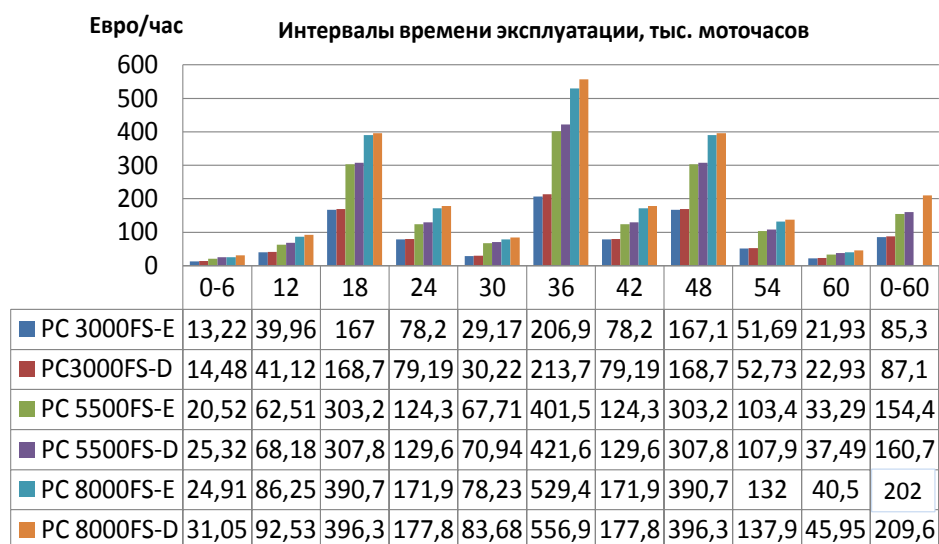


Рис. 4.1. Сравнительная диаграмма изменения средней часовой стоимости (ЕВРО/ч) запасных частей гидравлических экскаваторов прямая лопата с электрическим (Е) и дизельным (D) приводами насосных станций для периодов эксплуатации машины 0-60 тыс. моточасов (10 лет).

Для гидравлических экскаваторов типа обратная лопата часовые расходы в среднем на 5% ниже по сравнению с прямыми лопатами, а соотношения расходов в зависимости от типа привода сохраняются такими же.

Усредненные затраты по заменяемым компонентам на час эксплуатации для машин с ковшом номинальной вместимости 15 м³ (PC 3000) при наработке ими 60 тыс. мч (срок службы 10 лет) находятся на уровне 85,3...87,1 Евро/ч (табл. 4.4). Они достигают максимальных значений 168,72...213 и 74...168,72 Евро/ч в интервалах 3-го, 6-го и 8-го годов эксплуатации (рис. 4.2), на которые приходится мероприятия по проведению средних плановых ремонтов, предусматривающих

модернизацию и замены изнашивающихся, достаточно дорогостоящих элементов, прежде всего, гидравлики (насосов, моторов, цилиндров), механизма хода (опорные катки, траки) и некоторых редукторов.

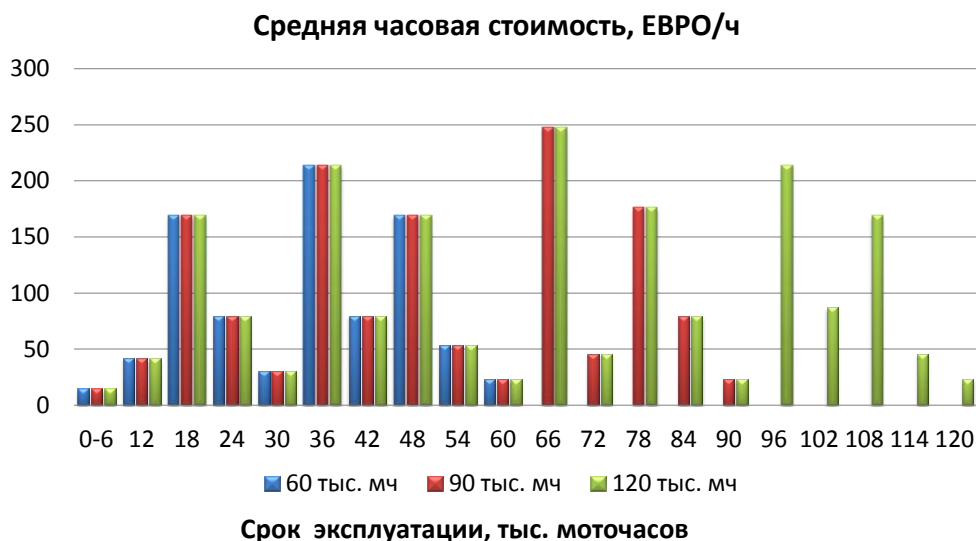


Рис. 4.2. Гистограмма изменения средней часовой стоимости заменяемых компонентов (ЕВРО/час) КГЭ РС 3000FS/D при сроках его эксплуатации, соответственно, 60, 90 и 120 тыс. моточасов (10, 15 и 20 лет).

Аналогичные изменения средних значений стоимостей компонентов имеют место на всех КГЭ более крупных типоразмеров, в частности, с ковшами номинальной вместимости до 30 м³ (РС 5500) и 42 м³ (РС 8000). У последних, средние часовые затраты на эксплуатацию возрастают до 209,6 ЕВРО/час.

Если принять за 100% удельные затраты на час выполненной работы при базисе 10 лет эксплуатации гидроэкскаваторов (наиболее массовом и доверительном интервале для наблюдений), то при более длительных сроках эксплуатации 15 или 20 лет (90 и 120 тыс. мч) они повышаются в среднем, соответственно, на 11 и 14,5 %, вне зависимости от типоразмера экскаватора (табл. 4.4 и 4.6, П).

Это объясняется тем, что при эксплуатации этих экскаваторов применяются основанная на наших рекомендациях, система периодических превентивных замен соответствующих компонентов экскаваторов, с использованием модульного принципа ремонта, которая позволяет полностью отказаться от капитальных ремонтов, как таковых, обычно применяющихся при эксплуатации, например, канатных экскаваторов.

Таблица 4.4*

Средняя часовая стоимость ($C_{\text{ч}}$, ЕВРО/ч) заменяемых компонентов и средние трудозатраты (T_3 , чел.час) необходимые для периодического осуществления их замен и превентивного обслуживания гидравлического экскаватора РС 3000FS/D при сроках его эксплуатации, соответственно, 60, 90 и 120 тыс. мч (10, 15 и 20 лет).

Интервалы, тыс. моточас	60 тыс. моточасов		90 тыс. моточасов		120 тыс. моточасов	
	$C_{\text{ч}}$, Евро/ч	T_3 , чел.час	$C_{\text{ч}}$, Евро/ч	T_3 , чел.час	$C_{\text{ч}}$, Евро/ч	T_3 , чел.час
0...6	14,48	409	14,48	409	14,48	409
6...12	41,12	691	41,12	691	41,12	691
12...18	168,7	1113	168,72	1113	168,7	1113
18...24	79,19	1307	79,19	1307	79,19	1307
24...30	30,22	457	30,22	457	30,22	457
30...36	213,7	1646	213,74	1646	213,7	1646
36...42	79,19	1307	79,19	1307	79,19	1307
42...48	168,7	1113	168,72	1113	168,72	1113
48...54	52,73	739	52,73	739	52,73	739
54...60	22,93	409	22,93	409	22,93	409
Среднее за 0...60	87,10	919,1				
60...66			247,51	2262	247,51	2262
66...72			45,43	691	45,43	691
72...78			176,02	1161	176,02	1161
78...84			79,19	1307	79,19	1307
84...90			22,93	409	22,93	409
Среднее за 0...90			96,14	1001,4		
90...96					213,74	1646
96...102					86,49	1307
102...108					168,72	1113
108...114					45,43	739
114...120					22,93	409
Среднее за 0...120					98,97	1011,75

***Примечание:** Приведенные численные значения средней часовой стоимости заменяемых компонентов, как и величин трудозатрат, приведенные в таблице, могут изменяться в зависимости от условий контракта и года его заключения, однако соотношения величин и их графические представления по временным отрезкам остаются практически неизменными.

Удельная производительность гидравлических экскаваторов априори выше на 10...14 % по сравнению с мехлопатами за счет повышенных усилий копания и отрыва, а также и возможности выполнения специальных технологических траекторий движения ковша недоступных канатным экскаваторам.

Таблица 4.4

Средняя часовая стоимость (ЕВРО/ч) заменяемых компонентов (запасных частей) за периоды наработки ГЭ прямая лопата, соответственно 60, 90 и 120 тыс.

моточасов

Наработка, моточасов (лет)	PC 3000 E	PC 3000 D	PC 5500 E	PC 5500 D	PC 8000 E	PC 8000 D
60 тыс. (10)	85,3	87,1	154,1	160,7	201,7	209,6
90 тыс. (15)	94,2	96,14	171,0	177,8	223,9	232,6
120 тыс. (20)	96,9	98,97	176,5	183,5	231,2	240,2

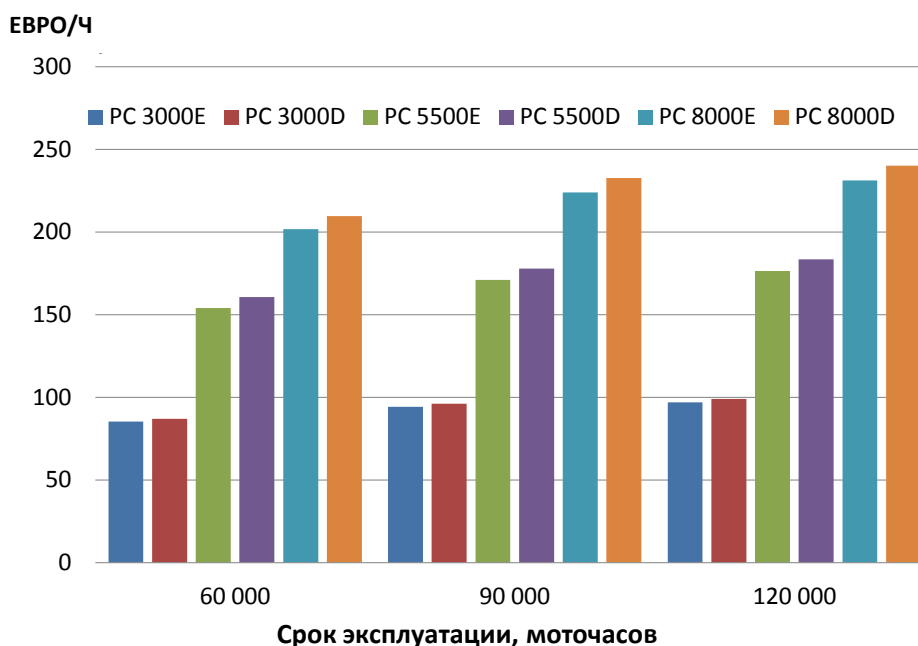


Рис. 4.3. Средняя часовая стоимость запасных частей гидравлических экскаваторов прямая лопата (ЕВРО/ч) в зависимости от срока их эксплуатации, соответственно 60, 90 и 120 тыс. мч (10, 15 и 20 календарных лет)

Эксплуатационные **трудозатраты** для КГЭ, за любой период их работы носит неравномерный характер (рис. 4.4), зависящий от конструктивной схемы экскаватора, принятой системы его сервисного обслуживания и временного графика регламентной замены компонентов экскаватора. Так, например, для экскаватора PC 3000FS/D, на первом году эксплуатации суммарные трудозатраты (табл. 4.8, рис. 4.4 и 4.5) на замену оборудования составляют 44,5 % от среднего значения за 10 лет равного 919,1 чел.час, на втором – 75,1%, на третьем – 127,1%, на четвертом – 142,2%, затем снижаются до 49,7% на пятом. Максимальные затраты составляют 179% на шестом году и затем

последовательно снижаются каждый год с 142,2% на седьмом, до 44,5% на последнем десятом году работы экскаватора (табл. 4.5, Приложения).

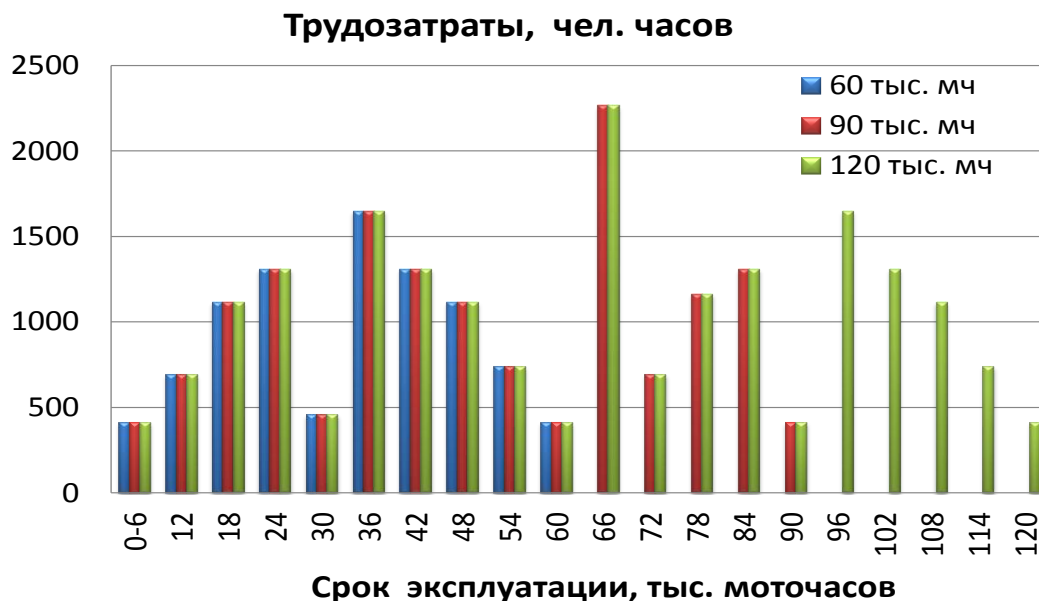


Рис. 4.4. Гистограмма изменения значений трудозатрат по замене компонентов и превентивному обслуживанию (чел. часов) КГЭ РС 3000FS/D при сроках его эксплуатации, соответственно, 60, 90 и 120 тыс. моточасов (10, 15 и 20 лет).

Такой характер изменения графика трудозатрат за 10 лет, а далее, как будет показано ниже, за 15 и 20 лет, точно соответствует графику плановых периодических замен выработавших свой ресурс компонентов экскаватора. При этом максимальные материальные и трудовые затраты, приходятся на этапы проведения кардинальных восстановительных замен компонентов, действительно повышающих готовность оборудования к эксплуатации.

Для срока эксплуатации 15 лет (0...90 тыс. мч) экскаватора PC 3000FS/D, на первом году эксплуатации суммарные трудозатраты на замену оборудования составляют 40,84% от среднего значения за 15 лет равного 1001,4 чел. час, далее они последовательно растут до 130,5% на четвертом году, снижаются до 45,63% на пятом, растут до 164,3% на шестом, снижаются до 40,84%, на десятом и достигают абсолютного максимума 225,8% на одиннадцатом, далее снижаются до 69,0% на двенадцатом, после чего растут до 130,5 % на четырнадцатом и, наконец, снижаются до минимума 40,84% на последнем пятнадцатом году работы экскаватора (рис. 4.4 и табл. 4.6, Приложения).

Для срока эксплуатации 20 лет (0...120 тыс. мч) экскаватора PC 3000FS/D,

на первом году эксплуатации суммарные трудозатраты на замену оборудования составляют 40,42% от среднего значения за 20 лет равного 1011,75 чел.час (рис. 4.4 и табл. 4.8). График изменения трудозатрат на временном участке наработки 0...90 тыс. мч, по величине и периодичности, практически полностью повторяет картину, характерную для временного режима эксплуатации экскаватора равного 15 лет. Здесь, также на одиннадцатом году отмечается абсолютный максимум трудозатрат 223,6% от среднего значения, что совпадает с проведением работ по кардинальной замене основного комплекта компонентов согласно графика выработки ими своего ресурса. На участке 96...120 тыс. мч, трудозатраты последовательно снижаются с 162,7% до минимума 40,42%, необходимого для поддержания работоспособности экскаватора на заключительном двадцатом году работы экскаватора.

Сравнение значений суммарных трудозатрат в чел.-часах, необходимых для обеспечения регламентной замены компонентов на КГЭ при полном сроке наработки ими, например, 60 и 90 тыс. мч показывает, что машины всех типоразмеров с дизельным приводом насосных станций, требуют больших трудозатрат по сравнению с машинами оборудованными электроприводами. В свою очередь, общее время планового обслуживания КГЭ с дизельным приводом главных насосов в среднем на 20%, а по трудозатратам сервисного персонала на 38...65 % выше по сравнению с машинами оборудованными электроприводами.

С увеличением типоразмера машины - ее мощности, массы и вместимости ковша, увеличении сроков эксплуатации машин с 60 до 90 тыс. мч, в частности для экскаваторов РС 3000 и РС 8000, относительные трудозатраты в процентном отношении снижаются соответственно с 23 до 20%, что подтверждает целесообразность продления сроков их наработки, по крайней мере, до 90 тыс. мч, что соответствует календарному сроку их службы не менее 15 лет, а при соответствующей организации периодических замен изнашивающихся компонентов, вплоть до 20...25 лет эксплуатации, что подтверждается мировой практикой. увеличения трудозатрат, в среднем в 1,65 раза.

