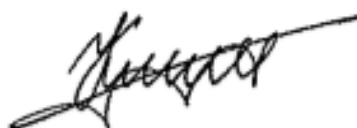


Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский горный университет»

На правах рукописи

Князькина Валерия Ивановна



ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРАНСМИССИЙ
ГОРНЫХ МАШИН УЛУЧШЕНИЕМ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО
РЕЖИМА СМАЗКИ ИХ РЕСУРСОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Специальность 05.05.06 – Горные машины

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук, профессор
Иванов С.Л.

Санкт-Петербург – 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ	14
1.1 Анализ гидравлических карьерных экскаваторов, применяемых на горнодобывающих открытых работах в России и странах СНГ	15
1.1.1 Применение экскаваторов на железорудных карьерах и предприятиях черной металлургии	25
1.1.2 Применение экскаваторов на угольных разрезах	27
1.1.3 Применение экскаваторов на карьерах по добыче горнохимического и нерудного сырья	28
1.1.4 Применение экскаваторов на карьерах по добыче золота	29
1.1.5 Применение экскаваторов на карьерах по добыче меди и других цветных металлов	30
1.2 Анализ электрических карьерных экскаваторов, применяемых на горнодобывающих открытых работах в России и странах СНГ	31
1.2.1 Применение электрических карьерных экскаваторов ЭКГ типа на горнодобывающих открытых работах России и стран СНГ	32
1.2.2 Особенности производственной эксплуатации экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К	37
1.3 Систематизация причин отказов карьерных экскаваторов серии ЭКГ	37
1.4 Применение автоматизированной централизованной системы смазывания на карьерных экскаваторах	41
1.5 Стратегии и системы технического сервисного обслуживания и ремонта горных машин	44
1.5.1 Стратегии и системы технического обслуживания карьерных экскаваторов	44
1.5.2 Деградационные факторы	48
1.5.3 Рекомендации по продолжительности и трудоемкости ТО и Р карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К	49
1.5.4 Интенсивность деградационных и антидеградационных процессов	50
1.5.5 Выбор системы технического обслуживания и ремонта	55
1.5.6 Акустико-эмиссионный контроль при диагностике технического	58

состояния.....	58
1.6 Выводы по главе 1	59
ГЛАВА 2 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕСУРСОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН	62
2.1 Подходы к оценке остаточного ресурса горных машин	62
2.2 Техническое решение для оценки остаточного ресурса карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К	66
2.3 Применение и особенности акустико-эмиссионного метода для оценки остаточного ресурса горных машин.....	70
2.4 Алгоритм оценки технического состояния ресурсопределяющих элементов и узлов трения трансмиссий горных машин.....	72
2.5 Выводы по главе 2.....	78
ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СМАЗКИ НА РАБОТУ РЕСУРСОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН.....	79
3.1 Методика экспериментального исследования	79
3.2 Выбор схемы и установки для экспериментальных исследований процессов трения и изнашивания в ресурсопределяющих элементах трансмиссии	80
3.3 Экспериментальная оценка влияние эксплуатационного режима смазки ресурсопределяющих элементов трансмиссии горной машины на характер трения	83
3.4 Выводы по главе 3.....	101
ГЛАВА 4 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕРОПРИЯТИЙ ТОиР ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН	103
4.1. Теротехнология для горных машин	103
4.2 Управление бэклогами при мероприятиях ТОиР трансмиссий горных машин	106
4.3. Предложение по совершенствованию эксплуатационного режима смазки карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К.....	113
4.4 Выводы по главе 4.....	119
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	121

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	124
ПРИЛОЖЕНИЕ А Справка о внедрении результатов диссертационной работы	138

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Качественное и своевременное проведение мероприятий по техническому обслуживанию является важнейшим фактором поддержания эксплуатационной надежности горной машины. На надежность горного оборудования в значительной степени влияет принятая стратегия его технического обслуживания и ремонта (ТОиР). В существующих условиях целесообразен переход к системе ТОиР, обеспечивающей самокупаемость, что невозможно без точной настройки инструментов управления техобслуживанием и ремонтами горного оборудования.

Тяжелые условия эксплуатации – значительные динамические и статические нагрузки, запыленность атмосферы, продукты изнашивания, высокая влажность и изменение температуры окружающей среды приводят к интенсивному загрязнению масел и смазок, превращая их в агрессивный и абразивный материал. Как следствие, возрастает интенсивность деградиационных процессов и, в первую очередь деталей и узлов определяющих ресурс трансмиссий, что ведет к увеличению простоев агрегатов, времени на их техническое обслуживание и текущий ремонт, росту эксплуатационных затрат. Поэтому необходим постоянный контроль за техническим состоянием ресурсопределяющих элементов и узлов горных машин, своевременная замена или пополнение лубриката, формирование, таким образом, комфортной искусственной среды функционирования таких элементов.

Однако, на сегодняшний день не решены вопросы эффективной оценки технического состояния узлов и деталей приводов горных машин в целом без разборки редуктора. Существующие методы, включая вибродиагностику, не в достаточной мере решают проблему достоверной оценки состояния ресурсопределяющих узлов трансмиссий горных машин в зависимости от состояния и качества смазки, хотя анализ акустического сигнала ультразвукового диапазона позволяет получать искомую информацию, но на сегодняшний день не имеет широкого применения.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами надежности и долговечности горных машин и оборудования, трения и изнашивания их элементов, диагностикой технического состояния, совершенствованием технического обслуживания и ремонта занимались исследователи: А.Ю. Болотнев, П.В. Буянкин, Н.Г. Валиев, В.С. Великанов, Б.М. Габбасов, Б.Л. Герике, В.Н. Гетопанов, А.В. Докукин, М.Ю. Дрыгин, А.Г. Журавлев, Г.Н. Иванов, Л.И. Кантович, С.В. Корнеев, Б.И. Костецкий, П.И. Кох, Ю.Д. Красников, А.В. Кудреватых, В.Р. Кубачек, В.В. Курчаткин, Ю.А. Лагунова, Л.А. Молдавский, И.Г. Носовский, Р.Ю. Подэрни, В.М. Рачек, А.М. Мажитов, Н.А. Маслов, Д.И. Симисинов, В.И. Солод, Л.И. Сосновский, М.Л. Хазин, А.А. Хорешок, Ю.Н. Тимошенко, О.А. Чооду, Д.А. Шибанов, Д.И. Шишлянников и др.

Широкий класс задач технической диагностики успешно решался методами акустического неразрушающего контроля такими учеными, как: Н.П. Алешин, Н.А. Баркова, Е.А. Воробьев, И.Н. Ермолов, А.И. Потапов, В.В. Носов и др.

Однако не решены вопросы оценки состояния узлов трения горной машины в частности по величине акустического сигнала в ультразвуковой полосе частот, излучаемого парой трения, изменения эксплуатационного режима их смазки для повышения работоспособности трансмиссий горных машин и их ресурсопределяющих элементов, что требует дополнительных теоретических и экспериментальных исследований.

Целью исследования является выявление закономерностей изменения акустического сигнала трения ультразвукового диапазона частот ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий горных машин для научно-обоснованного технического решения, по повышению работоспособности горного оборудования путем ранней диагностики повреждений в элементах его трансмиссии и улучшением эксплуатационного режима смазки, в рамках осуществления стратегии технического обслуживания и ремонта, планирования регламентных работ горного оборудования.

Идея исследования заключается в формировании искусственной среды функционирования элементов трансмиссий горных машин путем детерминиро-

ванной подачи ограниченного объема лубриката в зоны контактного взаимодействия ресурсопределяющих элементов трансмиссий, а при переходе элементов в предотказное состояние – планировании ремонтных воздействий, на основе анализа акустического сигнала в ультразвуковой полосе частот от ресурсопределяющих элементов трансмиссии по специальному алгоритму оценки технического состояния.

Задачи исследования:

1. Провести анализ теоретических и экспериментальных исследований по статистике отказов горного оборудования и оценке технического состояния элементов трансмиссии горных машин при проведении мероприятий в рамках стратегий технического обслуживания и ремонта их технического состояния.

2. Провести обзор и анализ существующих систем и режимов смазки рабочих поверхностей ресурсопределяющих сопряжений в элементах трансмиссий горных машин.

3. Провести экспериментальные исследования по выявлению закономерностей изменения акустического сигнала ультразвукового диапазона внешнего трения от величины и характера параметров искусственной среды функционирования ресурсопределяющих узлов трения горных машин и изменений эксплуатационного режима смазки рабочих поверхностей ресурсопределяющих сопряжений.

4. Предложить алгоритм оценки технического состояния ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий по данным акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин.

5. Провести корректировку структуры ремонтного цикла трансмиссий карьерных экскаваторов с учетом реализации предложенного алгоритма оценки технического состояния ресурсопределяющих элементов трансмиссий.

6. Предложить новое техническое решение, позволяющее повысить работоспособность трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки, осуществляя раннюю диагностику повреждений ресурсопределяющих сопряжений и своевременной реновации лубриката на основании оценки со-

стояния элементов трансмиссий в рамках осуществления технологий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин.

Научная новизна исследования:

- установлена возможность фиксировать на ранней стадии появление дефектов и повреждений, а также протекание деградиационных процессов ресурсопределяющих элементов трансмиссий горных машин в контролируемых узлах трения, по средством выявления показателя изменения величины акустического сигнала в ультразвуковой полосе частот от удельной нагрузки и скорости в паре трения, что предоставляет возможность оценивать условия функционирования узлов трансмиссий в измененных искусственных средах.

- разработан алгоритм управления централизованной системой смазки ресурсопределяющих элементов трансмиссий горных машин, путем контроля подвижных соединений, который ориентирован на применение акустического сигнала ультразвукового диапазона частот для проведения работ, как по оценке состояния подвижных соединений и узлов динамического оборудования, так и своевременной реновации лубрикатора в рамках реализации стратегии технического обслуживания и ремонта карьерной техники.

Теоретическая и практическая значимость работы:

Обоснована возможность повышения работоспособности и износостойкости ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий горных машин формированием искусственных сред их функционирования и реновации лубрикатора на основании оценки изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в паре трения, генерируемого ресурсопределяющими сопряжениями.

Разработаны предложения по повышению работоспособности трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки рабочих поверхностей ресурсопределяющих сопряжений. Выявлено, что в рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию возможно осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на основе оценочных данных акустического

сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений.

Предложен алгоритм управления системой смазки в масштабах реализации стратегии технического обслуживания и ремонта. Предложены новые научно-обоснованные технические решения, позволяющие повысить работоспособность трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки, осуществляя раннюю диагностику повреждений ресурсопределяющих сопряжений и своевременной реновации лубрикатора на основании оценки состояния элементов трансмиссий в рамках осуществления технологий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин.

Результаты исследований использованы ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», г. Санкт-Петербург на стадии разработки эксплуатационной и ремонтной документации, в частности «Руководство по эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К»; «Регламент технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К».

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач используется комплексный подход, включающий научный анализ и обобщение ранее опубликованных исследований, обработку и анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований в области горных машин и оценки технического состояния элементов трансмиссии при проведении мероприятий в рамках стратегий технического обслуживания и ремонта, результатов производственных наблюдений, экспериментальных исследований по выявлению закономерностей изменения акустического сигнала ультразвукового диапазона внешнего трения от величины и характера параметров искусственной среды функционирования ресурсопределяющих узлов трения горных машин и изменений эксплуатационного режима смазки рабочих поверхностей ресурсопределяющих сопряжений и компьютерное моделирование.

Соответствие паспорту специальности

Тема исследования соответствует следующей области исследования паспорта научной специальности 05.05.06 – Горные машины: п.6 «Разработка и совершенствование технологических процессов с целью обеспечения высокого качества горных

машин на стадии проектирования, изготовления и эксплуатации с учетом специфики работы на горных предприятиях».

Положения, выносимые на защиту:

1. Разработанный алгоритм оценки технического состояния ресурсопределяющих сопряжений элементов и узлов трансмиссий горных машин позволяет определять состояние подвижного соединения ресурсопределяющего узла по интенсивности изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в контакте относительно соответствующей базовой величины, характеризующих условия смазывания ресурсопределяющих сопряжений, скорректировать уровень смазки последних или необходимость проведения профилактических ремонтов в рамках реализации стратегии технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию сопряжений трансмиссии горной машины, при этом решение о ремонте или замене принимается после исчерпания возможностей изменения технического состояния соединения заменой или пополнением соответствующего лубриката в сопряжении совместно с контролем изменения относительной величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в соединении с исходным его значением, сопровождаемого кратным возрастанием среднеквадратичного отклонения контролируемого параметра D .

2. Экспериментально подтверждена, возможность фиксации посредством показателя D уровня деградиационных процессов в подвижных соединениях по величине и характеру изменения акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в контакте, определяющих протекание процессов трения (жидкостного, граничного и сухого) в контролируемых ресурсопределяющих подвижных соединениях во взаимодействии их элементов между собой в искусственной среде лубриката, при этом, интенсивность протекания трибологических процессов при увеличении скорости скольжения для базового трансмиссионного масла описывается экспоненциальной функцией и при изменении давления квадратичной функцией, вместе с тем применение смазочных масел с

моющими присадками, диспергаторами, антиокислителями, модификаторами трения и вязкости позволяют обеспечивать нормальную работу сопряжений, снизив значение акустического сигнала ультразвукового диапазона частот, характеризуемого показателем D , в 3-5 раз по сравнению с базовым маслом, а для консистентных смазок, функции изменения показателя D возможно описывать экспоненциальной функцией при детерминированном изменении скорости скольжения и квадратичной функцией – для изменяемого давления в соединении.

Степень достоверности результатов исследования

Достоверность результатов работы подтверждается корректностью постановки цели и задач исследований; представительным объемом достоверной статистической информации; теория построена на известных, проверяемых фактах и хорошо согласуется с данными производственных наблюдений; экспериментальные исследования процесса изнашивания элементов трансмиссии горной машины проводились на специально созданном и модернизированном для этой цели стенде, оснащенный аттестованными и поверенными приборами.