На рис. 4.4 представлена диаграмма изменения часовой стоимости (ЕВРО/ч)

запасных частей и трудозатрат (чел.час) на их замену для экскаватора PC 3000FS-D в периоды эксплуатации машины до 60 тыс. мч(10 лет) с годовым режимом использования календарного времени 6000 мч.

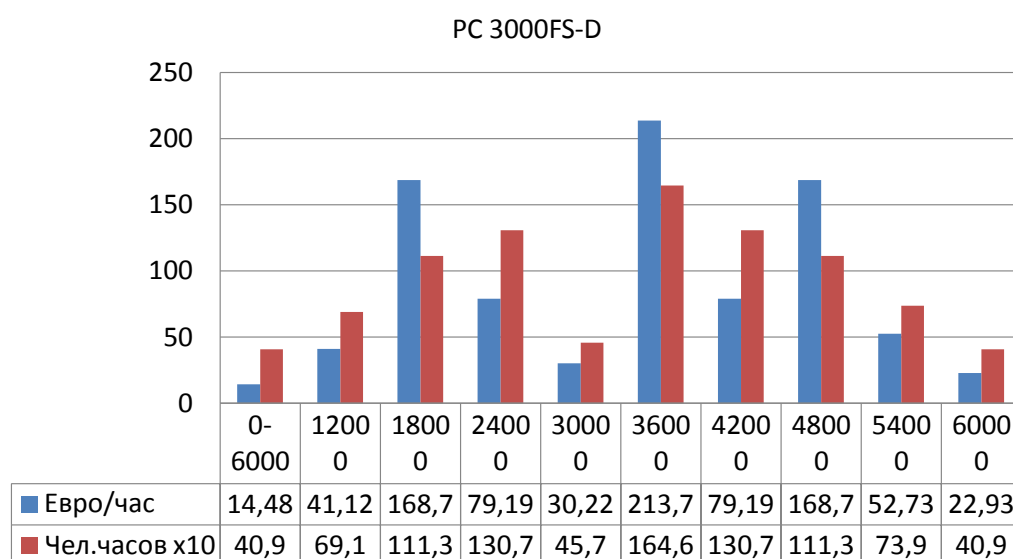


Рис. 4.4. Диаграмма изменения часовой стоимости (ЕВРО/ч) запасных частей и трудозатрат (чел.час) на их замену для экскаватора PC 3000FS-D в периоды эксплуатации машины до 60 тыс. моточасов (10 лет).

Картина непропорционального распределения величин трудозатрат (чел.часов) и часовых стоимостей заменяемых компонентов (с шагом 1 год или 6 тыс. мч) по накоплению наработки экскаватором 60 тыс. мч (в течение 10 лет), представленная на диаграмме рис. 4.4, характерна для любых сроков службы экскаваторов (в частности, 15, 20 и более лет), обслуживаемых по принятой на KMG сервисной процедуре и зависит от количества, конкретной стоимости компонентов и трудоемкости по их замене.

Использование годового календарного фонда времени в объеме наработки 6000 часов соответствует коэффициенту использования экскаватора $K_{и} = 0,685$, что является оптимальным.

Ниже приведены результаты анализа изменения средней часовой стоимости компонентов экскаватора PC 3000FS/D и трудозатрат по их замене в зависимости от величины годового использования календарного фонда времени в диапазоне 7500...4300 часов ($K_{и} = 0,856...0,491$) для 10, 15 и 20 лет эксплуатации (табл. 4.8 и 4.7, Приложений), которые показывают, что объем трудозатрат с изменением годового баланса времени эксплуатации, изменяется пропорционально, что

естественно. В это же время, изменение средней часовой стоимости компонентов носит ступенчатый характер (рис.4.5).

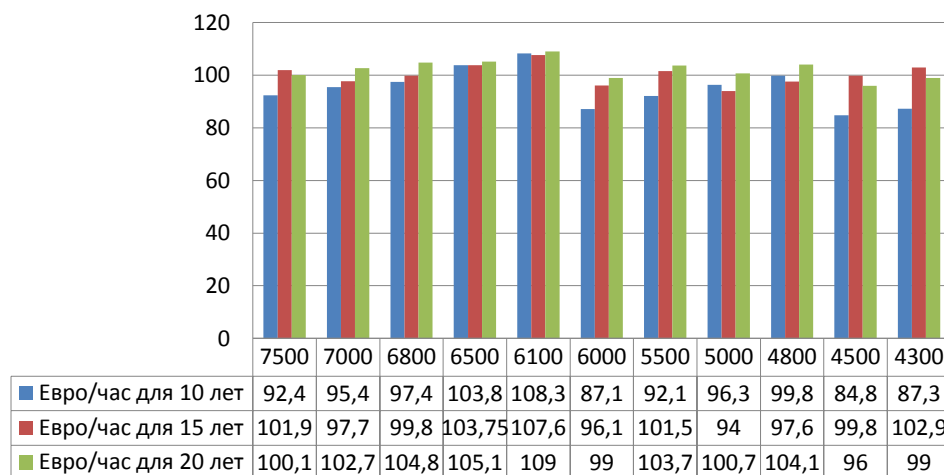


Рис. 4.5. Сравнительная диаграмма изменения средней удельной стоимости запасных частей (Евро/ч) экскаватора PC 3000FS/D в зависимости от количества отработанных им моточасов в год (7500...4300), для сроков его эксплуатации 10, 15 и 20 лет

Из графика следует, что годовой режим эксплуатации 6 тыс. мч. можно считать оптимальным в силу того, что с одной стороны обеспечивается достаточный объем рабочего времени для реализации экскаватором высокой годовой эксплуатационной производительности, а с другой, остается необходимый резерв времени для проведения плановых профилактических замен и ремонта оборудования. Это же подтверждается сравнительной диаграммой изменения средних удельных затрат (рис. 4.6).

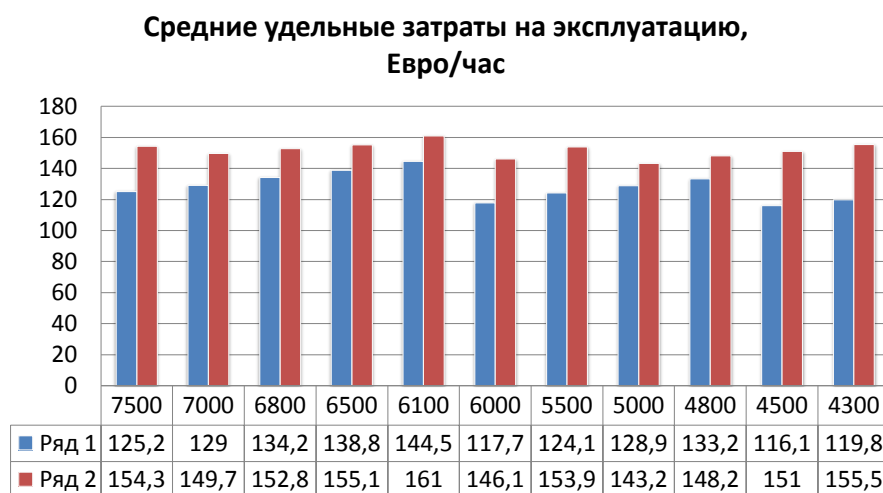


Рис. 4.6. Сравнительная диаграмма изменения средних удельных затрат, кумулятивно учитывающих стоимости запасных частей и трудозатрат (чел.час) на их замену (ЕВРО/ч) при эксплуатации экскаватора PC 3000FS/D с режимами использования годового баланса рабочего времени в диапазоне 7500...4300 моточасов для периодов работы машины 10 (ряд 1) и 15 лет (ряд 2).

По данным эксплуатации на угольных разрезах и железорудных карьерах 101 ед. КГЭ с ковшами 10...42 м³ в диапазонах наработки ими до 60 тыс. мч и 20 ед. канатных экскаваторов с ковшами 10...33 м³ с наработкой ими до 150 тыс. мч, была произведена оценка их технической готовности, представленная на графике рис. 4.7.

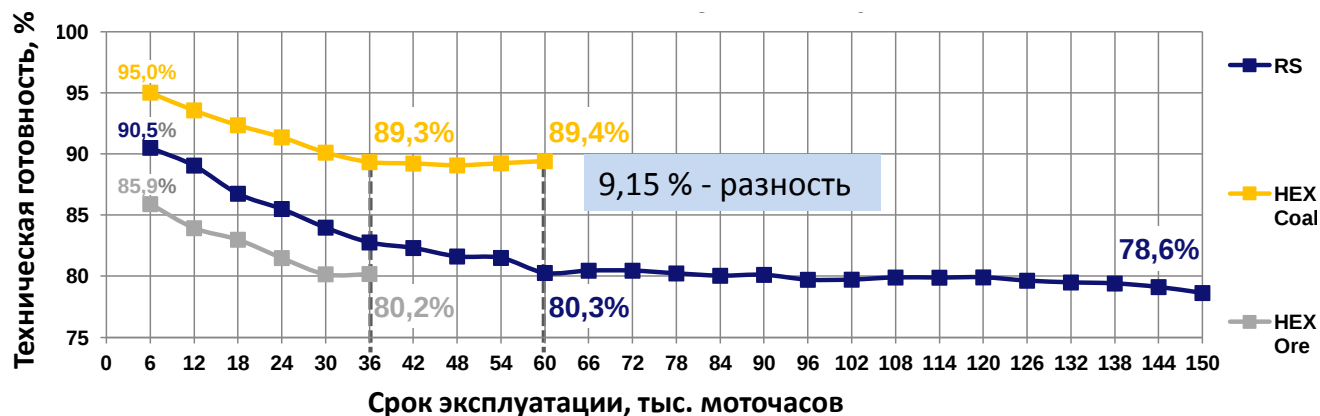


Рис. 4.7. График процентного изменения величин средней технической готовности экскаваторов от их наработки (тыс. мч), соответственно: гидравлических (HEX), на угольных (Coal) разрезах; канатных (Rs) на железорудных (Ore) карьерах.

Анализ графика на рис. 4.7 позволяет отметить: КГЭ на угольных разрезах, после наработки 36 тыс. мч, и далее до конца фиксируемого периода 60 тыс. мч, сохраняют постоянной среднюю величину технической готовности равную 89,4%, что в этот момент, на 9,1% превышает таковую по сравнению с канатными экскаваторами, а далее у последних средняя величина технической готовности стабилизируется на уровне 80%.

Анализ же графика (рис.4.8) удельной месячной производительности экскаваторов отнесенной к 1 м³ вместимости ковша (м³ в мес./м³) позволяет отметить: среднемесячная удельная производительность КГЭ после наработки ими 30 тыс. мч, на угольных разрезах на 7,9% превышала таковую, у КГЭ работавших на железорудных карьерах; среднемесячная удельная производительность КГЭ при достижении ими наработки 60 тыс. мч, была на 16,5% выше по сравнению с канатными; темпы снижения производительности с увеличением наработки у них сохранялись постоянными и приблизительно одинаковыми в результате снижения надежности оборудования вследствие его старения, что было отмечено ранее в главе 3.

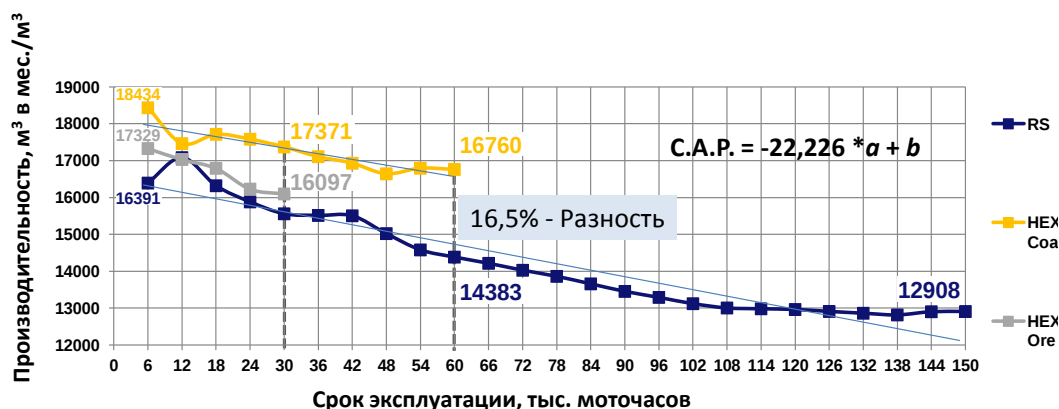


Рис. 4.8. График изменения удельной месячной производительности экскаваторов м^3 отнесенной к 1 м^3 вместимости ковша в соответствии с их наработкой тыс. мч: гидравлических (HEX), соответственно, на угольных (Coal) разрезах и железорудных (Ore) карьерах, в сравнении с канатными (Rs) экскаваторами

Градиент старения по рис. 4.8, с достаточной степенью точности аппроксимируется линейным выражением

$$\text{C.A.P.} = -28,226 \cdot a + b,$$

где a – планируемый срок службы (тыс. мч); b – среднемесячная удельная производительность (отнесенная к 1 м^3 вместимости ковша) отсчитываемая начиная с 6 тыс. мч эксплуатации.

Пример: для КГЭ с ковшом 10 м^3 , после первого года эксплуатации (после наработки 6 тыс. мч) имеющего месячную производительность $184.340 \text{ м}^3/\text{мес}$, $b = 18\,434 \text{ м}^3$ в мес./ м^3 , средняя удельная месячная производительность за 8 лет ($a = 48$ тыс. мч наработки) составит:

$\text{C.A.P.} = -28,226 \cdot a + b = -28,226 \cdot 48 + 18\,434 = 17\,079,15$ (м^3 в мес./ м^3), а за 10, 15 и 20 лет, составит: 16 630; 15 893,6 и 15 046,9 м^3 в мес./ м^3 .

Таким образом, реализовано 3-е научное положение, заключающееся в установлении закономерности снижения базового уровня надежности КГЭ с увеличением срока эксплуатации машины, обуславливающей снижение текущих показателей MTBF и увеличение MTTR по сравнению с нормативными. Предложено понятие временного фактора старения оборудования, позволяющего учесть повышение расходов на заменяемые компоненты и соответствующие трудозатраты и обоснованно определить стратегию выбора рациональных сроков службы КГЭ на горных предприятиях.

4.4 Разработка экономико-вероятностной модели оценки стоимости эксплуатации и технического обслуживания КГЭ

Как правило, горные предприятия предпочитают владеть мощным выемочно-погрузочным оборудованием, в частности мощными карьерными гидравлическими экскаваторами (КГЭ), предназначенными для эксплуатации в течение достаточно длительных сроков, соизмеримых со сроками эксплуатации, аналогичных по параметрам механических лопат. Техническая возможность продления эксплуатационного ресурса КГЭ, например, до 20...25 лет с сохранением высокого уровня их готовности, вполне осуществима, так как по дизайну, они представляют собой модульную композицию, изнашивающиеся компоненты которой, преимущественно гидравлические и трансмиссионные, на практике оперативно и в короткие сроки заменяются, непосредственно в условиях горного предприятия. Что касается технического состояния основных несущих металлоконструкций ходовой рамы, поворотной платформы, стрелы и рукояти, то они, как показывает опыт их эксплуатации в ряде стран Латинской Америки и Швеции, остаются работоспособными, при надлежащем обслуживании, и до 150 тыс. мч эксплуатации.

Целью исследования настоящего раздела является разработка экономико-вероятностной модели, отражающей изменения стоимостных показателей происходящих при эксплуатации КГЭ, в соответствие с предлагаемой программой реализации замен необходимых компонентов экскаватора с определенными интервалами, обеспечивающими заданный высокий уровень его готовности к работе и оптимизацию расходов на эксплуатацию в течение устанавливаемого срока его работы до списания, согласно ставки дисконтирования и производственной стоимости 1 м³ продукта, отличающуюся также учетом временного фактора снижения надежности оборудования в результате его старения.

Данная экономико-вероятностной модели, позволит эксплуатационнику, на стадии приобретения КГЭ, запланировать необходимую длительность его жизненного цикла с учетом конкретного срока отработки предназначенного для

него горного участка месторождения и финансовых возможностей предприятия, а также предусмотреть систему поставок и плановых замен необходимых компонентов.

Оценка моточаса работы за весь запланированный срок службы машины, осуществляется с учетом стоимостей:

- владения нового экскаватора на месте эксплуатации, включающей %ные ставки страховки и региональных налогов на имущество;
- обслуживания экскаватора, запасных частей и рабочей силы при заменах компонентов с учетом ставки дисконтирования и временного фактора старения оборудования;
- ликвидации экскаватора (при его утилизации или средств, выручаемых при его вторичной продаже).