Апробация результатов диссертационной работы проводилась на заседаниях кафедры машиностроения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», основные положения и результаты работы сообщались, обсуждались и получили одобрение и положительную оценку на всероссийских и международных конференциях, в которых соискательница принимала активное участие: V Международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика – 2018; проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования» (г. Пермь, 2018 г.); 14-ая Международная конференция по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» (г. Тула, 2018 г.); 59-ая Международная научная конференция студентов и молодых ученых по горному делу в Краковской горно-металлургической академии, секция «Механизация и обеспечение горного производ-

ства» (Польша, г. Краков, 2018 г.); XVII Международная научно-практическая конференция «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности» (г. Екатеринбург; 2019, 2020, 2021 гг.); XVII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов в Санкт-Петербургском горном университете (г. Санкт-Петербург, 2019 г.); Международный семинар «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики IPDME» (г. Санкт-Петербург; 2019, 2020 гг.); 70th Berg- und Huttenmannischer Tag 2019 (Германия, г. Фрайберг, ТУ «Фрайбергская горная академия», 2019 г.); VI Международная научно-практическая конференция «Горная и нефтяная электромеханика – 2019; проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования» (г. Пермь, 2019 г.); VIII Всероссийский молодежный форум «Нефтегазовое и Горное дело» (г. Пермь, 2019 г.); Международный форум «Метрологическое обеспечение инновационных технологий» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); Международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования» (г. Магнитогорск; 2020, 2021 гг.); XVIII Всероссийская конференция-конкурс студентов и аспирантов в Санкт-Петербургском горном университете (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); XVI Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования» (г. Санкт-Петербург, 2020 г.); Международная научно-техническая конференция НТИ (филиала) УрФУ и АО «ЕВРАЗ НТМК» «Промышленное производство и металлургия» (г. Нижний Тагил, 2020 г.); XIII Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых» (г. Пермь, 2020 г.); Научная конференция студентов и молодых ученых «Полезные ископаемые России и их освоение» (г. Санкт-Петербург, 2021 г.).

Личный вклад автора

Включенное участие на всех этапах процесса, непосредственное участие в получении исходных данных и научных экспериментах, личное участие в апробации результатов исследования, разработка экспериментальных стендов и установок, выполненных лично автором, подготовка основных публикаций по выполненной работе.

Публикации

Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 24 печатных работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, в том числе в 3-х статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук по специальности, на соискание ученой степени доктора наук (далее – Перечень ВАК), в 4-х статьях – в изданиях, входящих в международную базу данных и систему цитирования Scopus. Получен патент на изобретение.

Структура диссертации

Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами по каждой из них, заключения, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 138 страницах машинописного текста, в том числе содержит 62 рисунка, 6 таблиц, 18 формул. Список цитируемой литературы включает в себя 94 источника.

ГЛАВА 1 ГОРНЫЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАБОТ

Горная промышленность характеризуется большими масштабами добычи самых разных видов полезных ископаемых. Сегодня по всему миру построены мощные шахты и рудники, карьеры и разрезы, прииски и обогатительные фабрики, оснащенные современными машинами и комплексами. На сегодняшний день развитие горнодобывающей отрасли невозможно представить без эксплуатации и применения горных машин повышенной надежности и большой единичной мощности горнодобывающего оборудования. В наиболее тяжелых условиях работают машины открытых разрезов: экскаваторы, буровые установки и станки, карьерное дробильно-сортировочное оборудование, горнотранспортные машины. Как правило, это машины большой единичной мощности и габаритов, рабочий цикл которых не предусматривает их перемещений на значительные расстояния, с механическими и гидравлическими трансмиссиями, приводимыми в действие электрическим или дизель-электрическим приводом.

С 2012 года существенно возрастает потребность горнодобывающих предприятий в гидравлических экскаваторах с ковшами 21-22 м³. Данная тенденция связана с ростом объемов экскавации, увеличением товарного выпуска сырья и готовой продукции, постепенным увеличением доли большегрузных автосамосвалов грузоподъемностью от 150 т [3, 7]. В то время как российские предприятия ПАО «Уралмашзавод» и ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» только вывели на рынок (2010 год) двадцатикубовые машины: ЭКГ-18Р ИЗ-КАРТЭКС, ЭКГ-18 Уралмашзавод. Модели ЭКГ-18Р и ЭКГ-18 – электромеханические лопаты, но в тоже время являются конкурентным [1, 4].

Таким образом, горнодобывающие предприятия проявляли осторожность в отсутствии достаточного количества референций и опыта эксплуатации машин российского производства при формировании инвестиционных программ по обновлению и расширению экскаваторных парков. А до 2010 года альтернатива выбора полностью отсутствовала.

1.1 Анализ гидравлических карьерных экскаваторов, применяемых на горнодобывающих открытых работах в России и странах СНГ

Основными поставщиками карьерных гидравлических экскаваторов являются: Komatsu (Япония), Caterpillar (США), Liebherr (Германия), Hitachi (Япония) [12, 13, 18, 43].

Четыре основные компании производят 23 базовые модели гидравлических экскаваторов с вместимостью ковша 10-50 м³. Для проведения анализа все базовые модели карьерных гидравлических экскаваторов, производимые в мире и поставляемые на российский рынок в 2005-2020 гг., разделены на 9 групп (классов) и классифицированы по совокупности трёх классификационных признаков – полезной нагрузки в ковше, вместимости базового ковша и рабочей массы (таблица 1.1).

Таблица 1.1 - Продуктовая линейка карьерных гидравлических экскаваторов, поставляемых на российский рынок

Производитель	Класс								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Вместимость ковша, м ³	4-5	7-8	10-11	15-18	21-22	25-28	34-36	40-42	50-52
Полезная нагрузка в ковше, т	7-9	12-14,5	18 - 20	30-33	38-40	45-50	61-65	72-76	90-94
Рабочая масса, т	70-90	100-125	170-200	250-300	350-400	450-550	550-650	700-800	1000
Caterpillar	CAT 5080 (374,375)	CAT 6015	CAT 6018	CAT 6030	CAT 6040	CAT 6050	CAT 6060	-	CAT 6090
	CAT 385 (5090)	RH30	CAT 5130	-	-	-	-	-	-
	CAT 390	RH 70	-	-	-	-	-	-	-
Komatsu	PC 750	PC 1100 PC 1250	PC 1600 PC 1800	PC 3000	PC 4000	PC 5500	PC 7000	PC 8000	-
	PC 800	-	PC 2000	-	-	H455S	-	-	-
Hitachi	ZX 850	EX 1200	EX 1900	EX 2500	EX 3500	EX 5500	-	EX 8000	-
	ZX 870	-	-	EX 2600	EX 3600	EX 5600	-	-	-
Liebherr	R 974	R 984	R994	R 9250	R 9400	R 995	R 996	R 9800	-
	-	R 9100	R992	R 9350	-	-	-	-	-

В текущем исследовании рассматривались только карьерные гидравлические экскаваторы большой единичной мощности с объемом ковша от 10 м³.

Основными горнодобывающими странами СНГ являются Российская Федерация, Республика Казахстан, Украина, Республика Узбекистан, Республика Армения и Кыргызская Республика. Основным объемом поставок карьерных гидравлических экскаваторов приходится на Россию (71 %).

Вторым по объемам потребления гидравлических экскаваторов является Казахстан, в период с 2005 по 2020 гг. на горнодобывающие предприятия Казахстана поставлено гидравлических экскаваторов с суммарным объемом ковша 1400 м³, что составляет 15 % поставок. Доля гидравлических экскаваторов, поставленных в Украину, составляет 7 %, на Узбекистан, Киргизию и Армению приходится оставшиеся 6 %.