Экономико-вероятностная модель оценки стоимости эксплуатации и технического обслуживания КГЭ представляется выражением

$$NPV = -P_0 + \sum_j^g [Q_{\text{Э}} * k_{\text{с}j} * C_{\text{пс}j} - C_j] / (1 + \delta)^j + P_{\text{л}} / (1 + \delta)^g,$$

$$C_j = \sum_{i=1, k=1}^{n, m} [(N_i + M_k) k_{\text{н}i} + L_i C_{\text{М}}],$$

или

$$NPV = -P_0 + \sum_j^g \{Q_{\text{Э}} * k_{\text{с}j} * C_{\text{пс}j} - \sum_{i=1, k=1}^{n, m} [(N_i + M_k) k_{\text{н}i} + L_i C_{\text{М}}]\} / (1 + \delta)^j + P_{\text{л}} / (1 + \delta)^g,$$

$$X_j = \sum_j^g \{Q_{\text{Э}} * k_{\text{с}j} * C_{\text{пс}j} - \sum_{i=1, k=1}^{n, m} [(N_i + M_k) k_{\text{н}i} + L_i C_{\text{М}}]\} / (1 + \delta)^j + P_{\text{л}} / (1 + \delta)^g,$$

где NPV - чистая приведенная стоимость, принимаем $NPV = 0$, т.е. 0 дохода;

X_j - прибыль в j -м году, у.е;

P_0 - полная стоимость экскаватора на месте эксплуатации, у.е;

$Q_{\text{Э}}$ - среднегодовая эксплуатационная производительность КГЭ, м³/год;

$C_{\text{пс}j}$ - текущая производственная себестоимость 1 м³ отгружаемого материала, у.е/м³;

$k_{\text{с}j}$ - коэффициент, учитывающий снижение производительности в каждом

году эксплуатации;

C_j – расходы на эксплуатацию в j -м году;

δ - ставка дисконтирования;

$P_{\text{л}}$ - остаточная ликвидационная стоимость экскаватора, у.е;

g –планируемый срок эксплуатации, лет,

N_i - стоимость i -го компонента/запчасти, у.е;

M_i - стоимость замены и обслуживания i -го компонента/запчасти, у.е;

$k_{\text{нi}}$ - коэффициент временного снижения надежности отнесенный к стоимости запасных частей, отражающий увеличение эксплуатационных затрат в каждом году эксплуатации;

L_i – трудозатраты на обслуживание/замену i -го компонента, час;

$C_{\text{м}}$ – ставка механика, у.е /ч;

m – количество обслуживаемых систем;

n – количество обслуживаемых и заменяемых компонентов экскаватора.

Удельная стоимость эксплуатации E , у.е/мч определяется

$$E = Z/(T_y g),$$

где T_y – годовой фонд рабочего времени, ч;

Z – приведенная к первому году стоимость эксплуатации экскаватора, учитывающая стоимость экскаватора на месте эксплуатации плюс расходы на запчасти и трудозатраты на их замену, за исключением ликвидационной стоимости экскаватора, у.е

$$Z = P_0 + \sum_j^g [Q_{\text{э}} * k_{\text{сj}} * C_{\text{псj}} - C_j]/(1 + \delta)^j - P_{\text{л}}/(1 + \delta)^g.$$

На основе принимаемых вводных данных, модель позволяет рассчитать ряд основополагающих экономических характеристик, дает возможность определить временное изменение текущей стоимости эксплуатации машины и ее эксплуатационной производительности с учетом фактора снижения характеристик надежности, минимально допустимую стоимость отгружаемого производственного продукта (у.е./м³ породы) для получения нулевого дохода при полном желаемом сроке j лет ее эксплуатации до списания.

В качестве **примера**, для расчета экономических характеристик по эксплуатации КГЭ типа РС 3000FS/D принимаем следующие исходные данные:

$P_0 = 3900000$ Евро - полная стоимость экскаватора на месте эксплуатации;

$Q_{\text{Э}} = 6000000 \text{ м}^3/\text{год}$ среднегодовая эксплуатационная производительность экскаватора;

$N_i = C_{\text{ч}} * T_y$ - стоимость i -го компонента/запчасти, Евро;

$C_{\text{ч}}$ - средняя часовая стоимость i -го компонента/запчасти (из табл. 4.8)*, Евро;

$T_y = 6000$ мч - годовой фонд рабочего времени;

$M_i = T_3 * C_M$ - стоимость замены и обслуживания i -го компонента/запчасти, Евро;

T_3 - средние трудозатраты по замене i -го компонента/запчасти (из табл. 4.8)*, чел.час;

$C_M = 35$ Евро/ч, ставка механика;

$P_{\text{Л}} = 273000$ Евро - ликвидационная стоимость экскаватора;

δ - ставка дисконтирования (для РФ принимается 15%, т.е. 0,15);

$k_{\text{сж}} = 0,011164$ коэффициент ежегодного снижения производительности (по статистическим данным);

$k_{\text{ни}} = 0,0379g + 1,0733$ коэффициент временного снижения надежности для КГЭ с приводом ДВС насосной станции;

$g > 20$ лет - планируемый срок эксплуатации, лет.

Примечание:* Принимаем условие неизменности величин $C_{\text{ч}}$, T_3 и C_M в течение выбранного срока эксплуатации экскаватора 20 лет.

Используя уравнения модели, определяем применительно к КГЭ РС 3000FS/D характеристики эксплуатации, приведенные на рисунке 4.9.

Из рис. 4.10 следует, что после пятого года эксплуатации по мере увеличения срока его эксплуатации, становится заметным увеличивающееся расхождение суммарных расходов на замену компонентов и сопутствующие трудозатраты, особенно при учете фактора снижения надежности экскаватора в результате старения и оно, например на 15-м году составило порядка 25%, против 18% на 10-м.

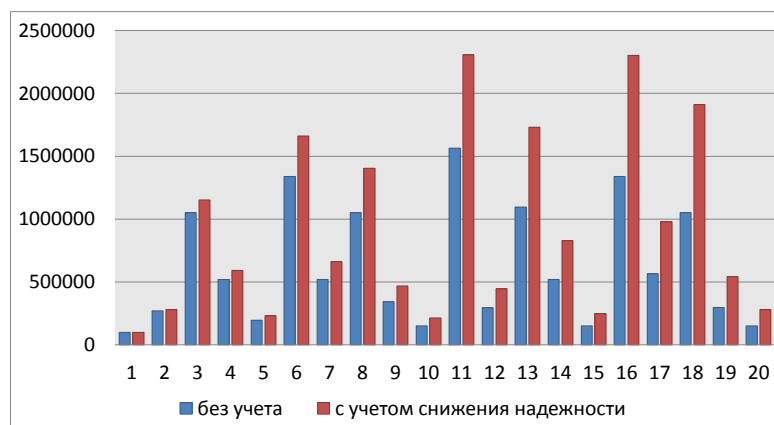


Рис. 4.9. Распределение по годам стоимости (Евро) заменяемых компонентов и трудозатрат по их замене при эксплуатации экскаватора РС 3000FS/D без учета и с учетом снижения надежности заменяемых компонентов

Распределение по годам стоимости заменяемых компонентов и трудозатрат по их осуществлению с учетом снижения надежности заменяемых компонентов, приводящего к неравномерному увеличению текущих сравниваемых затрат (рис. 4.9) по мере увеличения длительности эксплуатации экскаватора (численные значения расчетов по модели приведены в таблице 4.9 Приложения.

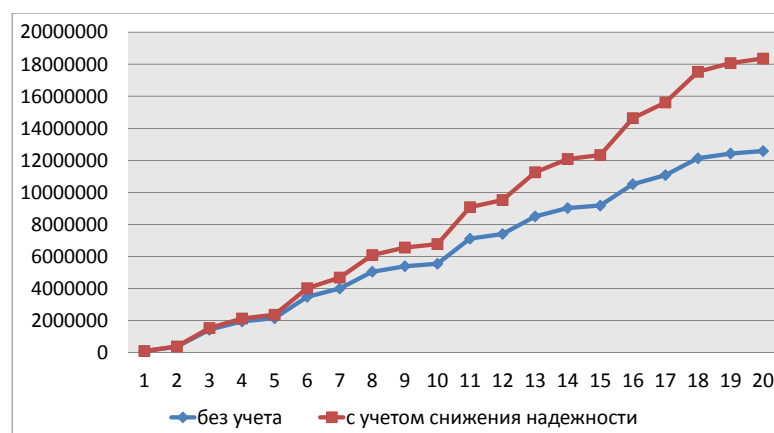


Рис. 4.10. Динамика нарастания суммарных расходов (Евро) на замену компонентов и сопутствующих трудозатрат, как без учета, так и с учетом увеличения расходов в связи с снижением их надежности по мере увеличения количества лет эксплуатации экскаватора РС 3000FS/D

Минимальная потребная величина ежегодно получаемой прибыли X_j для обеспечения возврата банковского кредита при ставке дисконтирования 15% (характерной для ЦБ РФ в настоящее время) зависимости от количества лет эксплуатации экскаватора РС 3000FS/D (рис. 4.11) позволят отметить, что на 10-м году эксплуатации она достигает абсолютно минимального значения и составляет 1479556 у.е.

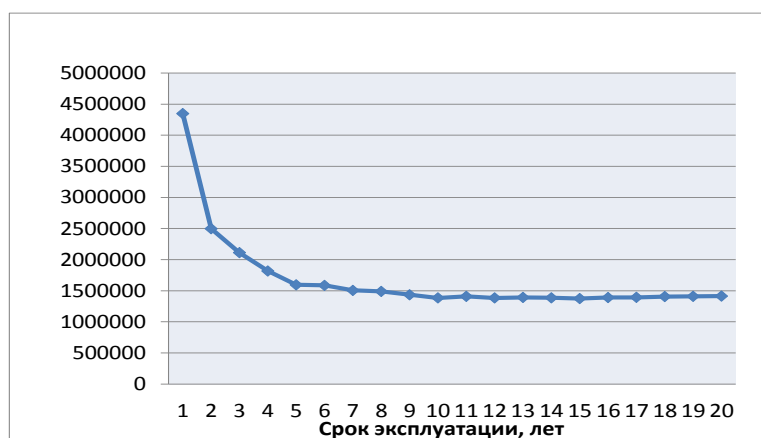


Рис. 4.11. Минимальная потребная величина ежегодно получаемой прибыли X_j для обеспечения возврата банковского кредита при ставке дисконтирования 15% в зависимости от количества лет эксплуатации экскаватора PC 3000FS/D

При продлении срока службы, следующие минимальные значения отмечаются в 12-м и 15-м годах, соответственно, 1513727 и 1529631 у.е., после чего наблюдается постоянный, хотя и не очень интенсивный, рост достигший 1614248 у.е. в 20-м году, после которого рост потребных затрат продолжается более интенсивно вследствие деградации основных металлоконструкций, но мы сознательно ограничили временной диапазон исследования по модели 20-ю годами эксплуатации КГЭ PC 3000FS/D.

На рис. 4.12. представлен сравнительный график изменения минимально потребной величины ежегодно получаемой прибыли X_j для обеспечения возврата банковского кредита при различных ставках дисконтирования от 5 до 30% в зависимости от количества лет эксплуатации экскаватора PC 3000FS/D, который количественно подтверждает очевидную возможность снижения затрат при уменьшении ставки дисконтирования.

Минимально допустимая текущая производственная себестоимость 1 м³ экскавируемого материала (Евро/м³), которая должна обеспечиваться экскаватором PC 3000FS/D для получения нулевой прибыли при ставке дисконтирования 15% при выбранном сроке его эксплуатации в пределах до 20 лет представлена на рис. 4.13 из которого следует, что ее минимумы отмечаются на 10-м, 12-м и 15-м годах, равные, соответственно, значениям 0,247; 0,252 и 0,255 у.е./м³. При продлении срока службы также наблюдается постоянный рост себестоимости, достигающий 0,269 у.е./м³.

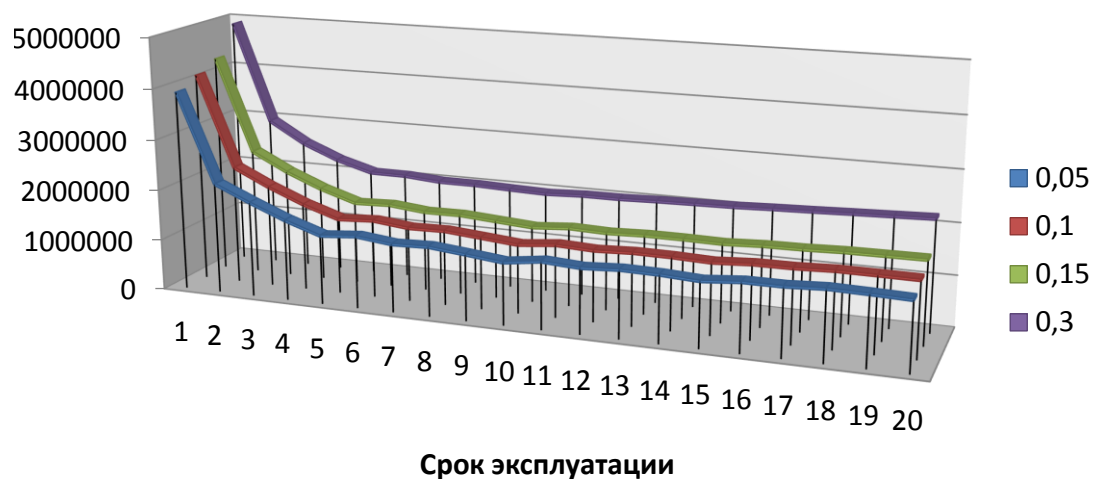


Рис. 4.12. Сравнительный график изменения минимально потребной величины ежегодно получаемой прибыли X_j для обеспечения возврата банковского кредита при различных ставках дисконтирования от 5 до 30% в зависимости от количества лет эксплуатации экскаватора РС 3000FS/D.

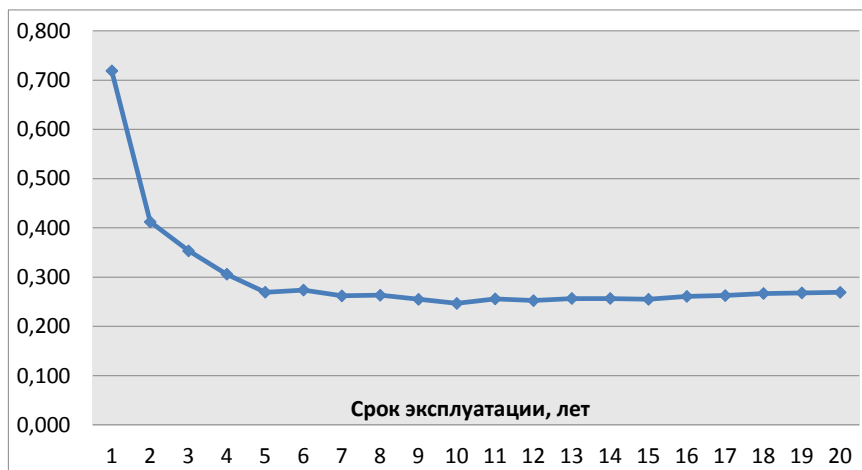


Рис. 4.13. Минимально допустимая текущая производственная себестоимость 1 м³ экскавируемого материала (Евро/м³), которая должна обеспечиваться экскаватором РС 3000FS/D для получения нулевой прибыли при ставке дисконтирования 15% при необходимом полном сроке его эксплуатации до 20 лет

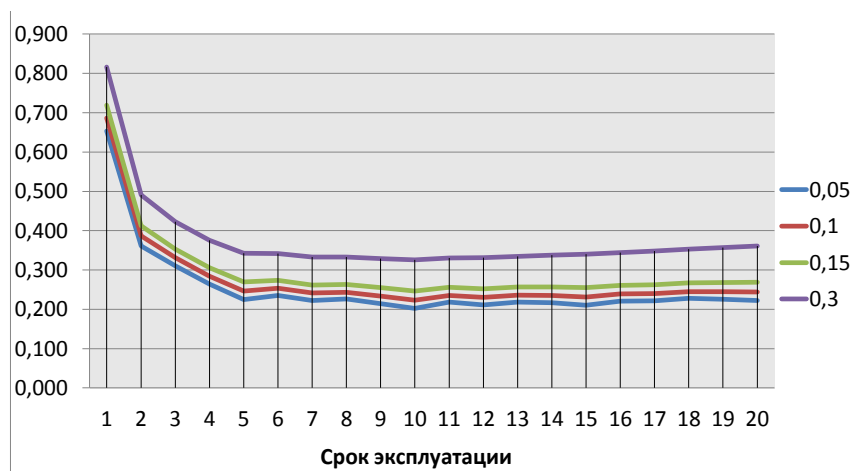


Рис.4.14. Минимально допустимые значения текущих производственных себестоимостей 1 м³ отгружаемого материала (Евро/м³), которые должны обеспечиваться экскаватором РС 3000FS/D для получения нулевой прибыли при ставках дисконтирования в диапазонах 5 -30 % при необходимом полном сроке его эксплуатации до 20 лет

На рис. 4.15. представлен сравнительный график изменения минимально допустимых значений текущего дохода, в частности, при ставке дисконтирования 15% и нарастания расходов по мере увеличения срока эксплуатации экскаватора PC 3000FS/D.

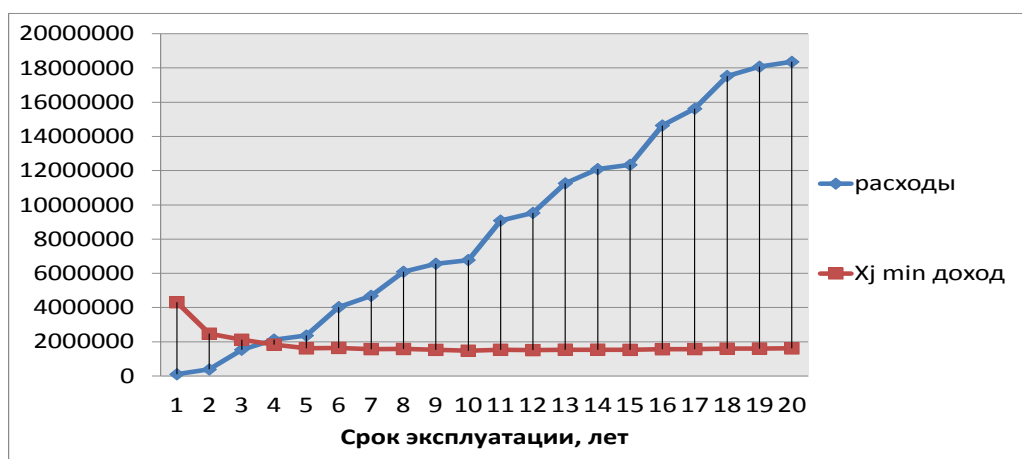


Рис. 4.15. Сравнительная диаграмма изменения минимальной потребной величины ежегодного дохода X_j при ставке дисконтирования 15% и величин роста суммарных расходов (Евро) на замену компонентов и сопутствующих трудозатрат с учетом снижения их надежности по мере увеличения срока эксплуатации экскаватора PC 3000FS/D

Анализируя графики рис. 4.14 и 4.15 минимально допустимой текущей производственной себестоимости 1 м^3 отгружаемого материала, минимальной потребной величины ежегодно получаемой прибыли и роста расходов на эксплуатацию при неизменности цен заменяемых компонентов, но с учетом снижения их надежности по мере увеличения сроков их службы, следует отметить, что для наиболее приемлемых сроков службы КГЭ PC 3000FS/D 7, 10, 12 и 15 лет, разница между которыми по доходам не превышает 4%, тем не менее, по данным графика изменения суммарных расходов на замену компонентов и сопутствующих трудозатрат по мере увеличения количества лет эксплуатации экскаватора, относительный их рост по отношению к начальной стоимости владения экскаватора равной 3900000 Евро, в 7-м, 10-м, 12-м и 15-м годах, соответственно, составит в 1,2; 1,73; 2,44 и 3,16 раз, достигая 4,7 раз в 20 году.

Таким образом, эксплуатационник, основываясь на данных этих расчетов и в соответствие со своими финансовыми возможностями, может выбрать наиболее приемлемый срок эксплуатации конкретного экскаватора.

Заключение

Процесс оптимизации технического обслуживания как способ повышения готовности КГЭ к эксплуатации, потребовал разработки математической модели, учитывающей очередность замены у него выработавших свой ресурс компонентов, в основу которой была положена стратегия обслуживания, направленная на обеспечение равномерности распределения наработки его основных компонентов на отказ, новизна которой заключается в том, что она использует статистически обоснованный график превентивных замен компонентов с периодичностью по наработке, обеспечивающей, как высокий уровень готовности его к работе, так и выбранный срок его эксплуатации до списания, определяемый с учетом ставки дисконтирования и себестоимости единицы отгружаемого продукта (у.е./м³).

Выводы

1. Предложена комбинированная стратегия обслуживания КГЭ производства KMG, которая, назначает предел наработки однотипных ресурсоемких агрегатов и узлов, при достижении которого они и все элементы, связанные с ними в цепи с невыработанным ресурсом или имеющие меньший нормативный срок эксплуатации заменяются новыми, что позволит отказаться от капитального ремонта в традиционном исполнении, характерного для канатных карьерных экскаваторов.

2. Разработаны регламентные таблицы периодических замен компонентов с оценкой, как средней часовой стоимости запчастей, так и трудозатрат сервисного персонала, необходимых для производства превентивного обслуживания машины за период наработки 60...120 тыс. мч (ориентировочный срок службы 10...20 лет).

3. С увеличением типоразмера КГЭ - его мощности, массы и вместимости ковша, при увеличении сроков эксплуатации машин с 60 до 90 тыс. мч, относительные трудозатраты в процентном отношении снижаются соответственно с 23 до 20%, что подтверждает целесообразность продления

сроков их наработки, по крайней мере, до 90 тыс. мч, что соответствует календарному сроку их службы не менее 15 лет.

4. Разработана математическая модель, учитывающая изменения стоимостных показателей в соответствие с предложенной программой реализации замен изнашивающихся компонентов экскаватора с определенными интервалами, обеспечивающими заданный высокий уровень его готовности к работе и оптимизацию расходов на эксплуатацию в течение устанавливаемого срока его работы до списания, согласно ставки дисконтирования и производственной стоимости 1 м^3 отгружаемого материала, отличающуюся также учетом временного фактора снижения надежности оборудования в результате его старения, что позволяет на стадии приобретения КГЭ, выбрать необходимую длительность его жизненного цикла с учетом запланированного срока отработки предназначенного ему горного участка месторождения и финансовых возможностей предприятия, а также предусмотреть систему поставок и плановых замен необходимых компонентов.

5. Модель позволяет рассчитать ряд основополагающих экономических характеристик: временное изменение текущей стоимости эксплуатации КГЭ и его эксплуатационной производительности с учетом фактора снижения характеристик надежности оборудования, минимально допустимую стоимость отгружаемого материала (у.е./ м^3) для получения нулевого дохода при полном выбранном сроке j лет его эксплуатации до списания.

6. При принятых ставке дисконтирования 15% и неизменности цен заменяемых компонентов, для наиболее приемлемых сроков службы КГЭ типа РС 3000FS/D 10, 12 и 15 лет, разница между которыми по уровню потребной прибыли не превышает 4%, тем не менее, по мере увеличения количества лет эксплуатации экскаватора, относительный рост стоимостей замен компонентов и сопутствующих затрат, по отношению к начальной стоимости владения экскаватора равной 3,9 млн Евро, в 10-м, 12-м и 15-м годах, соответственно, составит в 1,73; 2,44 и 3,16 раз, достигая 4,7 раз в 20 году, что позволяет считать наиболее приемлемым сроком эксплуатации конкретного экскаватора 15 лет.

Таким образом, реализовано 4-е научное положение, заключающееся в разработке математической модели оценки стоимости эксплуатации и технического обслуживания экскаватора в соответствии с технологическими картами замены компонентов, отличающейся учетом ставки дисконтирования и временного фактора снижения надежности оборудования в результате его старения, позволяющей определить границу нулевого дохода, установить минимально допустимую производственную стоимость 1 м³ отгружаемого материала, а также обосновать выбор целесообразного срока работы экскаватора до списания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОодЫ ПО РАБОТЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи повышения эксплуатационной надежности и долговечности КГЭ за счет реализации экономически обоснованной стратегии превентивной замены его изнашивающихся компонентов по программе, базирующейся на статистических показателях их наработки на отказ, обеспечивающей как высокий уровень технической готовности экскаватора к работе, так и выбранный предприятием срок его эксплуатации до списания, что имеет важное значение для расширения области применения КГЭ на горных предприятиях РФ.

Научные и практические результаты выполненных исследований состоят в следующем:

1. Систематизированы и распределены по функциональным группам, сбалансированным по ресурсу, основные компоненты КГЭ компании KMG, что с учетом модульности их конструкции, позволяет унифицировать номенклатуру запчастей, установить рациональные сроки их плановых замен и нормативы сопутствующих трудозатрат, улучшающих ремонтпригодность, сократить ремонтные циклы и расходы на обслуживание.

2. Разработана универсальная структурная блок-схема КГЭ типа РС, позволяющая оперативно и наиболее достоверно производить с учетом последовательности функционального взаимодействия всех его компонентов

оценку показателей надежности его систем и готовности машины в целом в конкретных условиях эксплуатации.

3. Определен необходимый объем статистических данных о наработке не менее 60 тыс. мч, из условия получения количественных оценок показателей надежности с доверительной вероятностью $\gamma \geq 0,9$ и относительной ошибкой $\sigma \leq 0,2$, определены доверительные границы для оценок наработок до отказа MTBF и среднего времени восстановления MTTR, позволившие установить наиболее вероятные ($\gamma = 0,9$ для совокупности гидроэлементов и $\gamma = 0,8$ отдельных гидроэлементов) интервалы изменения средних оценок показателей надежности.

4. Установлено, что наибольшее количество отказов приходится на гидрокоммуникации, преимущественно РВД до 35%, гарнитуры гидроцилиндров до 25%, гидромоторы привода вентиляторов систем охлаждения РЖ до 10%, насосы системы смазки до 8%), гидромоторы хода и вращения до 11%, главные насосы до 5%, блоки золотниковых распределителей и предохранительных клапанов до 4%. Свыше 85% всех отказов составляют частичные и лишь около 10% - полные отказы.

5. Выявлены четыре периода проявления интенсивности потока отказов при эксплуатации КГЭ: 0-2 тыс. мч эксплуатации сопровождаются достаточно большой их флуктуацией, вызванной организационно-техническими причинами при становлении службы эксплуатации, обучении персонала и отработкой применения экскаватора как части технологической цепочки; 2-6 тыс. мч - период снижения интенсивности потока отказов до уровня режима нормальной эксплуатации, как результат осуществления регламентных замен изнашивающихся компонентов и стабилизации сервисного обслуживания; 6-18 тыс. мч - режим стабильной эксплуатации с увеличивающимся потоком отказов преимущественно по гидравлическому, рабочему и ходовому оборудованию, до значений, предельных по износу их главных компонентов, что определяет первую временную границу их крупной плановой замены; 18-36 тыс. мч - продолжение режима устойчивой эксплуатации, с последующим равномерным увеличением потока отказов, как следствие естественного старения оборудования. Далее,

вплоть до окончания выбранного срока эксплуатации КГЭ, осуществляется периодическое повторение плановых замен компонентов, что обеспечивает нормальную его эксплуатацию с высоким уровнем готовности.

6. Установлена закономерность уменьшения MTBF и увеличения MTTR, с увеличением срока эксплуатации машины, что приводит к увеличению удельных эксплуатационных расходов на заменяемые компоненты и на соответствующие трудозатраты, что должно учитываться введением временного фактора старения оборудования.

7. Разработан комплект технической базы КГЭ и технологические карты для периодических замен компонентов с оценкой средней часовой стоимости запчастей и трудозатрат сервисного персонала, что позволяет достичь заданного уровня его готовности к эксплуатации и продлить срок службы машины до наработки 60...120 тыс. мч (срок службы 10...20 лет).

8. Предложена и реализована комбинированная стратегия обслуживания КГЭ производства КМГ, обеспечивающая заданный уровень готовности его к работе, устанавливаемый срок его службы до списания и отказ от капитального ремонта путем одновременной превентивной замены с обоснованной периодичностью однотипных по ресурсу его компонентов, достигших установленного срока наработки. Это позволяет горным предприятиям еще на стадии приобретения КГЭ, выбрать необходимую длительность его жизненного цикла, с учетом запланированного срока отработки предназначенного ему горного участка месторождения и финансовых возможностей предприятия, а также предусмотреть систему поставок и плановых замен необходимых компонентов.

9. Разработана математическая модель, описывающая текущие изменения эксплуатационной стоимости заменяемых компонентов и трудозатрат по их осуществлению, стоимостных показателей эксплуатации КГЭ, позволяющая оптимизировать расходы на эксплуатацию в течение устанавливаемого срока его работы до списания с учетом ставки дисконтирования, темпа снижения надежности оборудования в результате его старения.

Список литературы

1. Абрамов С.В., Перлов А.С., и др. Аналитический метод расчета кинематических и силовых параметров механизмов рабочего оборудования гидравлических экскаваторов // Ст. в сб. «Строительные и дорожные машины». № 1. / ЦНИИТЭстроймаш. М., 1971. с. 3 – 8.
2. Абрамов С.И., Харазов А.В., Соколов А.В. Техническая диагностика одноковшовых экскаваторов с гидроприводом. М. Строймздат. 1978.
3. Авдеев П.П., и др. Работа экскаватора 1000СК в условиях комбината "Ураласбест" // Реф. сб. Повышение эффективности применения карьерных гидравлических экскаваторов. М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1982. с. 11 - 14.
4. Алексеева Т.В. и др. Диагностирование гидропривода строительных дорожных машин. "Строительные и дорожные машины", 1983, №12, с. 25-27.
5. Андреева Л.И. Сетевой метод планирования и управления ремонтом горного оборудования. М., Машиностроение, Горные машины и автоматика, № 10, 2001. с. 21-24.
6. Андреева Л.И. Методы оценки технического состояния горно-транспортного оборудования на горнодобывающих предприятиях. «Горные машины и автоматика» № 10, 2004. с. 35-39.
7. Балаховский М.С., Паднос А.Г. Результаты исследования кинематики ГЭ типа ЭГ-12А. Тр. ИГД им. А.А. Скочинского, 1983.
8. Ворончихин Ю.Г. и др. Испытания гидравлических экскаваторов ЭГ-12А и ЭГ-20 // Исследование вопросов надежности и повышения производительности мощных экскаваторов: / НИИТЯЖМАШ. Свердловск, 1986. с. 67 –80.
9. Ворончихин Ю.Г. Развитие карьерных гидравлических экскаваторов АО «Уралмаш» // Горная промышленность. 1996. № 4. с. 38 – 39.
10. Бродский Г.С., Козин Г.Ю., Мельников А.С. Современные карьерные одноковшовые гидравлические экскаваторы: обзор. ЦНИИТЭИуголь. М., 1989. 38 с.
11. Башта Т.М. Машиностроительная гидравлика. М. Маш-строение, 1971 г. – 670 с.

12. Башта Т.М. др. Надежность гидравлических систем воздушных судов. Транспорт, 1986, с. 279.
13. Беленков Ю.А., Нейман В.Г., Селиванов М.П., Точилин Ю.В. Надежность объемных гидроприводов и их элементов. М., Маш-строение, 1977 г.с.167.
14. Бисенов Ж.С. Совершенствование методов оценки надежности горных машин. Автореферат дисс. степени д. т. н., Свердловск, 1991.
15. Бродский Г.С., Даутов Р.Р., Слесарев Б.В. Системы обеспечения надежности гидропривода – инструмент внедрения современной карьерной техники на горных предприятиях России. М., «Горная промышленность», №1, 2002, с. 45- 49.
16. Бродский Г.С., Слесарев Б.В. Повышение надежности гидропривода и совершенствование управления эксплуатацией мощных экскаваторов с использованием измерительно-информационных комплексов. «Гидравлика и Пневматика», №18, 2005, СПб.
17. Булес П. К вопросу о надежности мощных гидравлических экскаваторов Komatsu Mining Germany в экстремальных условиях эксплуатации // Маркшейдерский вестник, № 6, 2013, с. 20-23.
18. Винницкий К.Е., Штейнцайг В.М., Скобелев Л.С., Гидравлический экскаватор для разработки сложноструктурных месторождений. М., Уголь, 1986, № 2, с. 45-47
19. Винницкий К.Е., Бабарика С.Д. и др. Развитие технологий бурения взрывных скважин на открытых разработках. ННЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского. М. 2000, 81 с.
20. Ганин А.Р. Область эффективного применения карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ_КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова». Тезисы конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ» В рамках 18-й Международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов», 9 апреля 2014, Москва, Крокус Экспо, с. 8-10
21. Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и надежность средств комплексной механизации. М., Недра. 1986.
22. Замышляев В.Ф. Надежность горных машин открытых работ. М. 1974.

23. Инструкция по эксплуатации дизель- гидравлического экскаватора РС-3000, Komatsu Mining Germany, 2014.
24. Кантович Л.И., Дмитриев В. Н. Статика и динамика буровых станков. М. Недра, 1984 г, с. 285.
25. Кельш Х. Исследование эффективности функционирования гидравлических систем мощных карьерных экскаваторов. Научный симпозиум «Неделя горняка 2008», 28.01-01.02. 2008, стр.146, издательство МГГУ, 2008 г.
26. Кельш Х. К вопросу обоснования параметров мощных карьерных гидравлических экскаваторов для эффективной замены механических лопат в условиях низких температур. Горный информационно-аналитический бюллетень (ГИАБ), № 11, стр. 76-79, изд-во МГГУ, 2008 г.
27. Компания KOMATSU MINING GERMANY в учебнике «Механическое оборудование карьеров», 8-е изд. Р.Ю. Подэрни информационная вставка, Горное машиностроение, Майнинг Медиа Групп, 2013 г.
28. Комаров А.А. Надежность гидравлических систем. "Маш." М. 1969.
29. Костюкович Н.И., Самолазов А.В. Перспективная линейка отечественных карьерных гидравлических экскаваторов производства ОАО "Уралмашзавод" // Горная промышленность, 2015, № 2. с. 32 - 34.
30. Кравченко В.М. Техническое обслуживание и диагностика промышленного оборудования. Изд. Юго - Восток, Донецк, 2004. 502 с.
31. Кравченко В.М, Мокроносов А.Г., Пахнсов Н.В. Развитие фирменного технического сервиса горнодобывающей техники при переходе к рынку. М. ЦНИИТЭИтяжмаш, 1992. 110 с.
32. Красников Ю. Д., Мельников А. С. Динамика горных машин. Люберцы. 1999. 120 с.
33. Кузнецов А.В. Обоснование и выбор оптимального комплекта запасных гидроэлементов для буровых станков на стадии проектирования. Дисс. кан. тех.наук. Л. 1988.
34. Комиссаров А.П., Побегайло П.А., Шестаков В.С. Методика экспресс анализа энергопотребления при экскавации горных пород // Горный

информационно-аналитический бюллетень, 2014, № 12, с. 138 - 141.

35. Крикун А.В., Крикун В.Я. Расчет параметров привода рабочего оборудования гидравлических экскаваторов как единой механической системы // Строительные и дорожные машины. 1993. № 5. с. 27 – 29.