В России и странах СНГ открытым способом ведется добыча различных полезных ископаемых. В рамках настоящего исследования горнодобывающие предприятия по типу добываемого сырья и материалов были разделены на следующие группы: железорудные карьеры и предприятия черной металлургии, угольные разрезы, карьеры по добыче горнохимического и нерудного сырья, карьеры по добыче золота, карьеры по добыче меди и других цветных металлов. Карьеры по добыче золота выделены в отдельную категорию, в виду лидирующих позиций России и отдельных стран постсоветского пространства по объемам добычи золота в мире.

Распределение поставок карьерных гидравлических экскаваторов по условным отраслям горной промышленности представлено на рисунке 1.1.

За период с 2005-2020 гг. на горнодобывающие предприятия России и стран ближнего зарубежья поставлено 589 карьерных гидравлических экскаваторов с ковшами объемом от 10 м³. Динамика поставок в количественном выражении представлена на рисунке 1.2.

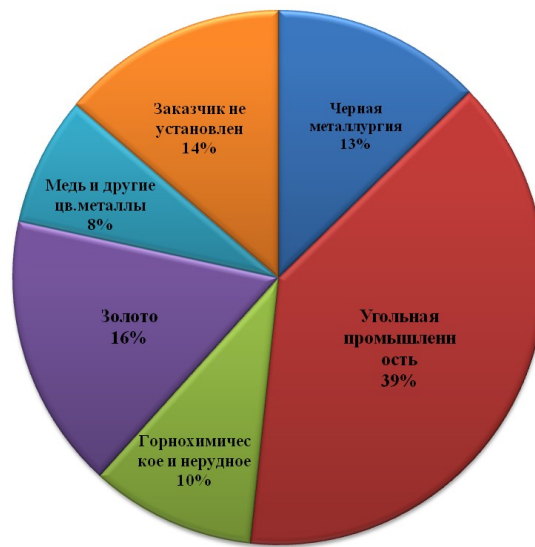


Рисунок 1.1 - Распределение поставок гидравлических экскаваторов по отраслям

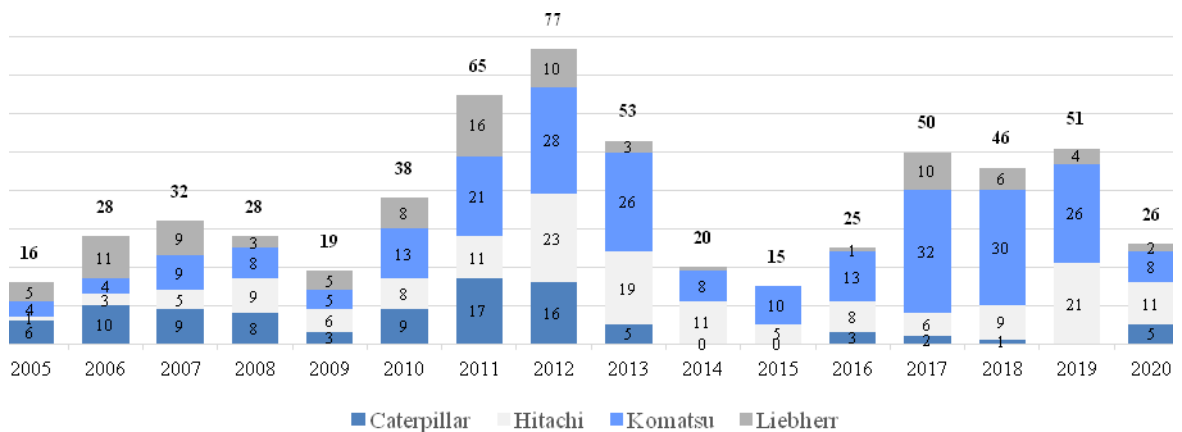


Рисунок 1.2 - Динамика поставок карьерных гидравлических экскаваторов

Пики (рост и падение) объема поставляемых на горнодобывающие предприятия гидравлических экскаваторов коррелируется с реалиями состояния отрасли и экономики в целом.

При характерных кризисных годах – 2014-2016 гг., в виду резкого снижения цен на многие полезные ископаемые и сырье были сокращены инвестиционные программы по обновлению парков выемочно-погрузочной техники. А в периоды роста мировой экономики (2011-2012 гг.) при характерном росте цен на сырье как на внутренних, так и на внешних рынках, горнодобывающие предприятия наращивали объемы производства и соответственно обновляли парки основного горного технологического оборудования [90]. Вместе с тем существующий

период между ближайшими пиками равен сроку службы списания соответствующей техники.

Сравнение производителей гидравлических экскаваторов (рисунок 1.3) по объему поставленных на горнодобывающие предприятия машин корректно проводить по критерию суммарного объема ковша.

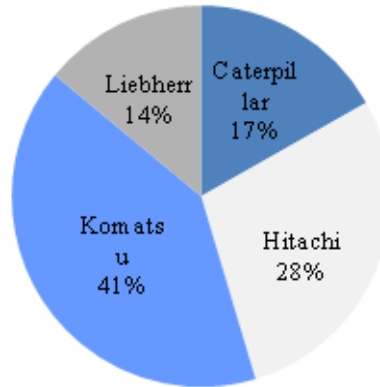


Рисунок 1.3 - Доля производителей в поставках гидравлических экскаваторов по суммарному объему ковша

Наибольший объем поставок гидравлических экскаваторов по суммарной вместимости ковшей приходится на долю компании Komatsu и составляет 41 %, далее следуют Hitachi – 28 %, Caterpillar – 17 % и Liebherr 14 %.

По единичной мощности (объем ковша) распределение гидравлических экскаваторов по классам представлено на рисунке 1.4.

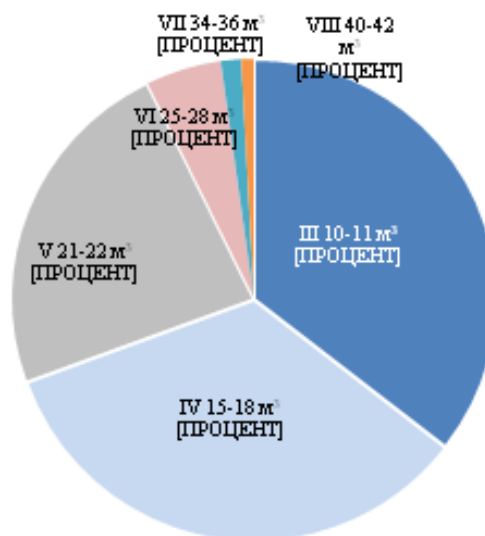


Рисунок 1.4 - Распределение поставок гидравлических экскаваторов по классам

Как видно из диаграммы гидравлические экскаваторы с ковшами 10-11 м³ и 15-18 м³ являются наиболее распространенными выемочно-погрузочными горными машинами на карьерах, ведущих горные работы открытым способом, и составляют в равной степени по трети от общего количества экскаваторов.

Машины класса 21-22 м³ составляют четверть, эксплуатирующихся на горнодобывающих предприятиях, гидравлических экскаваторов, а классы 25-28 м³ и 34-36 м³ менее 1 % каждый.

К III классу экскаваторов относятся машины с объемом ковша 10-11 м³ и рабочей массой экскаватора 170-200 т. Это модели CAT 6018 Caterpillar, EX 1900 Hitachi, PC 2000 Komatsu и R 994, R 9200 Liebherr.