36. Кузнецов. А.В. Состояние вопроса исследования надежности гидросистем машин шарошечного бурения В сб. Исследование конструкции, надежности и организации ремонта строительных, путевых и погрузо-разгрузочных машин. Л. ЛИИТ, 1980.

37. Махно Д.Е. Шадрин А.И. Надежность карьерных экскаваторов и станков шарошечного бурения в условиях Севера. М Недра. 1976.

38. Мельников Н.Н., Неволин Д.Г., Скобелев Л.С. Технология применения и параметры карьерных гидравлических экскаваторов / Отв. ред. Мельников Н.Н. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1992. 220 с.

39. Мокин Н.В., Смоляницкий Э.А. Гидравлические экскаваторы. Ч. I. Определение параметров. Новосибирск: НИИЖТ, 1976. 85 с.

40. Мокин Н.В., Смоляницкий Э.А. Гидравлические экскаваторы. Ч. II. Расчет и конструирование механизмов. Новосибирск: НИИЖТ, 1976. 72 с.

41. Методика расчета эксплуатационных показателей работы парка горного оборудования (экскаваторов и буровых станков) рудоуправления ОАО «Карельский Окамыш» № ВНД/КО-13/0019.

42. Мруз Рышард. Оптимизация резервов запасных агрегатов гидропривода экскаватора К-606 в строительных организациях ПНР, дисс. кан. тех. наук. Л.1988.

43. Паладеева Н.И. Сравнительная оценка параметров мощных карьерных экскаваторов корпорации ОМЗ и гидроэкскаваторов – аналогов // Горные оборудование и электромеханика. 2007, № 12. с. 8 – 11.

44. Паладеева Н.И. ОАО «Уралмашзавод» в современных условиях: новое оборудование, новые формы работы с заказчиками. Международная конференция «Машины и оборудование для открытых горных работ» в рамках 18-й выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов», 9 апреля 2014,

Москва, Крокус Экспо.

45. Побегайло П.А., Булес П. Методика определения нагруженности одноковшовых гидравлических экскаваторов прямого копания с зависимым приводом ковша // «Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности»: XIII Международная научно-техническая конференция. Чтения памяти В.Р. Кубачека. / УГГУ. Екатеринбург. 2015. с. 333 – 344.
46. Подэрни. Р. Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (карьерные лопаты и драглайны) //Горная промышленность. 2013, № 6. С. 14-18 и 106-111.
47. Подэрни Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (колесных фронтальных погрузчиков и гидравлических экскаваторов) //Горная промышленность. 2014, № 1. с. 22-32.
48. Подэрни Р.Ю. Методика промышленных экспериментов и составления простейших математических моделей при исследовании горных машин и комплексов. М. 1969. с. 67.
49. Подэрни. Р. Ю. Механическое оборудование карьеров// Учебник для ВУЗов, 8-е издание. М., Изд-во «Майнинг Медиа Групп», 2013. с. 593.
50. Подэрни Р.Ю., Кельш Х. Обоснование параметров мощных гидравлических экскаваторов для их эффективной эксплуатации в условиях низких температур. Научный симпозиум «Неделя горняка 2008», 28.01-1.02.2008, стр.146, издательство МГГУ, 2008г.
51. Подэрни Р.Ю., Булес П. Сравнительный анализ гидравлических и механических экскаваторов с прямой лопатой // Горный журнал, 2015, № 1, с. 55-61.
52. Подэрни Р.Ю., Булес П. Эффективность применения мощных гидравлических экскаваторов – результат повышения их надежности //Горная промышленность. 2015, № 1. с. 46-51.
53. 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.

54. Радкевич Я.М. Прогнозирование качества горных машин и оборудования для комплексного использования в горном производстве. Сб. трудов. М. МТИ.1987, с 4-14.

55. Райян К. Определение оптимальных сроков службы карьерных самосвалов. Горное дело, № 2 (4), 2015, с 58-62.

56. Рахутин Г.С. Вероятностные методы расчета надежности, профилактики и резерва горных машин. М. 1970.

57. Рахутин Г.С. Научные основы технического обслуживания. М. "Знание" 1971. Выпуски 1,2,3.

58. Самолазов А.В. Стратегия развития новой продуктовой линейки карьерных экскаваторов ООО «ИЗ-КАРТЭКС им. П.Г. Коробкова» и практические результаты ее реализации. Международная конференция «Машины и оборудование для открытых горных работ» в рамках 17-й выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов», 2013, Москва, Крокус Экспо.

59. Сергеев А.П. Диагностирование гидроцилиндров рабочего оборудования одноковшовых строительных экскаваторов по параметрам герметичности. Дисс. кан.тех.наук. Л. 1989.

60. Синяков А.А. Автореферат к.т.н. Совершенствование системы технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов типа механическая лопата в условиях Северных регионов России (на примере разреза «Нерюнгринский» ОАО ХК «Якутуголь»), Люберцы, 2005 – 26 с.

61. Слесарев Б.В. Опыт применения и сервисного обслуживания гидравлических экскаваторов в СНГ// Вторая межд. научно-практ. конф. по проблемам горнотранспортного оборуд.: Тезисы докладов 22-25 мая 2000 г. - ОАО «Ижорские Заводы», 2000. - с. 31-33.

62. Слесарев Б.В., Булес П. Исследование условий и параметров экскавациимощных карьерных гидравлических экскаваторов. // Тезисы

конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ» В рамках 19-й Международной выставки «Горное оборудование, добыча и обогащение руд и минералов», 21 апреля 2015, Москва, Крокус Экспо, с. 5-9

63. Смоляницкий В.А., Ильин В.Ф. Исследование гидропривода методом физического моделирования. В сб. Исследование приводов строительных машин. М, 1969.

64. Соловьев А.Д. Основы математической теории надежности. М. "Знание" 1975.

65. Солод В.И., Гетопанов В.Н., Рачек В.М. Проектирование и конструирование горных машин и комплексов. М, Недра. 1982.

66. Солод В.И. Гетопанов В.Н., Шпильберг И.Л. Надежность горных машин и комплексов. М. Недра. 1972.

67. Солод Г.И., Радкевич Я.М. Управление качеством горных машин/ Учебное пособие. М. МГИ, 1985, с 3-94.

68. Сорокин В.П. Применение метода физического подобия при экспериментальных исследованиях гидроприводов тяжелых гидро-подъемных машин. В сб. Новое в проектировании и эксплуатации гидропривода и систем гидроавтоматики. Л, 1977.

69. Скобелев Л.С., Штейнцайг В.М., Штейнцайг Р.М. Создание мощных карьерных гидравлических экскаваторов / В кн. Одноковшовые экскаваторы с гидроприводом и область их применения. Реф. сб. Горное оборудование. - № 2-82-10. - ЦНИИТЭИтяжмаш, 1982. с. 3 - 7.

70. Скобелев Л.С. Совершенствование конструкции и повышение надежности мощных карьерных гидравлических экскаваторов.- Горный журнал, 1983.-№8.- с. 52- 54.

71. Сырицын Т.А. Эксплуатация и надежность гидропневмоприводов. М. "Машиностроение", 1990.

72. Торелл В., Авелер В. Среднее время между отказами: описание, стандарты. Информационная статья № 72, APC, Legendary Reliability.

73. Трубецкой К. Н., Винницкий К. Е., Потапов М. Г. и др. Справочник.

Открытые горные работы. М., «Горное бюро», 1994. с. 579.

74. Хромой М.Р. Исследование влияния надежности горнотранспортных комплексов на качество их функционирования. Дисс. к. т. н., М. 1975.

75. Шипюнок Н.А., Репкин Ф.Ф. и др. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники. Изд-во "Советское радио", 1964.

76. Шор Я.Б. Статистические метода анализа и контроля качества. М. "Советское радио", 1962.

77. Шор Я.Б., Кузыш Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. М, "Советское радио". 1968.

78. Штейнцайг В.М. Интенсификация открытых горных работ с применением мощных карьерных одноковшовых экскаваторов, М., Наука, 1990. с. 142.

79. Штейнцайг В.М., Даутов Р.Р., Бродский Г.С., Слесарев Б.В. Средства повышения эффективности эксплуатации мощных гидравлических экскаваторов на карьерах Якутии// Сб. докл. Межд. научно-практ. конф. «Мирный - 2001»// Актуальные проблемы разработки кимберлитовых месторождений: современное состояние и перспективы решения. – Я. Якутниипроалмаз, 2002. - с. 93-97.

80. Штейнцайг В.М., Слесарев Б.В. Опыт фирмы «Комацу Горное Германия» по внедрению гидравлических экскаваторов на Горных предприятиях России// Горная Промышленность. 2002. №6. с. 47-51.

81. Щадов М.И., Подэрни Р.Ю., Справочник механика открытых горных работ. Экскавационно-транспортные машины цикличного действия. М., Недра, 1989, с. 408.

82. A Reference Guide to Mining Machine Application//Caterpillar Global Mining. 2005. pp. 84

83. Cushing, M., Krolewski, J., Stadterman, T., and Hum, B., 1996, "U.S. Army Reliability Standardization Improvement Policy and Its Impact", IEEE Transactions on Components and Manufacturing Technology, Part A, Vol. 19, No. 2, pp. 277-278.

84. Elevli S., Elevli B. Performance Measurement of Mining Equipments by Utilizing OEE, Acta Montanistica Slovaca Ročník 15 (2010), pp. 95-101

85. Ercelebi S.G., Kirmanli C: Review of surface mining equipment selection, MPES

2000, Athens, p. g. 547-553.

86. 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.
87. Hall A. Characterizing the operation of a large hydraulic excavator. Master Diss. School of Engineering the University of Queensland, Brisbane, Australia, 2002. pp. 150.
88. Hall A.S., McAree P.R. (2005), “Robust bucket position tracking for a large hydraulic excavator”, Mechanism and Machine Theory, Elsevier, 2005, Vol. 40, pp. 1-16.
89. Heusler H., Wesrermann R. Losen hydraulikbagger auch grobe seilbagger ab? // Baumaschine und Bautechnik, No 5, 1976. pp. 243 – 252.
90. 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. Vol. 58. 2009. No 12. pp. 251 - 256.
91. Fujita K., Yasuda T., Imaie K. Ultra large hydraulic excavators and dump trucks for large open-pit mines. Hitachi Review. Vol. 60. 2011. No 8. pp. 267 - 271.
92. Hopgood A. Intelligent systems for engineers and scientists. 2nd. 1987. pp 67–77
93. Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE Standard Computer Dictionary: A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries. New York, NY: 1990.
94. Jeong K., Phillips D.T., Operational Efficiency and Effectiveness Measurement, International Journal of Operations & Production Management, vol.21 no.11, p.g.1404, 2001.
95. Jonsson P. and Lesshammar M.: Evaluation and Improvement of Manufacturing Performance Measurement Systems - The Role of OEE, International Journal of Operations & Production Management, vol.19 iss.1, pp. 55, 1999.
96. Kawakami T., Kimoto K., Ohbora Y. Introduction of large hydraulic excavator PC2000-8. Komatsu technical report. Vol. 52 NO 158. 2006. pp. 6.
97. Koivo A.J. Kinematics of excavators (backhoes) for transferring surface material.

Journal Aerosp. Eng., 7(1), 1994. pp. 17 – 32.

98. Kirmanli C., Ercelebi S.G. An expert system for hydraulic excavator and Large Hydraulic shovel at Chugucamata? Chile // Mining J. 1987 г. pp. 353.

99. Ljungberg O.: Measurement of Overall Equipment Effectiveness as a Basis for TPM Activities, International Journal of Operations & Production Management, vol.21 no.11, p.g. 1404, 2001

100. . MIL-HDBK-338B, Electronic Reliability Design Handbook, October 1, 1998

101. Oliver G.W. Uber die Wirtschaftlichkeit der Uberwaschung der Verschmultzung bei Hydrauliksystemen von Werkzeugmaschinen – Technica, 1971, No.19, p.g. 1845-1848.

102. Pecht M.G., Nash, F.R., “Predicting the Reliability of Electronic Equipment”, Proceedings of the IEEE, Vol. 82, No. 7, July 1994.

103. Poderni R.Y., Koelsh H.R. Adaptation of Hydraulic Shovels for Arctic Temperature of Jakutia Region// Proceedings Mine Planning and Equipment Selection (MPES) Conference / Fremantle, W. Australia, 1 - 3 December 2010.

104. Prickett P.W. An Integrated Approach to Autonomous Maintenance Management, Integrated Manufacturing Systems, vol.18 iss.5, p.g. 495, 1998.

105. Lipsett M.G., Methods for Assessing Dynamic Performance of Shovels, Department of Mechanical Engineering, University of Alberta, Edmonton. 2009. 9 pp.

106. Schwappach D. Neue Ladeschaufel-Kinematic fur Hydraulikbagger. Baumaschinen und Technik. № 7/8, 1982. p. 363 – 368, 449, BRD.

107. Scoble M.J, Hadjigeorgiou J., Nenonen L.K. Development of on surface coal mines. MS. Thesis, Middle East Technical University, Ankara. Truck selection in surface mining. The Journal of The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, V. 109 Referred papers. Dec. 2007.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Таблицы 3.1...3.5, П. отказов КГЭ РС 3000 № 6280

Таблица 3.1. П. Перечень отказов, времени наработки от начала эксплуатации, моточасов и времени восстановления компонентов «Рабочий орган» экскаватора РС 3000D № 1 (6280).
Общее количество моточасов 22500, количество отказов по категории 24, наработка на отказ 937,5 ч

№	Характеристика отказа и мероприятие по его устранению	Наработка от начала эксплуатации, моточасов	Время восстановления, ч
1	Замена ковшевых коронок	1 767,00	4,00
2	Замена ковшевых коронок	3 124,00	0,83
3	Замена ковшевых коронок	6 640,00	0,83
4	Сварочные работы ковша	9 953,00	3,00
5	Сварочные работы ковша	10 151,00	4,00
6	Замена межзубьевых, адаптерных защит ковша	10 371,00	5,00
7	Сварочные работы ковша	11 250,00	8,00
8	Замена ковшевых коронок	12 167,00	0,83
9	Замена межзубьевых защит, защит боковых режущих кромок створки ковша. Сварочные работы по створке ковша, по ковшу	12 384,00	24,00
10	Сварка ковша	12 734,00	4,00
11	Сварка ковша	12 978,00	10,00
12	Замена ковшевых коронок	14 831,00	0,5
13	Замена створки ковша	15 521,00	12
14	Сварка ковша	16 294,00	6,00
15	Замена створки ковша.	16 420,00	18
16	Замена передней стенки ковша г.ц. передней стенки	16 819,00	12
17	Сварка ковша	17 052,00	4,00
18	Сварка ковша	17 766,00	8,00
19	Обрыв стопоров пальца в соединении ковш-створка	18 284,00	4,00
20	Замена створки ковша, втулок №872 456 40 - 4 шт	18 521,00	24
21	Сварка ковша	18 879,00	12
22	Сварка ковша	19 575,00	24
23	Сварка ковша	20 035,00	4,00
24	Замена втулок, пальцев в соединении рукоять - ковш	21 840,00	12,0

Таблица 3.2, П. Перечень отказов, времени наработки от начала эксплуатации, моточасов и времени восстановления компонентов категории «Другое» экскаватора РС 3000D № 1 (6280).
Общее количество моточасов 22500, количество отказов по категории 16, наработка на отказ 1406,25 ч, среднее время восстановления 19,3 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, моточасов	Время восстановления, ч
1	Ремонт звукового сигнала	1 563,00	0,83
2	Излом пружины натяжного механизма ремня вентилятора ДВС	4 648,00	4,00
3	Замена компенсаторов выхлопного коллектора ДВС	7 117,00	3,00

4	Замена ремня привода вентилятора ДВС	11 525,00	3,00
5	Заправка хладагентом системы кондиционирования	11 542,00	1,83
6	Замена отопителя кабины машиниста №698 044 73	12 056,00	2,83
7	Замена ремня привода вентилятора ДВС	14 840,00	4,00
8	Замена гидро-аккумулятора	14 848,00	24,00
9	Замена пружины механизма натяжения ремня вентилятора ДВС	15 703,00	4,00
10	Замена патрубка ДВС №255 604 40.	17 612,00	4,00
11	Замена ДВС	18 997,00	96,0
12	Сварка сливного коллектора радиаторов	19 098,00	9,00
13	Обрыв лопасти вентилятора	19 167,00	96,0
14	Замена вентилятора ДВС	19 329,00	3,00
15	Обрыв лопасти вентилятора охлаждения ДВС. Демонтаж неисправного. Монтаж временного вентилятора	20 739,00	6,00
16	Демонтаж ДВС, замена передних опор ДВС №901 853 40 - 2 шт., №901 854 40 - 2 шт. Замена гидравлического коллектора	20 924,00	47,0

Таблица 3.3, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Гидравлика» экскаватора РС 3000D № 3 (6280). Общее количество моточасов 22500, количество отказов по категории 65, средняя наработка на отказ 346,5 ч, среднее время восстановления 7,86 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, моточасов	Время восстановления, ч
1	Замена уплотнительного кольца РВД подачи смазки	1 368,00	0,83
2	Устранение утечек охл. жидкости ДВС и масла гидросистемы	1 390,00	0,83
3	Замена РВД № 515 897 98	1 700,00	1,00
4	Замена пыльника левого ковшевого гидроцилиндра	5 890,00	5,00
5	Замена шевронных уплотнений №208 960 40 левого г/цилиндра рукояти	6 578,00	6,00
6	Замена насоса ЦСПК, настройка системы смазки	6 770,00	3,00
7	Замена насоса ТНВД	7 253,00	4,00
8	Замена РВД 94037840	8 603,00	12,00
9	Установлен РВД 51589598	9 284,00	4,00
10	Сварочные работы магистрали 91531640	9 496,00	2,00
11	Замена шевронного уплотнения 79243173	9 561,00	12,00
12	Замена РВД 94032340	9 616,00	4,00
13	Замена шевронов №208 960 73 левого ковшевого г/ц	10 129,00	2,00
14	Течь трубопровода 79382473	10 749,00	9,00
15	Замена втулок №627 597 40 в корпусе г/цилиндров закрывания створки ковша	11 397,00	36,00
16	Замена левого г/ц открывания створки ковша №953 891 40	12 292,00	6,00
17	Замена правого г/ц открывания створки ковша №953 891 40 - 1 шт. Замена шевронных уплотнений №208 960 73 правого г/ц рукояти	12 331,00	16,00
18	Замена шевронных уплотнений №208 960 73 левого г/ц поворота ковша, замена шевронных уплотнений №226 421 73 правого г/ц стрелы. Замена пальцев № 917 513 40 - 2 шт. в нижних креплениях г/ц створки ковша.	12 382,00	24,00
19	Демонтаж 3 колец шевронного уплотнения левого г.ц. стрелы	12 690,00	2,00

20	Замена РВД 51782498	12 751,00	1,00
21	Замена 2 инжекторов смазки г.ц. подворота ковша 26988040	13 189,00	7,00
22	Ремонт трубопровода №915 316 40	13 580,00	4,00
23	Демонтаж г/ц 934 621 40- 2 шт, замена втулок 627 597 40 - 2 шт	13 843,00	48,00
24	Замена дефектного трубопровода 79349973 на РВД	14 014,00	9,00
25	Замена шевронного уплотнения левого г.ц. рукояти	14 161,00	2,00
26	Демонтаж 2 регулировочных колец левого г.ц. ковша	14 356,00	1,00
27	Замена уплотнений 69767773 79794873 правого г.ц. ковша	14 403,00	13,00
28	Замена шевронного уплот. правого и левого г.ц. рукояти	14 484,00	5,00
29	Замена шевронного уплот. левого г.ц. рукояти	14 516,00	12,00
30	Замена шевронного уплот. левого г.ц. рукояти	14 785,00	6,00
31	Установка патрубка	14 848,00	10,00
32	Замена шевронного уплот. правого г.ц. рукояти, его шлифовка	14 981,00	4,00
33	Замена правого г.ц. рукояти №95761040 на №95388940	15 212,00	8,00
34	Замена шевронных уплотнений №208 960 73 лев. ковшевого г-ц	15 452,00	2
35	замена шевронных уплотнений №226 421 40 левого стрелового г/ц , сварочные работы ковша	16 040,00	12
36	Выход из строя гидромотора поворота платформы	16 054,00	3
37	Замена г-мотора поворота №896 590 40, клапана тормоза поворота №655 855 40	16 079,00	24
38	Замена РВД №515 843 98, актуатора топливного насоса ДВС	16 094,00	4
39	Замена РВД 51684098	16 873,00	8
40	Замена шевронных уплотнений №208 960 73 - 1 шт. левого ковшевого г/ц	16 975,00	12
41	Замена РВД №940 323 40	17 512,00	1
42	замена шевронных уплотнений левый ковшевой	17 799,00	4
43	Замена втулок стрелового г.ц.	18 251,00	39
44	Замена г/насоса пилотного управления №705 123 5140	18 386,00	16
45	Замена створки ковша , втулок № 872 456 40 - 4 шт	18 781,00	2
46	Замена правого ковшевого г.ц №957 615 73	18 861,00	12
47	Замена шевронных уплотнений №20896073 лев. ковшевого г/ц	19 309,00	2
48	Замена РВД №517 582 98	19 916,00	1,5
49	Замена втулок, пальцев, г.цилиндров створки	20 456,00	24
50	Замена РВД №516 300 98	20 473,00	12
51	Замена шевронов №20896073 г/ц рукояти	20 564,00	3
52	Замена шевронных уплотнений №226 421 73, 906 587 40, 906 726 40,906 531 40, левого стрелового г/ц	20 758,00	3
53	Замена левого г/ц поворота ковша и пальцев его крепления	20 914,00	8
54	Замена РВД хода №517 695 98- 4 шт	21 004,00	10
55	Замена клапана ЦСС №769 879 73	21 245,00	1
56	Демонтаж/монтаж, переборка г.ц створки ковша	21 751,00	12
57	Замена шевронов № 208 960 73 на левом ковшевом г/ц. после капитального ремонта цилиндра заказчиком	22 111,00	2,5
58	Замена шевронных уплотнений №20896073 лев. ковшевого г/ц	22 131,00	4
59	Замена шевронных уплотнений № 208 960 73 левого ковшевого г/ц. Шлифовка штока	22 148,00	8
60	Замена шевронных уплотнений № 208 960 73 левого ковшевого г/ц. Шлифовка штока	22 190,00	7
61	Замена левого г/ц открывания створки ковша	22 211,00	9
62	Замена шевронных уплотнений №20896073 лев. ковшевого г/ц	22 273,00	3
63	Замена шевронов №208 960 73 левого ковшевого и левого	22 342,00	6

	рукояти г/ц, замена РВД №512 486 98		
64	Замена шевронных уплотнений № 208 960 73 лев. рукояти г/ц	22 384,00	4
65	Замена шевронных уплотнений № 208 960 73 левого ковшевого г/ц	22 431,00	6

Таблица 3.4, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Ходовой части» экскаватора РС 3000D № 1 (6280). Общее количество моточасов 22500, количество отказов по категории 8, наработка на отказ 2812,5 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, моточасов	Время восстановления, ч
1	Замена опорных катков левой ходовой телеги.	10 572,00	57
2	Замена 7 опорных катков правой стороны	11 490,00	36
3	Замена 3 опорного катка левой стороны	15 227,00	6
4	Демонтаж траков гусеничных лент	16 555,00	6
5	Замена опорных катков правого борта ходовой телеги	16 833,00	6
6	Замена 7-и опорных катков левой стороны	17 533,00	12
7	Замена левого 1 поддерживающего катка	17 991,00	10
8	Замена одного трака	21 532,00	8

Таблица 3.5, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Электрика» экскаватора РС 3000D № 1 (6280). Общее количество моточасов 22500, количество отказов по категории 5, наработка на отказ 4500 моточасов, среднее время восстановления 6,9 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, моточасов	Время восстановления, ч
1	Замена вольтметра № 440 129 40	1 481,00	0,83
2	Неисправность генератора (нет зарядки)	8 093,00	4,00
3	Замена коммутатор-95605240, датчик-7861931650	11 874,00	72,00
4	Установка и настройка контроллера CR 700 №783 523 1001	12 479,00	4,00
5	Диагностика электрической системы, замена генератора	19 948,00	4,00

Таблицы 3.6...3.10 отказов КГЭ РС 3000 № 6283

Таблица 3.6,П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Рабочий орган» экскаватора РС 3000D № 2 (6283). Общее количество моточасов 20500, количество отказов 32, наработка на отказ 640,6 моточаса, среднее время восстановления 22,56 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Ремонт системы смазки поворотного венца	607,00	2,00
2	Замена ковшевой коронки	1 035,00	0,83
3	Замена ковшевых коронок- 5шт. Свар. работы ковша	1 904,00	5,00
4	Свар. работы ковша	2 036,00	14,00
5	Свар. работы ковша	2 740,00	99,00
6	Сварочные работы ковша	2 998,00	14,00
7	Сварочные работы ковша	3 310,00	15,00
8	Сварочные работы ковша	3 323,00	12,00
9	Сварочные работы ковша	3 388,00	48,00
10	Выход из строя второго главного насоса	3 401,00	102,0
11	Замена ковшевых коронок	4 486,00	6,00
12	Замена ковшевых коронок	4 659,00	0,83
13	Сварочные работы ковша	5 262,00	24,00
14	Сварочные работы ковша	5 263,00	99,00
15	Сварочные работы ковша	6 649,00	68,00
16	Замена ковша	7 766,00	48,00
17	Сварка ковша	8 266,00	48,00
18	Замена ковшевых коронок	9 246,00	0,83
19	Замена втулок, пальца ковш-рукоять	9 876,00	60,00
20	Замена межзубьевых защит ковша	10 993,00	7,00
21	Замена ковшевых коронок	12 580,00	0,5
22	Сварка ковша	13 228,00	6
23	Сварка ковша	13 517,00	1
24	Сварка ковша	13 728,00	12
25	Сварка ковша	14 897,00	12
26	Отказ поворота платформы. Замена клапана №767 997 73	15 105,00	2
27	Сварка ковша	16 179,00	6
28	Замена втулок №91185440-2 шт., ремонт рукояти	17531,00	68
29	Замена пальца ковш-рукоять №942 610 40	17767,00	12
30	Замена втулок №947 131 40 - 2 шт. пальцев №480 649 40 - 2 шт., втулок правого ковшевого №924 988 40 - 2 шт	20191,00	14
31	Замена межзубьевых защит ковша	20281,00	4
32	Замена втулок 913 046 40 - 2 шт.	20461,00	10

Таблица 3.7, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Гидравлика» экскаватора РС 3000D № 2 (6283). Общее количество моточасов 20500, количество отказов 24, наработка на отказ 854,2 моточаса, среднее время восстановления 13,48 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Регулировка гидравлической системы	541,00	1
2	Ремонт насоса смазки поворотного круга	907,00	6
3	Чистка клапана №769 879 73	973,00	4
4	Чистка клапана №769 879 73	1 121,00	4
5	Чистка гидравлического клапана регулятора потока №769 000 73	1 231,00	2,5
6	Ошибка ЦСПК	3 097,00	1
7	Замена насоса №797 690 73	3 249,00	3
8	Замена уплотнения 385 243 40	4 098,00	1
9	Замена клапана разгрузки ССПК 769 879 73	7 367,00	0,5
10	Демонтаж-монтаж второго главного насоса	7 771,00	159
11	Замена гофры №635 520 40	9 503,00	6
12	Замена уплотнений поршня, крышки г.ц.	10 001,00	48
13	Замена РВД 51590198	10 738,00	5
14	Замена РВД №515 901 98 (правый)	10 908,00	3
15	Замена втулок №480 657 40 - 2 шт. в креплении левого стрелового г/ц. Замена эл. двигателя отопителя кабины №698 044 73	11 126,00	20
16	Ремонт поворотного штуцера ЦСС №907 378 40	15 061,00	3
17	Замена ручки левого джойстика управления №766 845 73	15 082,00	1
18	Замена РВД №940 324 40 (правый)	15 305,00	2
19	Ремонт джойстика управления	15 979,00	2
20	Ремонт клапана ЦСС №769 879 40	16 011,00	5
21	Замена клапана ЦСС №769 879 73	16 438,00	1
22	Демонтаж правого стрелового г.ц	16 724,00	5
23	Замена уплотнений правого стрелового г.ц.	16 729,00	20
24	Замена клапана №769 879 73	19 595,00	0,5

Таблица 3.8, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Ход» экскаватора РС 3000D № 2 (6283). Общее количество моточасов 20500, количество отказов 12, наработка на отказ 1708,3 моточаса, среднее время восстановления 69,2 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Рем. ходового редуктора, замена уплотнений правого колеса.	1 519,00	660
2	Замена смазывающей шестерни поворота (с 06280)	4 290,00	1
3	Установка новой смазывающей шестерни	6 654,00	24
4	Слетела левая гусеничная лента	9 687,00	3
5	Замена 7-и правых опорных катков	10 032,00	106
6	Слетела правая гусеничная лента	11 379,00	1
7	Замена 7 опорных катков правой стороны	12 811,00	8
8	Замена третьего поддерж. катка левой гусеницы	12 831,00	2
9	Демонтаж траков правой и левой борт. телеги	14 533,00	10

10	Замена 7-и опорных катков правой стороны.	16 724,00	6
11	Замена опорных катков правой стороны	19 750,00	12
12	Замена поддерживающих катков правой стороны	19 863,00	2

Таблица 3.9, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Электрика» экскаватора РС 3000D № 2 (6283). Общее количество моточасов 20500, количество отказов 8, наработка на отказ 2562,5 моточаса, среднее время восстановления 99 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Замена датчика В33, №940 473 4	8 508,00	8
2	Замена эл. мотора вентиляции кабины №698 375 73	9 353,00	0,5
3	Установка настройка контроллера CR 700 №783 523 1001 (установленного на 06280), датчика В158с №786 193 1650, Блока №956 052 40, блока управления ДВС и его проводки	10 127,00	768
4	Замена реле К193 №940 020 40	10 927,00	0,5
5	Замена эл. двигателя вентиляции кабины №698 375 73	11 246,00	4
6	Замена реле К44	12 517,00	7
7	Замена вольтметра №440 129 40	14 177,00	1
8	Реле К44 №896 581 40	19 024,00	3

Таблица 3.10, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Другое» экскаватора РС 3000D № 2 (6283). Общее количество моточасов 20500, количество отказов 21, наработка на отказ 976,2 моточаса, среднее время восстановления 30,2 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Установка компрессора кондиционера № 940 505 40, заправка системы хладагентом	4 270,00	5
2	Ремонт и установка стеклоочистителя	4 556,00	1
3	Ремонт системы кондиционирования	4 577,00	96
4	Установка ДВС	5 262,00	216
5	Демонтаж ДВС	8 265,00	192
6	Замена штуцера №516 180 98	9 436,00	1,5
7	Протяжка выхлопной системы ДВС	9 541,00	3
8	Заправка системы кондиционирования и ее ремонт	9 706,00	2
9	Замена уплотнения левого джойстика	12 337,00	4
10	Замена уплотнения правого джойстика	12 405,00	0,83
11	Регулировка клапанов ДВС	14 050,00	9
12	Неисправность датчика давления масла ДВС В30	14 975,00	5
13	Замена болтов крепления головки 1R цилиндра ДВС	15 244,00	8
14	Замена ДВС	15 522,00	72
15	Замена, настройка клапана тормоза поворота	15 710,00	4
16	Демонтаж лобового стекла кабины машиниста.	16724,00	5
17	Установка лобового стекла кабины машиниста.	16729,00	4
18	Замена компрессора кондиционера	16888,00	1
19	Замена клапана ЦСПК №769 879 73	17984,00	0,5
20	Замена водяного насоса системы hot start №797 690 73	18509,00	5
21	Замена выключателя заправочной консоли 255 680 40	19549,00	1

Таблицы 3.11...3.15 отказов КГЭ РС 3000 № 6285

Таблица 3.11, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Гидравлика» экскаватора РС 3000D № 3 (6285). Общее количество моточасов 17700, количество отказов 19, наработка на отказ 931,6 моточаса, среднее время восстановления 25,94 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Замена РВД 51590198	4 753,00	4,00
2	Замена радиатора 95430040 гарантия	4 891,00	48,00
3	замена РВД №517 695 98	6 260,00	12,00
4	Замена РВД №386 162 40	6 307,00	2,00
5	РВД ЦСС №907 436 40	6 457,00	0,83
6	Замена РВД №515 911 98	7 393,00	2,50
7	Замена ремкомплектов №780 446 73 - 1 шт, №797 945 73 - 1 шт. левого г/ц рукояти. Ремонт штока	7 768,00	120,0
8	Замена РВД 51589798	9 524,00	3,00
9	Замена РВД 51589798	9 803,00	4
10	Замена РВД 61982340	9 868,00	10
11	Демонтаж правого г-ц рукояти, замена уплотнений №780 446 73, 797 945 73	10999,00	16
12	Установка правого г/ц рукояти	11006,00	16
13	Замена клапана ЦСС №769 879 73	14413,00	1
14	Демонтаж левого стрелового и ковшевого гидроцилиндров, ремонт	15472,00	184
15	Замена РВД № 940 324 40	15973,00	2
16	Замена РВД №517 720 98 - 1 шт. левый	16476,00	4
17	Замена втулок №947 131 40 - 2 шт. в нижних креплениях стреловых г/ц, уплотнений №907 022 40 - 4 шт, пальцев №480 649 40 - 2 шт.	16523,00	12
18	Демонтаж правого стрелового г/ц, замена р/к, установка	17586,00	28
19	Демонтаж левого г/ц рукояти. Замена р/к №780 446 73, №797 945 73, установка	17629,00	24

Таблица 3.12, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «РО» экскаватора РС 3000D № 3 (6285). Общее количество моточасов 17700, количество отказов 17, наработка на отказ 1041,2 моточаса, среднее время восстановления 51,29 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Сварка ковша	4 159,00	28,00
2	Замена ковшевой коронки	4 252,00	10,00
3	Ремонт узла ковш-рукоять	5 754,00	144,0
4	Замена ковша	6 086,00	15,00
5	Замена ковшевой коронки	7 620,00	0,83

6	Демонтаж ковша	7 766,00	24,00
7	Демонтаж пальца трапеция-ковш, дефектовка	8 393,00	73,00
8	Замена ковша	8 691,00	36,00
9	Замена ковшевой коронки	10 152,00	0,5
10	Замена ковша	10 930,00	12
11	Замена ковша	11 352,00	12
12	Свар. работы ковша	11 764,00	8
13	Демонтаж ковша, замена втулок 904 495 40 - 2 шт., колец 913 032 40 - 2 шт., пальцев 942 610 40 - 1 шт., 942 608 40 - 1 шт., втулок 911 854 40 - 2 шт., колец 911 855 40 - 2 шт.	12 847,00	36
14	Свар. работы ковша	14 003,00	12
15	Замена ковша	14 747,00	12
16	Замена ковшевых коронок	16 675,00	0,5
17	Замена втулок, пальца соединения рукоять ковш	17 123,00	12

Таблица 3.13, П. Перечень отказов, наработки и времени восстановления компонентов «Ход» экскаватора РС 3000D № 3 (6285). Общее количество моточасов 17700, количество отказов 8, наработка на отказ 2212,5 моточаса, среднее время восстановления 20 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Протяжка опорных катков	5 110,00	2
2	Демонтаж по 1 тракту левой и правой гусеницы	9 365,00	3
3	Замена 1,2 опорных катков правой стороны	10 270,00	8
4	Замена 1,3- го правой стороны и 1- го левой поддерживающих катков.	12 795,00	12
5	Замена ходовой (новая)	13 585,00	84
6	Замена клапана натяжения гус. лент	13 753,00	7
7	Диагностика ходовой части	14 603,00	12
8	Диагностика системы натяжения гусеничных полотен, замеры ходовой согласно АН02521d	16 008,00	12

Таблица 3.14, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Электрика» экскаватора РС 3000D № 3 (6285). Общее количество моточасов 17700, количество отказов 9, наработка на отказ 1967 моточасов, среднее время восстановления 13 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Замена реле температуры гидравлики.	844,00	2,00
2	Обрыв провода в жгутах управления ДВС	933,00	65,00
3	Окисление кон. дат. В64, разъема управ. насосом.	3 354,00	10,00
4	Замена реле К44 №896 581 40	6 177,00	16,00
5	Замена датчика В2 №940 473 40 - 1 шт. Замена блока управления ДВС и подключаемого к нему жгута проводов (демонтированных с экскаватора 06283)	7 495,00	7,00

6	Отказ блока управления климатконтроля №797 435 73, замена реле K44 №896 581 40	8 547,00	0,83
7	Замена эл. двигателя отопителя кабины №698 044 73	8 638,00	3,00
8	Замена эл. двигателя вентиляции кабины №698 375 73	8 802,00	5,00
9	Замена реле к 144	14522,00	8,00

Таблица 3.15, П. Перечень отказов, времени наработки и времени восстановления компонентов «Другое» экскаватора РС 3000D № 3 (6285). Общее количество моточасов 17700, количество отказов 23, наработка на отказ 769,6 моточаса, среднее время восстановления 27,3 ч.