Динамика поставок на горнодобывающие предприятия гидравлических экскаваторов с ковшами 10-11 м³ за период 2005-2020 гг. представлена на рисунке 1.5

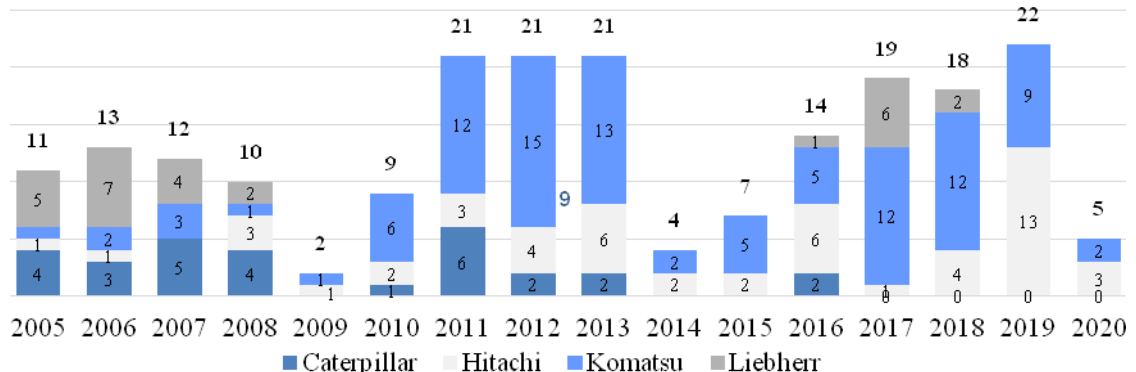


Рисунок 1.5 - Динамика поставок гидравлических экскаваторов III класса
10-11 м³

Наиболее широкое распространение в классе 10-11 м³ получила модель PC 2000 Komatsu (рисунок 1.6), порядка половины гидравлических экскаваторов в данном классе приходится именно на данную модель (рисунок 1.7).

Второй по распространенности является EX 1900 производства Hitachi, доля в экскаваторных парках которых составляет 25 % в классе. Десятикубовые

экскаваторы производства Caterpillar и Liebherr имеют долю 14 % и 13 % соответственно [89].

Карьерные гидравлические экскаваторы моделей CAT 6030 Caterpillar, EX 2500 (EX 2600) Hitachi, PC 3000 Komatsu, R 9250 (R 9350) Liebherr отнесены к **IV классу** по рабочей массе и вместимости ковша.



Рисунок 1.6 - Гидравлический экскаватор Komatsu PC 2000

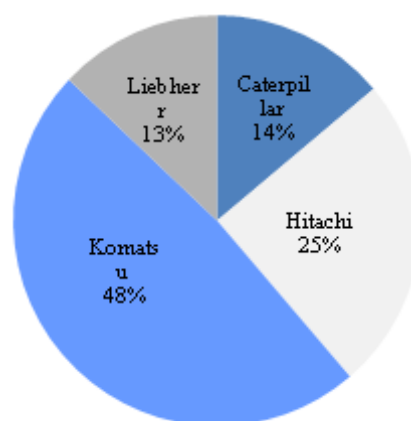


Рисунок 1.7 - Распределение поставок гидравлических экскаваторов III класса

За рассмотренный период на карьеры России и стран ближнего зарубежья поставлено 200 единиц гидравлических экскаваторов IV класса (рисунок 1.8).

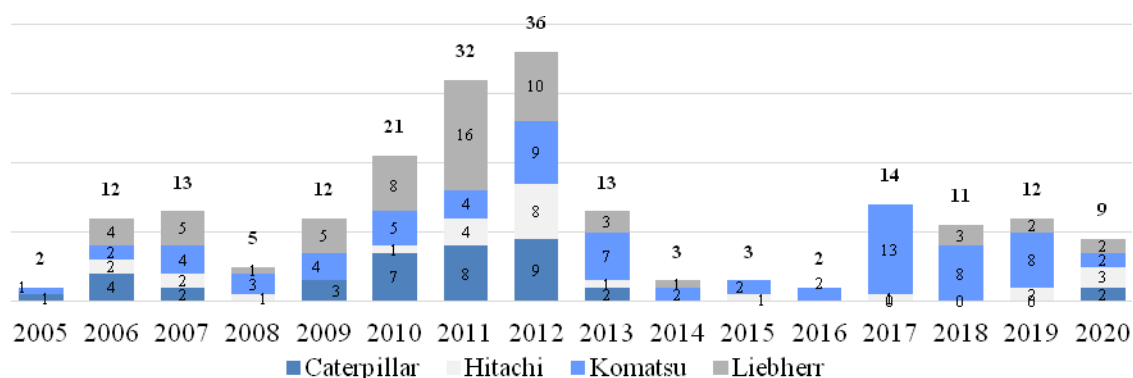


Рисунок 1.8 - Динамика поставок гидравлических экскаваторов IV класса

15-18 м³

В классе экскаваторов с ковшами 15-18 м³ доли производителей рассматриваемых моделей составляют: Komatsu – 35 %, Liebherr – 32 %, Caterpillar – 21 % и Hitachi – 12 % (рисунок 1.9).

Наиболее популярными моделями экскаваторов с ковшами 15-18 м³ являются машины Komatsu PC 3000 и Liebherr R 9250 (рисунок 1.11), которых поставлено 76 и 60 единиц соответственно (рисунок 1.10).

К V классу карьерных гидравлических экскаваторов отнесены модели с объемом ковша 21-22 м³ и рабочей массой 350-400 т: Caterpillar CAT 6040, Hitachi EX 3600, Komatsu PC 4000, Liebherr R 9400. Таких экскаваторов поставлено 137 единиц (рисунок 1.12).

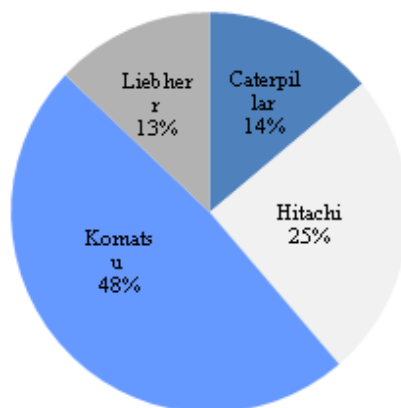


Рисунок 1.9 - Распределение поставок гидравлических экскаваторов IV класса



Рисунок 1.10 - Гидравлический экскаватор Komatsu PC 3000



Рисунок 1.11 - Гидравлический экскаватор Liebherr R 9250

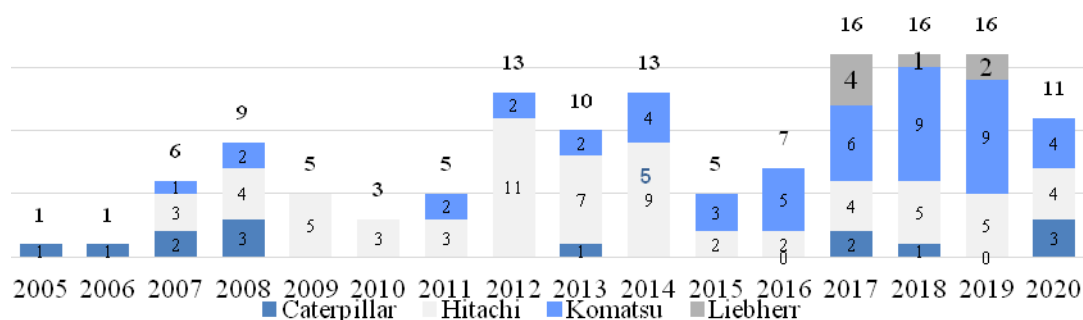


Рисунок 1.12 - Динамика поставок гидравлических экскаваторов
V класса 21-22 м³

В классе двадцатикубовых гидравлических машин за рассмотренный период наибольшее количество (рисунок 1.13) из поставленных машин приходится на модель Hitachi EX 3600 (рисунок 1.14) и составляет 49 %. Экскаваторов модели Komatsu PC 4000 поставлено 49 единиц, что соответствует 36% поставок. Экскаваторов Caterpillar CAT 6040 поставлено 14 машин, а Liebherr R 9400 – 7 машин.

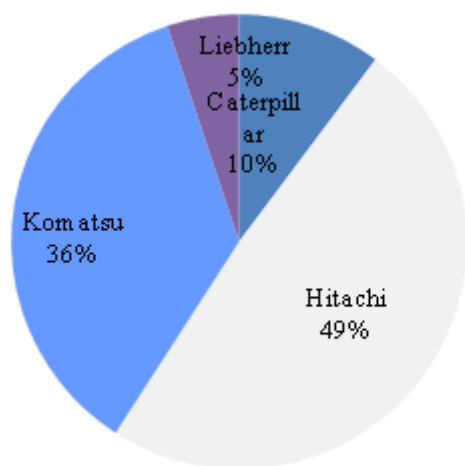


Рисунок 1.13 - Распределение поставок гидравлических экскаваторов V класса



Рисунок 1.14 - Гидравлический экскаватор Hitachi EX 3600

К VI классу карьерных гидравлических экскаваторов отнесены машины с ковшами объемом 25-28 м³ и рабочей массой 450-550т: Caterpillar CAT 6050, Hitachi EX 5600 (EX 5500), Komatsu PC 5500, Liebherr R 995. Таких

гидравлических экскаваторов введено в эксплуатацию 30 машин (рисунок 1.15) производства Caterpillar, Hitachi и Komatsu.

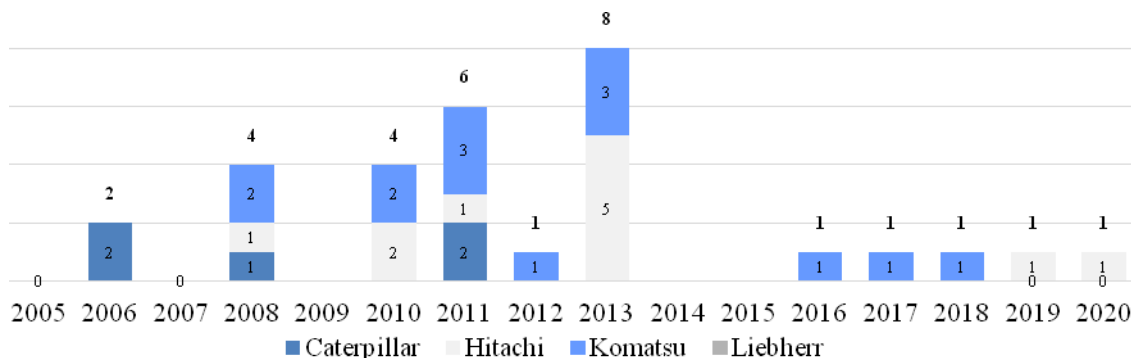


Рисунок 1.15 - Динамика поставок гидравлических экскаваторов VI класса 25-28 м³

Компания Komatsu поставила 14 единиц экскаваторов модели PC 5500 (рисунок 1.16), Hitachi – 11 единиц EX 5600 (рисунок 1.17) и компания Caterpillar – 5 единиц CAT 6050 (рисунок 1.18). Соответствующие доли по производителям гидравлических экскаваторов в этом классе представлены на рисунке 1.19 Компания Liebherr моделей экскаваторов с ковшами более 22 м³ на предприятия России и стран ближнего зарубежья не поставляла [92].



Рисунок 1.16 - Гидравлический экскаватор Komatsu PC 5500



Рисунок 1.17 - Гидравлический экскаватор Hitachi EX 5600

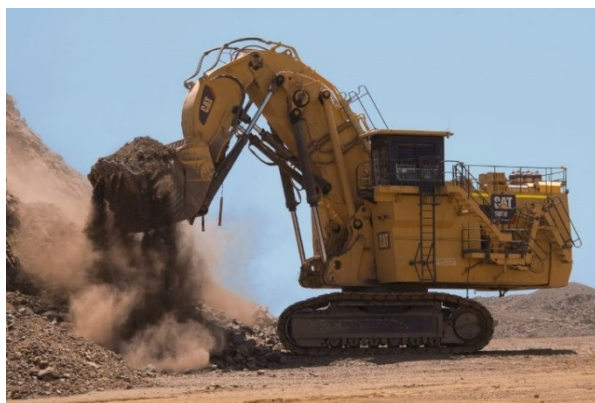


Рисунок 1.18 - Гидравлический экскаватор Caterpillar CAT 6050

К экскаваторам класса 34-36 м³ относятся модели Caterpillar CAT 6060, Komatsu PC 7000, Liebherr R 996. В данном классе гидравлических экскаваторов за период с 2005 по 2020 гг. на горнодобывающих предприятиях России и стран ближнего зарубежья поставлено 8 машин производства Caterpillar.

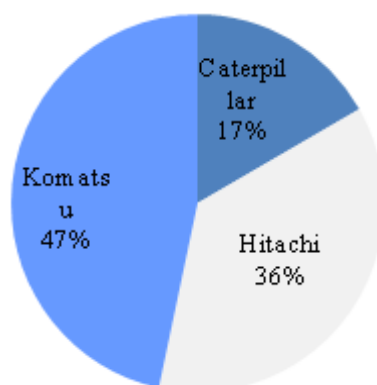


Рисунок 1.19 - Распределение поставок гидравлических экскаваторов VI класса



Рисунок 1.20 - Экскаватор Caterpillar CAT 6060 на карьере Еристовский ГОК

Модели экскаваторов других производителей в указанный период не поставлялись. Модели Caterpillar CAT 6060 (рисунок 1.20) введены в эксплуатацию на карьерах Карельский Окамыш, Еристовский ГОК, угольные разрезы АО «ЕВРАЗ».

Гидравлических экскаваторов VIII класса на горнодобывающие предприятиях стран СНГ поставлены пять единиц Komatsu PC 8000 с ковшом 40-42 м³. Конкурентными моделями в данном классе являются экскаваторы Hitachi EX 8000 и Liebherr R 9800 [86]. Все пять единиц экскаваторов Komatsu PC 8000 (рисунок 1.21) эксплуатируются на угольных разрезах России (Мечел и Стройсервис).



Рисунок 1.21 - Карьерный гидравлический экскаватор Komatsu PC 8000 на монтажной площадке разреза Березовский

1.1.1 Применение экскаваторов на железорудных карьерах и предприятиях черной металлургии

Добыча полезных ископаемых на железорудных карьерах постсоветского пространства характеризуется весьма сложными и тяжелыми условиями работ для выемочно-погрузочной техники, что приводит к существенному увеличению эксплуатационных затрат на техническое обслуживание и ремонт техники. Однако, на железорудные карьеры стран СНГ за период 2005-2020 гг. поставлено 75 гидравлических экскаватора с ковшами от 10 м³.