№	Характеристика отказа и мероприятие по устранению отказа	Наработка от начала эксплуатации, машино-часов	Время восстановления, ч
1	Ремонт стеклоочистителя	1 478,00	3
2	Регулировка клапанов ДВС	1 575,00	4
3	Демонтаж лобового стекла кабины оператора.	4 886,00	48
4	Замена ремня вентилятора ДВС	6 260,00	12
5	Замена компрессора кондиционера, ремонт системы	6 608,00	3
6	Демонтаж лобового стекла кабины машиниста	7 756,00	4
7	Замена левого джойстика	10 019,00	8
8	Замена ремня вентилятора ДВС №924 893 40	10 335,00	0,83
9	Замена ремня вентилятора ДВС №924 893 40	10 433,00	2
10	Ремонт мех. натяжения ремня вентилятора ДВС	10 453,00	4
11	Ремонт эл. двигателя отопителя кабины (замена щеток эл. двиг)	10 631,00	5
12	Замена эл. двигателя отопителя кабины машиниста №698 044	10 725,00	1,5
13	Ошибка ЦСПК, замена датчика В47	11 375,00	1,5
14	Замена правого джойстика №896 415 40	11 514,00	8
15	Отказ ЦСПК. Замена клапана ЦСПК №769 879 73	12 594,00	1
16	Замена натяжного м-ма ремня ДВС	12663,00	2
17	Демонтаж ДВС, ремонт	15475,00	172
18	Замена сальника ДВС (привод генератора)	15685,00	1,5
19	Демонтаж поворотного редуктора, ремонт	16066,00	204
20	Замена поворотного редуктора на новый	16518,00	34
21	Отказ ДВС. Излом толкателя 1L форсунки	16715,00	10
22	Замена масла в редукторе поворота. Замена 1L форсунки ДВС. Ремонт натяжного м-ма ремня привода вентилятора ДВС	16797,00	12
23	Обрыв лопасти вентилятора ДВС 896 597 40, повреждение радиатора 928 700 40	17350,00	86,8

Таблица 3.18, П. Количество отказов по компонентам экскаватора РС 5500FS-E № 15124 при его эксплуатации на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш» в течение 15 месяцев с июня 2013 по август 2014 г.

Системы и компоненты	Отказы технические													Ковш и РО	Плановые ТО и Р	Организационные простои	Другое	ВСЕГО за месяц
	Электрика			Электромотор	Гидравлика	Редукторы	Система смазки		Аэрокондиционер	Ходовой механизм	Кабельный барабан	Блок управления	Кабина оператора					
	Высоволтг.	Средневолтг.	Низковолтг.				Центральная	Поворотн. круг										
Код отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Июнь13			2		2		3				1			6	1	1	904	921
Июль			1		4									1	1		1364	1371
Авг.			1								1			2	2		1562	1568
Сент.			1		3		1							6	4	1	2007	2023
Окт.			2								2			11	1		1665	1681
Ноябр.														1	3		492	496
Дек.13.	1	6			2									10	6		1276	1301
Янв.14	8						4	1						9	2		1463	1486
Февр.		7			2		1	4						2	4		200	216
Март					2		4							3	9	1	229	249
Апр.		2			3		3							5	2		252	271
Май	3						2							5	5		1355	1370
Июнь			13		7		1			7				4	6		1121	1159
Июль			3		3									4	12		1741	1763
Авг.14			4		6		2							6	9		1422	1449
ВСЕГО	12	15	28	0	34	0	21	5	0	7	4	0	0	75	67	3	17053	17324

Таблица 3.20, П.Обобщенные статистические данные работы экскаватора РС 8000 № 12059 за период наработки 60004 моточаса: коэффициент готовности K_r , средние значения наработки на отказ MTBF, среднее время восстановления MTTR и месячная производительность

	K_r , %	MTBF, моточас	MTTR, час	MTTR/ MTBF	Производительность, м ³ / мес
0-6000	94,88	100,35	3,51	0,0349	931299
6000-12000	91,11	54,99	5,89	0,1071	903840
12000-18000	89,62	39,27	6,33	0,1611	844612
18000-24000	89,89	50,04	5,75	0,1149	769449
24000-30000	89,03	42,95	5,69	0,1324	868486
24000-36000	88,69	35,71	4,88	0,1366	768543
36000-42000	88,03	32,98	6,83	0,2070	766808
42000-48000	88,89	26,55	8,47	0,3190	761166
48000-54000	89,25	30,55	10,00	0,3271	743414
54000-60000	90,64	34,11	13,67	0,4004	705219
Среднее	90,00	44,75	7,10	0,1586	806284

Таблица 3.16, П. Длительность отказов по компонентам экскаватора РС 5500FS-E № 15089 при его эксплуатации на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш» в течение 17 месяцев с апреля 2013 по август 2014 г

Отказы технические																		
Системы и компоненты	Электрика			Электромотор	Гидравлика	Редукторы	Система смазки		Аэрокондиционер	Ходовой механизм	Кабельный барабан	Блок управления	Кабина оператора					
	Высовольт.	Средневольт.	Низковольт.				Центральная	Поворотн. круг										
Код отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Апр13	9,9	28,4												22,45	61,22		124,4	246,4
Май		18,67	1,42		3,38				1,1		2,47			2,20	114,0		84,01	227,26
Июнь					48,63									34,77	7,0	3,36	59,78	153,56
Июль					34,52					13,93				4,42	56,97		106,96	216,79
Август					40,7						33,2			5,62	8,03	1,85	139,66	229,06
Сент.	2,37		11,13		34,22						21,33			21,4			108,82	199,28
Окт.			2,42		30,73		0,57			135,62				23,68	10,21		105,23	308,45
Ноябр.	2,08		7,32		50,67		5,45			6,37				2,13	11,63		167,89	253,54
Дек.13.			19,85		22,68					5,72	7,95			1,22	46,15		146,36	249,93
Янв.14					51,25		2,18			17,03				3,65	51,15		122,27	247,54
Февр.			3,98		11,23		1,53			14,67	11,07			4,82	17,5		70,88	135,68
Март					2,33		5,92			1,83				5,03	241,02		97,42	353,55
Апр.			1,73		12,25			3,2			5,75			16,4	56,62		68,1	164,04
Май	4,32		5,74		39,05									3,72	67,32		140,32	260,46
Июнь					13,94		7,06			3,46				2,16	35,15		129,03	190,79
Июль					27,99		0,6							0,18	48,52		157,32	234,62
Авг.14					106,5		0,45				4,02			1,99	39,12		107,9	259,98
ВСЕГО	18,07	47,07	53,59	-	530,07	-	23,76	3,2	1,1	193,63	85,79	-	-	155,83	871,62	5,23	1936,38	3930,93

Таблица 3.17,П. Количество отказов по компонентам экскаватора РС 5500FS-E №15089 при его эксплуатации на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш» в течение 17 месяцев с июня 2013 по август 2014 г.

Системы и компоненты	Отказы технические													Ковш и РО	Плановые ТО и Р	Организационные простои	Другое	ВСЕГО за месяц
	Электрика			Электромотор	Гидравлика	Редукторы	Система смазки		Аэрокондиционер	Ходовой механизм	Кабельный барабан	Блок управления	Кабина оператора					
	Высвольт.	Средневольт.	Низковольт.				Центральная	Поворотн. круг										
Код отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Апр13	2	5			5									9	5		1106	1129
Май		10	1		5				1		3			2	9		929	960
Июнь					10									3	1	2	475	492
Июль					6					3				3	8		782	802
Август					7						2			7	1	2	997	1016
Сент.	1		6		5						5			5			1333	1355
Окт.			1		9		1			9				7	2		655	654
Ноябр.	1		2		12		3			3				2	3		802	828
Дек.13.			5		7					1	1			3	3		1219	1239
Янв.14					10		1			3				1	2		1041	1058
Февр.			1		6		2			3	3			4	3		254	276
Март					3		4			1				2	6		237	253
Апр.			1		1			1			3			10	5		336	357
Май	1		1		12									3	7		1119	1143
Июнь					8		4			1				2	5		1150	1170
Июль					12		1							1	6		1340	1360
Авг.14					14		1				3			1	9		1130	1158
Всего	5	15	17	0	122	0	17	1	1	24	17	0	0	54	61	4	12871	13191

Таблица 3.19, П. Длительность отказов по компонентам экскаватора РС 5500FS-E № 15124 при его эксплуатации на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш» в течение 15 месяцев с июня 2013 по август 2014 г

Отказы технические														Ковш и РО	Плановые ТО и Р	Организационные простои	Другое	ВСЕГО за месяц
Системы и компоненты	Электрика			Электропривод	Гидравлика	Редукторы	Система смазки		Аэрокондиционер	Ходовой механизм	Кабельный барабан	Блок управления	Кабина оператора					
	ВысОВОльт.	СреднеВольт.	Низковольт.				Центральная	Поворотн. круг										
Код отказа	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
Июнь13			0,75		6,45		7,9				6,68			8,07	7,45	1,48	82,81	121,79
Июль			0,55		2,1									0,43	21,62		85,06	109,76
Авг.			0,48								0,15			8,95	68,0		103,08	180,67
Сент.			0,85		7,05		0,82							19,18	33,25	1,33	147,87	210,35
Окт.			0,12								5,12			8,7	8,02		141,19	172,14
Нояб..														0,03	43,22		35,46	78,21
Дек.13	2,37	9,23			2,7									97,73	60,3		103,39	275,73
Янв.14	10,67						3,6							15,53	10,8		148,32	188,92
Февр.		7,85			10,38		1,25							26,23	20,92		49,83	116,47
Март					6,93		9,36	1,88						3,9	71,28		61,88	155,25
Апр.		3,33			10,78		9,37	5,0						3,33	22,47		79,42	133,7
Май	4,71						5,79							9,45	40,91	0,02	145,62	206,48
Июнь			21,61		26,29		2,61			63,64				2,88	44,07		116,72	277,81
Июль			12,38		3,4									5,51	86,68		160,51	268,47
Авг.14			2,43		17,42		1,12							4,19	68,09		138,62	231,87
ВСЕГО	17,74	20,42	48,17	0	93,5	0	41,8	6,88	0	63,64	12,15	0	0	214,13	607,06	2,83	1599,79	2728,11

Таблица 3.21. Приложения. Помесячные значения коэффициентов готовности $K_{Г}$, технической готовности $K_{ТГ}$, использования $K_{И}$ и производительности гидроэкскаваторов РС 5500Е № FS № 15084 и №15124 при эксплуатации на железорудном карьере ОАО «Карельский Окамыш» (апрель 2013 - август 2014).

	$K_{Г}$, № 15089	$K_{Г}$, №15124	$K_{Г}$, среднее	$K_{ТГ}$, № 15089	$K_{ТГ}$, № 15124	$K_{ТГ}$, среднее	$K_{И}$, № 15089	$K_{И}$, № 15124	$K_{И}$, среднее	Произв. м ³ /мес № 15089	Произв. м ³ /мес. № 15124
Апр. 13	94.7%	-	94.7%	83.1%	-	83.1%	65.8%	-	65.8%	436	-
Май 13	96.4%	-	96.4%	80.7%	-	80.7%	69.5%	-	69.5%	505	-
Июнь 13	932%	94.9%	94.1%	87.0%	91.0%	89.0%	78.7%	71.8%	75.2%	338	316 368
Июль 13	93.5%	99.6%	96.6%	85.2%	96.7%	91.0%	70.9%	85.2%	78.1%	416041	499 358
Авг. 13	90.1%	99.9%	95.0%	88.0%	89.6%	88.8%	69.2%	75.7%	72.5%	379	447 606
Сент. 13	90.4%	98.8%	94.6%	87.4%	91.3%	89.4%	72.3%	70.8%	71.6%	453 41 1	474 195
Окт. 13	77.2%	98.1%	87.7%	72.7%	95.8%	84.3%	58.5%	76.9%	67.7%	335	533 220
Нояб. 13	90.0%	96.8%	95.0%	88.1%	94.0%	91.0%	64.8%	89.1%	76.9%	342	503 538
Дек. 13	92.4%	98.1%	95.3%	86.1%	76.8%	81.5%	66.4%	62.9%	64.7%	359	400 132
Янв. 14	90.5%	98.1%	94.3%	83.2%	94.5%	88.9%	66.7%	74.6%	70.7%	378	436 147
Февр. 14	93.7%	97.1%	95.4%	90.4%	90.1%	90.2%	79.8%	82.7%	81.2%	409	444 374
Март 14	98.6%	97.6%	98.1%	65.6%	87.5%	76.5%	52.5%	79.1%	65.8%	297	477 353
Апр. 14	96.8%	96.0%	96.4%	86.7%	92.5%	89.6%	77.2%	81.4%	79.3%	445	460 492
Май 14	93.4%	98.6%	96.0%	83.9%	91.8%	87.8%	65.0%	72.2%	68.6%	368	428 485

Июнь 14	96.6%	84.1%	90.4%	91.4%	77.6%	84.5%	73.5%	61.4%	67.5%	40931	357 820
Июль 14	96.2%	97.9%	97.0%	89.6%	85.5%	87.5%	68.5%	63.9%	66.2%	398	404 479
Авг. 14	85.1%	97.2%	91.1%	79.6%	87.5%	83.5%	65.1%	68.8%	66.9%	41085	400210

Таблица 4.3,П. Технологическая карта распределения часовой стоимости (Евро/час) и сроки замены компонентов экскаватора PC 3000FS/D при его эксплуатации 90 тыс. моточасов (15 лет) на 15.04 2015 г

ПРОЕКТ		ГРИБА РОССИЯ				PC3000 FS/D		75% Замена омпонентов		6000 Рабочие часы в год		Рабочие часы за 15 лет		Всего часов		90 000						
ЗАГНАСТИ	Описание	Новые Номер	Срок службы	ЦЕНА	Программа обмена	К-во	О	Р	Е	Р	А	Т	И	Н	О	U	R	S				
				6 000			12 000	18 000	24 000	30 000	36 000	42 000	48 000	54 000	60 000	66 000	72 000	78 000	84 000	90 000		
Поворотный круг		898 104 40	30 000	167 173		1					1				1							
Монтажный набор для повор.		797 928 73	30 000	30 405		1					1				1							
Редуктор поворота		944 872 40	15 000	138 344	yes	1		1			1		1		1		1					
Мотор поворота		959 308 40	15 000	16 470	yes	1		1			1		1		1		1					
Муфта		655 545 40	15 000	34 602		1		1			1		1		1		1					
Редуктор привода насосов		915 378 40	25 000	115 826	yes	1			1				1				1					
Главный насос		7082X00014	15 000	64 334		3		3			3		3		3		3					
Насос вентилятора		7081G00020	10 000	14 342		1		1		1	1	1	1	1	1	1	1		1			
Насос управления		70512 351 40	10 000	1 970		1		1		1	1	1	1	1	1	1	1		1			
Насос редуктора смазки		70521 362 40	10 000	2 454		1		1		1	1	1	1	1	1	1	1		1			
Радиатор		928 700 40	30 000	61 806		1					1				1							
Охладитель гидродвижности		950 199 40	10 000	14 472		4		4		4	4	4	4	4	4	4	4		4			
Мотор вентилятора		907 486 40	10 000	2 677		2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Блок золотников		655 167 40	30 000	26 262		1					1				1							
Блок золотников		655 168 40	30 000	26 264		1					1				1							
Блок золотников		907 742 40	30 000	24 990		1					1				1							
Насос густой смазки		797 638 73	10 000	13 792		2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Ротационное		659 008 40	15 000	25 730	yes	1		1		1	1	1	1	1	1	1	1		1			
Набор транс 1000 мм		788 880 73	20 000	324 424		2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Редуктор хода		898 108 40	20 000	194 848	yes	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Мотор хода		654 891 40	15 000	17 486	yes	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Приводное колесо хода		886 297 40	15 000	48 384		2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Натяжное колесо хода		970 766 40	20 000	55 237		2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Опорные ролики		970 767 40	15 000	14 338		14		14		14	14	14	14	14	14	14	14		14			
Поддерживающие ролики		970 768 40	15 000	8 197		6		6		6	6	6	6	6	6	6	6		6			
Цилиндр натяжения гусениц		953 895 40	15 000	12 112		4		4		4	4	4	4	4	4	4	4		4			
Цилиндр стрелы		973 813 40	15 000	100 294	yes	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Цилиндр рукояти		973 807 40	15 000	93 344	yes	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Цилиндр ковш		973 820 40	10 000	82 296	yes	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Цилиндр открывания ковш		973 822 40	7 500	46 024	yes	2		2		2	2	2	2	2	2	2	2		2			
Рукава высокого давления		94 811					0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700	0.700		
Пальцы и втулки		183 848					0.100	0.200	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300	0.300		
Основной ремонт		364 780					0.075	0.150	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225	0.225		
Фильтры	без гидродвижности	57 347					1.00	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96	0.96		
ЦЕНА в час							29.21	88.08	237.44	272.35	60.67	332.60	272.35	237.44	111.28	46.08	508.27	96.68	252.04	272.35	46.08	190.85

12.10.2015

All exchange time data are based on availabilities of skilled service staff, adequate equipment and spare parts. Data may vary depending on site conditions.