Востребованность экскаваторов от их единичной мощности (рисунок 1.22) на железорудных карьерах стран постсоветского пространства такова, что

наибольшее распространение получили машины с ковшом 21-22 м³ и 15-18 м³. В равной степени эти два класса занимают $\frac{3}{4}$ всех введенных в эксплуатацию гидравлических экскаваторов на карьерах по добыче железной руды [80, 81].

До 2018 г. поставок десятикубовых машин на железорудных карьерах не зафиксировано, с 2018 г. поставлено четыре единицы Hitachi EX 1800 и одна Komatsu PC 2000. Низкий спрос на гидравлические экскаваторы класса 10-11 м³ обусловлен наличием в экскаваторных парках железорудных ГОКов большого количества электромеханических экскаваторов ЭКГ-8И, ЭКГ-10. При том, зачастую данные экскаваторы эксплуатируются с кратным превышением их срока службы.

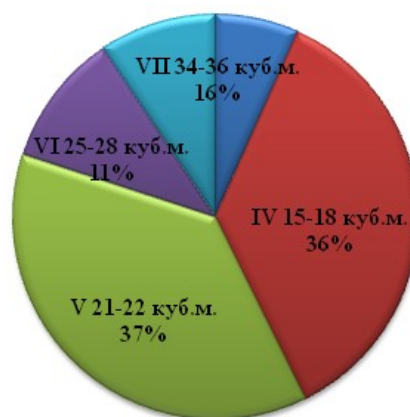


Рисунок 1.22 - Распределение потребления гидравлических экскаваторов по классам предприятиями черной металлургии

Экскаваторы большой единичной мощности (от 25 м³) имели место быть, как единичные поставки в период 2010-2014 гг. Это модели Caterpillar CAT 6050 (1 ед.), CAT 6060 (7 ед.), Hitachi EX 5500 (5 ед.) и Komatsu PC 5500 (2 ед.). Данные экскаваторы показали себя не эффективно в условиях железорудных карьеров по критерию высокой себестоимости экскавации, где основную часть составляют затраты на техническое обслуживание и ремонт. А для стран СНГ характерна работа ремонтных подразделений ГОКов в условиях низких бюджетов на поддержание работоспособного состояния выемочно-погрузочной техники [83, 84].

Относительно производителей гидравлических экскаваторов, эксплуатирующихся на железорудных карьерах, доля в количественном выражении составляет: Caterpillar – 35 %, Hitachi – 40 %, Komatsu – 23 %, Liebherr – 3 %.

1.1.2 Применение экскаваторов на угольных разрезах

Угольные разрезы являются крупнейшим потребителем карьерных гидравлических экскаваторов. Так как все присущие достоинства гидравлических экскаваторов в наибольшей степени удовлетворяют условиям работы угольных разрезов: автономность, мобильность, возможность селективной выемки, маневренность, меньшая масса при одинаковом объеме ковша в сравнении с электромеханическими экскаваторами. А также малый срок окупаемости инвестиций при высоких

В период с 2005 по 2020 гг. на угольные разрезы России и стран СНГ поставлено 229 гидравлических карьерных экскаватора.

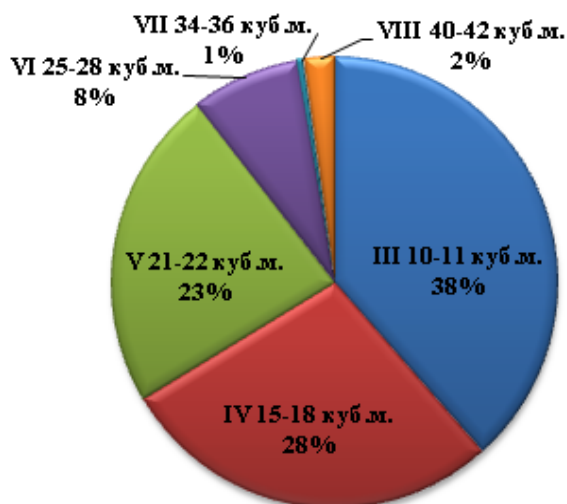


Рисунок 1.23 - Распределение потребления гидравлических экскаваторов предприятиями угольной промышленности по классам

Угольные разрезы России и других стран постсоветского пространства первыми среди горнодобывающих предприятий стали эксплуатировать гидравлические экскаваторы. В настоящее время в угольной промышленности в

целом эксплуатируется порядка 40 % гидравлических экскаваторов в разрезе предприятий, ведущих разработку полезных ископаемых открытым способом [3, 77].

Доли экскаваторов по классам в зависимости от единичного объема ковша, поставленных на угольные разрезы, представлены на рисунке 1.23.

Угольные разрезы единственные в горной промышленности имеют опыт эксплуатации гидравлических экскаваторов с ковшами 40-42 м³. Это модели РС 8000 производства Komatsu. Данные машины были поставлены в период с 2005 по 2013 гг. на разрезы Нерингринский (Якутуголь) и Березовский (Стройсервис).

1.1.3 Применение экскаваторов на карьерах по добыче горнохимического и нерудного сырья

К данной отрасли отнесены предприятия по добыче апатит-нефелиновых руд, фосфатов, алмазов, асбеста, щебеночные карьеры. Следует отметить, что все карьеры по добыче горнохимического и нерудного сырья находятся на территории России.

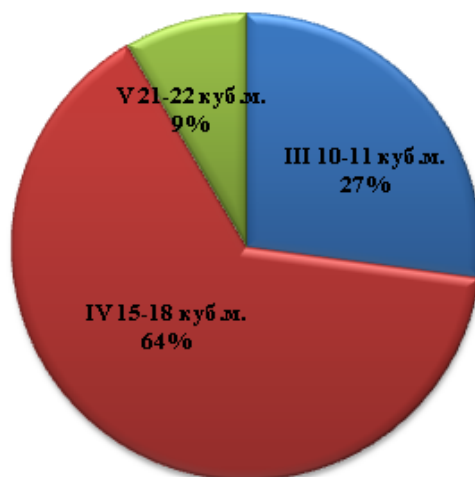


Рисунок 1.24 - Распределение потребления гидравлических экскаваторов предприятиями по добыче горнохимического и строительного сырья по классам

Наиболее крупные предприятия из них: АК «Алроса» (ПАО), АО «Апатит», АО «Североалмаз», АО «Мордовцемент», АО «Северо-Западная фосфорная компания», ПАО «Ураласбест».

На вышеперечисленные карьеры поставлено 59 гидравлических экскаватора с ковшами от 10 м³.

Экскаваторы с объемом ковша 15-18 м³ (рисунок 1.24) на карьерах по добыче горнохимического и нерудного сырья являются наиболее востребованными с точки зрения эффективности ведения горных работ (необходимость селективной выемки и мобильности) и существующей структуры парка автосамосвалов. В среднем ежегодно на карьеры отрасли поставляется по 3 экскаватора данного класса [74, 75, 76].

Экскаваторов с ковшом 21-22 м³ поставлено пять единиц на карьер АО «Апатит», из них по машине PC 4000 и EX 3600 в 2013 году, и сразу 3 модели CAT 6040 в 2020 году.