PROJECT: CPH 1.07.2013				PC3000 FS/D				75% Reman. Parts				6000 Operating Hours per Year				20 Operating Years				Total Hours				120 000	
Part Description	New Part No	Anticip. Lifetimes	List Price Jan-13	Exchange Program	Qty	O	P	E	R	A	T	I	N	G	H	O	U	R	S					Average [EUR/h]	
						6 000	12 000	18 000	24 000	30 000	35 000	42 000	48 000	54 000	60 000	66 000	72 000	78 000	84 000	90 000	96 000	102 000	108 000	114 000	120 000
Slew Ring	898 104 40	30 000	83 596		1						1				1					1				2,09	
Slew Ring Mounting Kit	797 928 73	30 000	15 203		1						1				1					1				0,38	
Slew Gearbox	944 872 40	15 000	69 172	yes	1			1					1				1			1		1		3,05	
Slew Motor	959 208 40	15 000	8 235	yes	1			1					1				1			1		1		0,36	
Coupling	655 545 40	15 000	17 301		1			1					1							1		1		1,01	
Pump Drive Gearbox	915 376 40	25 000	57 913	yes	1				1					1								1		1,46	
Main Pump	7026000014	15 000	32 167	yes	3			3			3				3		3			3		3		4,26	
Fan Pump	7081000020	10 000	7 171		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	0,66	
Pilot Pump	70512 351 40	10 000	985		1		1		1		1		1		1		1		1		1		1	0,09	
Gear Oil Pump	70521 362 40	5 000	1 232		1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	0,24
Radiator	928 700 40	30 000	30 903		1						1				1									0,77	
Oil Cooler	950 199 40	10 000	7 236		2		2		2		2	2		2		2	2		2		2	2		2	1,33
Fan Motor	907 486 40	10 000	1 339	yes	2		2		2		2	2		2		2	2		2		2	2		2	0,19
Valve Block	655 167 40	30 000	13 131		1						1				1						1				0,33
Valve Block	655 168 40	30 000	13 132		1						1				1						1				0,33
Valve Block	907 742 40	30 000	12 495		1						1										1				0,31
Lube Pump (greaser)	797 638 73	10 000	6 896		2		2		2		2		2		2	2		2		2		2	2	2	1,26
Rotary Joint	659 008 40	15 000	12 865	yes	1			1			1						1			1		1			0,67
Track Set (1 000 mm)	769 880 73	15 000	162 212		2		2		2		2		2		2		2			2		2		2	18,62
Travel Gearbox	898																								

Таблица 4.6,П. Технологическая карта распределения трудозатрат (чел.час) и сроки замены компонентов экскаватора PC 3000FS/D при его эксплуатации 120 тыс. моточасов (20 лет) на 15.04 2015 г

Man Hours Component Exchange PC3000-6

12.10.2015

PC3000 FS/D	anticip. lifetime	exchange time per component	number of components	mechanics	total man hours per component	PROJECT: CPH 1.07.2013													Operation Period										Total Operating Hours										total manhours		
						O	P	E	R	A	T	I	N	G	H	O	U	R	S																						
						6 000	12 000	18 000	24 000	30 000	36 000	42 000	48 000	54 000	60 000	66 000	72 000	78 000	84 000	90 000	96 000	102 000	108 000	114 000	120 000																
Slew Ring	30 000	60	1	4	240						240					240																							720		
Swing Gearbox	15 000	8	1	2	16			16			16		16			16		16																					112		
Swing Motor	15 000	3	1	2	6			6			6		6			6		6																					42		
Coupling	15 000	2	1	2	4			4			4		4			4		4																					28		
Pump Drive Gearbox	25 000	16	1	3	48					48						48																							192		
Main Pump	15 000	5	3	2	10			30			30		30			30																							210		
Fan Pump	10 000	1	1	1	1		1		1		1	1		1		1		1																					11		
Pilot Pump	10 000	1	1	1	1		1		1		1	1		1		1		1																					11		
Gear Oil Pump	5 000	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	23			
Radiator	30 000	8	1	2	16						16					16																								48	
Oil Cooler	10 000	6	2	2	12		24		24		24	24		24		24		24																						264	
Fan Motor	10 000	1	2	1	1		2		2		2	2		2		2		2																						22	
Valve Block	30 000	5	3	2	10						30					30																								90	
Lube pump (grease)	10 000	1	2	1	1		2		2		2	2		2		2		2																						22	
Rotary Joint	15 000	6	1	2	12			12			12		12			12		12																							64
Track Set	15 000	4	2	4	16			32			32		32			32		32																							224
Travel Gearbox	20 000	12	2	2	24				48			48				48																									240
Travel Motor	15 000	2	2	1	2			4			4		4			4		4																							28
Sprocket (cpl. ovs.)	15 000	8	2	2	16			32			32		32			32		32																							224
Idler	20 000	4	2	2	8				16			16				16																									80
Bottom Roller	15 000	2	14	2	4			56			56		56			56		56																							392
Top Roller	15 000	3	6	2	6			36			36		36			36		36																							252
Track Tens. Cylinder	15 000	6	4	2	12					48			48			48		48																							336
Boom Cylinder	15 000	6	2	3	18			36			36		36			36		36																							252
Stick Cylinder	15 000	6	2	3	18			36			36		36			36		36																							252
Bucket Cylinder	10 000	4	2	3	12		24		24		24	24		24		24		24																							204
Clam Cylinder	7 500	3	2	2	6		12	12	12		12	12		12	12		12	12		12																				180	
ENGINE	15 000	20	1	4	80			80			80		80			80																									560
Boom Foot Bushings	20 000	26	4	3	78				312			312				312																									1 560
Boom-Stick Bushings	20 000	20	4	3	60				240			240				240																									1 200
Stick-Bucket Bushings	15 000	10	4	2	20			80			80		80			80		80																							560
Bucket-Bulldam Bushings FS	15 000	8	4	2	16			64			64		64			64		64																						448	
Boom Cylinder Bushings	15 000	8	4	3	24			96			96		96			96		96																							672
Stick Cylinder Bushings	10 000	8	4	3	24			96			96	96		96		96		96																							1 056
Bucket Cylinder Bushings	10 000	6	4	2	12			48			48	48		48		48		48																							528
Bulldam Cylinder Bushings FS	10 000	6	4	2	12			48			48	48		48		48		48																							528
Pressure Relief Valves	7 500	1	24	1	1		24	24	24		24	24		24	24		24	24																							360
Preventive Maintenance																																									
250 h	4,5			2	9	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	108	2 160	
500 h	5			2	10	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	1 200		
1000 h	8			4	32	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	64	1 280		
2000 h	10			4	40	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	1 600		
3000 h	12			4	48	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	96	1 920		
total man hours						409	691	1 113	1 307	457	1 646	1 307	1 113	739	409	2 262	691	1 113	1 307	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	409	15 921		

All exchange time data are based on availabilities of skilled service staff, adequate equipment and spare parts. Data may vary depending on site conditions.

Таблица 4.7,П. Изменения средней часовой стоимости запасных частей (Евро/ч) и суммарных трудозатрат (чел.час) экскаватора PC 3000FS-D в зависимости от количества отработанных им моточасов в год для общего срока его эксплуатации 10 лет

Часов в год	PC 3000FS-D		PC 3000FS-E		PC 5500FS-D		PC 5500FS-E		PC 8000FS-D		PC 8000FS-E	
	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч
7500	92,4	12348	90,24	10731	171,7	16669	164,4	13500	225,3	19746	215,9	16400
7200	95,0	12144	92,8	10584	176,9	16406	169,4	13341	232,3	19466	222,7	16224
7000	95,4	11761	93,20	10239	177,9	15919	170,5	12928	233,4	18829	223,8	15654
6800	97,4	11376	95,1	9951	181,8	15415	174,3	12603	238,6	18290	228,9	15288
6700	97,9	11513	95,6	10050	183,5	15595	175,7	12713	240,6	18476	230,7	15413
6600	102,7	11453	100,6	10007	190,9	15510	183,5	12662	250,1	18388	240,5	15360
6500	103,8	11376	101,5	9951	192,9	15415	185,4	12603	252,9	18290	243,1	15288
6300	105,9	11248	103,7	9859	197,4	15245	189,7	12501	258,8	18106	248,9	15182
6100	108,3	11104	106,0	9765	202,1	15067	194,3	12392	265,1	17914	255,1	15059
6000	87,1	9191	85,30	7836	160,7	12472	154,4	9817	209,6	12472	201,7	11954
5900	88,0	9115	86,2	7780	162,5	12379	156,2	9700	212,1	14718	204,1	11884
5700	90,0	8987	88,2	7688	166,4	12209	160,0	9658	217,4	14534	209,2	11770
5500	92,1	8842	90,22	7583	170,6	12029	164,1	9548	223,0	14340	214,7	11653
5300	94,4	8706	92,50	7485	175,2	11851	168,6	9440	229,2	14150	220,7	11530
5000	96,3	8171	94,42	7007	176,5	11002	169,8	8704	230,9	11950	222,5	10538
4800	99,8	8043	97,90	6915	183,2	10832	176,5	8602	239,8	12834	231,3	10432
4500	84,8	7134	82,90	6135	155,9	9606	149,0	7653	204,8	11281	196,0	9201
4300	87,3	6990	85,40	6031	160,9	9428	153,9	7545	211,5	11089	202,5	9078

Таблица 4.8,П. Изменения средней часовой стоимости запасных частей (Евро/ч) и суммарных трудозатрат (чел.час) экскаватора РС 3000FS-D в зависимости от количества отработанных им моточасов в год для общего срока его эксплуатации 15 лет

Часов в год	РС 3000FS-D		РС 3000FS-E		РС 5500FS-D		РС 5500FS-E		РС 8000FS-D		РС 8000FS-E	
	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч	Евро/ч	Чел.ч
7500	101,9	19673	99,8	17135	190,3	26719	183,0	21692	249,4	31862	240,0	26436
7200	104,0	19135	101,7	16675	194,5	26030	187,0	21160	254,8	31000	245,3	25742
7000	97,7	18226	95,5	15895	183,2	24804	175,8	20211	240,4	29447	230,7	24511
6800	99,8	18022	97,5	15748	194,5	24541	187,0	20052	245,8	29167	236,0	24336
6700	100,8	17905	98,5	15665	189,4	24395	181,8	19961	248,7	29016	238,3	24230
6600	102,3	16907	100,4	14690	190,3	22897	182,9	18516	249,1	27198	239,6	22512
6500	103,75	16746	101,0	14565	192,0	22690	184,5	18369	251,4	26974	241,6	22342
6300	105,3	16549	103,1	14423	196,2	22425	188,6	18208	257,1	26700	247,2	22164
6100	107,6	16337	105,3	14270	200,9	22162	193,2	18049	263,4	26412	253,3	21988
6000	96,1	15021	94,2	13047	177,8	20391	171,0	16520	232,6	24175	223,9	20049
5900	97,2	14904	95,2	12964	179,9	20245	173,1	16429	235,4	24024	226,7	19944
5700	99,4	14692	97,4	12811	184,4	19982	177,4	16270	241,5	23736	232,6	19768
5500	101,5	14459	99,4	12633	188,7	19656	181,7	16053	247,3	23397	238,1	19525
5300	100,3	13384	98,2	11617	187,4	18228	180,3	14733	245,0	21760	235,8	18006
5000	94,0	12348	92,0	10731	173,9	16669	166,8	13500	228,0	19746	218,8	16400
4800	97,6	12144	95,5	10584	180,6	16406	173,3	13341	236,9	19966	227,5	16224
4500	99,8	11532	97,6	10065	185,8	15627	178,3	12730	243,5	18509	233,8	15431
4300	102,9	11336	100,6	9923	192,0	15362	184,4	12569	251,8	18235	241,9	15253

Таблица 4.9, Приложения. Численные значения расчетов по экономико-вероятностной модели

№ года	Средняя часовая стоимость замены компонентов, Евро/мч	Стоимость замены компонентов за год при режиме работы 6 тыс. мч, Евро	Суммарные трудовые затраты на замену компонентов и эксплуатацию, чел.час	Стоимость трудовых затрат годовая при ставке механизма 35 Евро/мч, Евро	Суммарная стоимость компонентов и трудовых затрат, Евро/год		Суммарные расходы с нарастанием		Минимально потребной величины ежегодно получаемой прибыли X _j , Евро при ставке дисконтирования			Минимально допустимая производственная себестоимость 1 м ³ отгружаемого материала, Евро/м ³) при ставке дисконтирования		
					Без учета старения	С учетом старения	Без учета старения	С учетом старения	0,05	0,15	0,3	0,05	0,15	0,3
	14,48	86880	409	14315	101195	101195	101195	101195	3923195	4313195	4898195	0,654	0,719	0,816
2	41,12	246720	691	24185	270905	283241	372100	384436	2166656	2472610	2945891	0,361	0,412	0,491
3	168,7	1012200	1113	38955	1051155	1152375	1425256	1536811	1862254	2119553	2536195	0,310	0,353	0,423
4	79,19	475190	1307	45745	520885	592156	1944141	2128967	1581823	1835485	2253202	0,264	0,306	0,376
5	30,22	181320	457	15995	197315	233579	2141456	2362546	1349315	1615840	2055767	0,225	0,269	0,343
6	213,7	1100880	1646	57610	1339810	1660360	3481266	4022906	1411741	1642445	2052213	0,235	0,274	0,342
7	79,19	475190	1307	45745	520885	663427	4002151	4686333	1332509	1571550	1997034	0,222	0,262	0,333
8	168,72	1012200	1113	38955	1051275	1405587	5053426	6091920	1355891	1579064	1997037	0,226	0,263	0,333
9	52,73	316380	739	25865	342245	468797	5395671	6560717	1287123	1529208	1971886	0,215	0,255	0,329
10	22,93	137580	409	14315	151895	213806	5547566	6774523	1211991	1479556	1952672	0,202	0,247	0,325
11	247,51	1485060	2262	79170	1564230	2306760	7111796	9081283	1308500	1534976	1984407	0,218	0,256	0,331
12	45,43	272580	691	24185	296765	446684	7408561	9527967	1266022	1513727	1986906	0,211	0,252	0,331
13	176,02	1056120	1161	40635	1096755	1730427	8505316	11258394	1309596	1539933	2009356	0,218	0,257	0,335
14	79,19	475190	1307	45745	520885	829726	9026201	12088120	1298805	1540204	2024757	0,216	0,257	0,337
15	22,93	137580	409	14315	151895	248201	9178096	12336321	1261266	1529631	2038818	0,210	0,255	0,340
16	213,74	1100880	1646	57610	1340050	2301880	10518146	14638201	1325423	1565049	2066772	0,221	0,261	0,344
17	86,49	518940	1307	45745	564685	979837	11082831	15618038	1326959	1575137	2089504	0,221	0,263	0,348
18	168,72	1012200	1113	38955	1051275	1911747	12134106	17529785	1366886	1600895	2116711	0,228	0,267	0,353
19	45,43	272580	739	25865	298445	543767	12432551	18073552	1353590	1608068	2141270	0,226	0,268	0,357
20	22,93	137580	409	14315	151895	282596	12584446	18356148	1333819	1614248	2166817	0,222	0,269	0,361