1.1.4 Применение экскаваторов на карьерах по добыче золота

Суммарно страны постсоветского пространства являются одним из мировых лидеров по добыче золота. Так Россия – один из мировых лидеров золотодобывающей отрасли. Общемировые запасы золота – 50-63 тыс.т., по их размеру Россия занимает 1-3 место в мире (5-7,5 тыс.т. или 10-12 %) в зависимости от методики оценки запасов. Узбекистан, по информации Государственного комитета по геологии и минеральным ресурсам (Госкомгео), входит в число мировых лидеров по запасам и ресурсам золота (4-е место в мире). Казахстан входит в число 16 стран, обладающими крупными запасами золота [53, 54, 55]

Всего на карьеры по добыче золота в период 2005-2020 гг. поставлено 98 карьерных гидравлических экскаватора с ковшами от 10 м³. В количественном выражении наиболее востребованными являются экскаваторы класса 15-18 м³ – модели CAT 6030, EX 2600, PC 3000 и R 9250 (рисунок 1.25), что составляет 45 % общего количества экскаваторов для золоторудных карьеров.

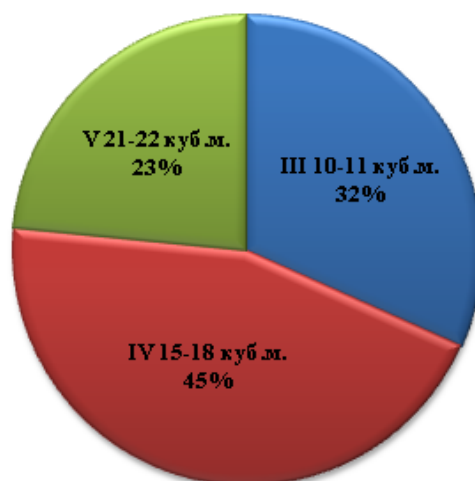


Рисунок 1.25 - Распределение потребления гидравлических экскаваторов предприятиями по добыче золота по классам

Экскаваторов класса 10-11 м³ – модели CAT 6018, EX 1900, PC 2000 и R 994, поставлено в количестве 31 ед., что составляет 32 %. Экскаваторов с ковшом 21-22 м³ – модели CAT 6040, EX 3600, PC 4000 и R 9400, поставлено 23 ед. (23 %).

1.1.5 Применение экскаваторов на карьерах по добыче меди и других цветных металлов

За период 2005-2020 гг. на предприятия по добыче меди и других цветных металлов (за исключением золота) поставлено 46 единиц карьерных гидравлических экскаватора с ковшами от 10 до 22 м³.

Так как карьеры по добыче меди в странах постсоветского пространства в сравнении с золоторудными имеют меньшие объемы экскавации горной массы, что характеризует эффективность эксплуатации экскаваторов с ковшами до 8 м³, соответственно меньшую востребованность карьерных экскаваторов с ковшами от 10 м³.

На предприятия по добыче руд цветных металлов (кроме золота) экскаваторов с ковшами 10-11 м³ поставлено двадцать две единицы, 15-18 м³ – десять единиц, 21-22 м³ – четырнадцать единиц. Среди моделей экскаваторного парка, которым присуща достаточно большая единичная мощность (от 21 м³) наиболее распространенной является EX 3600 производства Hitachi. Данных моделей на карьеры цветных металлов поставлено девять единиц [44].

В целом экскаваторы Hitachi составляют порядка 50 % гидравлических машин (рисунок 1.26) на карьерах по добыче цветных металлов.

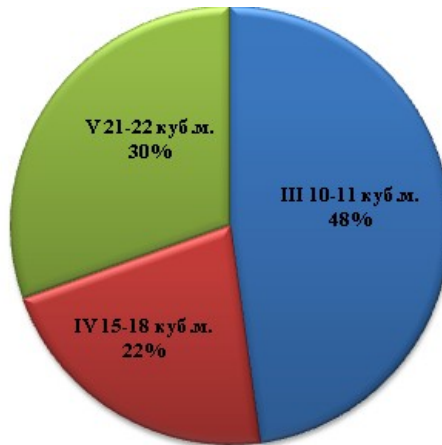


Рисунок 1.26 - Распределение потребления гидравлических экскаваторов предприятиями по добыче меди и других цветных металлов по классам

1.2 Анализ электрических карьерных экскаваторов, применяемых на горнодобывающих открытых работах в России и странах СНГ

ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» и ПАО «Уралмашзавод» на сегодняшний день являются лидерами и главными поставщиками «УЗТМ - КАРТЭКС», а так же это основные поставщики карьерных электрических экскаваторов для горнодобывающих работ в минерально-сырьевом комплексе на территориях Российской Федерации и стран СНГ [22, 23, 24].

Самый масштабный и главный парк карьерных электрических экскаваторов предприятий минерально-сырьевого комплекса России и стран СНГ представлен экскаваторами отечественного производства ИЗ-КАРТЭКС: ЭКГ-10 и ЭКГ-15 вместимость ковша которых составляет 8–15 м³; ЭКГ-12К у которого вместимость ковша 6–16 м³, ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К с ковшами вместимостью 14–26 м³, ЭКГ-32Р и ЭКГ 35К с ковшами вместимостью 20–45 м³, ЭКГ- 50 вместимость ковша которого составляет 45–70 м³.

Из сложившейся ситуации очевидно, что на горнодобывающих предприятиях России и стран СНГ применяются преимущественно карьерные электрические экскаваторы от отечественных поставщиков и производителей.

1.2.1 Применение электрических карьерных экскаваторов ЭКГ типа на горнодобывающих открытых работах России и стран СНГ

Карьерные электрические экскаваторы ЭКГ типа представляет из себя однокорпусную, полноповоротную, электромеханическую горную машины, действия которой прерывно (циклические).

Рабочим оборудованием экскаватора ЭКГ является «прямая механическая лопата», рассчитанная на копанье грунтов, которые находятся выше уровня стоянки экскаватора. Экскаваторы серии ЭКГ маневренные и имеют несложное управление [11, 16].

Экскаваторы серии ЭКГ-5 (рисунок 1.27) выпускаются и в настоящее время.



Рисунок 1.27 – Карьерный электрический экскаватор серии ЭКГ-5

Экскаваторы ЭКГ с емкостью ковша от 8м³ до 10м³. В группе экскаваторов ЭКГ-8 всего одна модель - ЭКГ-8И (рисунок 1.28). Машина оснащается ковшами:

Экскаватор ЭКГ-8И имеет привод мощность 520 кВт и эксплуатационную массу 373 т.

Еще один экскаватор ЭКГ-8УС является модификацией ЭКГ-10. Данное горнодобывающее оборудование оснащено удлиненной стрелой для погрузки породы на уровне стоянки транспортной техники. ЭКГ-8УС предназначен также для отработки уступов большой высоты [82].



Рисунок 1.28 – Карьерный электрический экскаватор серии ЭКГ-8

Экскаваторы серии ЭКГ-10 оснащают ковшами объемом 10м^3 (рисунок 1.29). В основную линейку входит три модификации: ЭКГ-10, ЭКГ-10Р, ЭКГ-10М.



Рисунок 1.29 – Карьерный экскаватор ЭКГ-10 на Коршуновском железорудном карьере

Предприятие «УЗТМ - КАРТЭКС» ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», являясь разработчиком стратегии эксплуатации и развития горных машин, создали и обосновали производство новой линейки карьерных

электрических экскаваторов, содержащей четыре типоразмерные группы. Данное предложение представлено на рисунке 1.30.

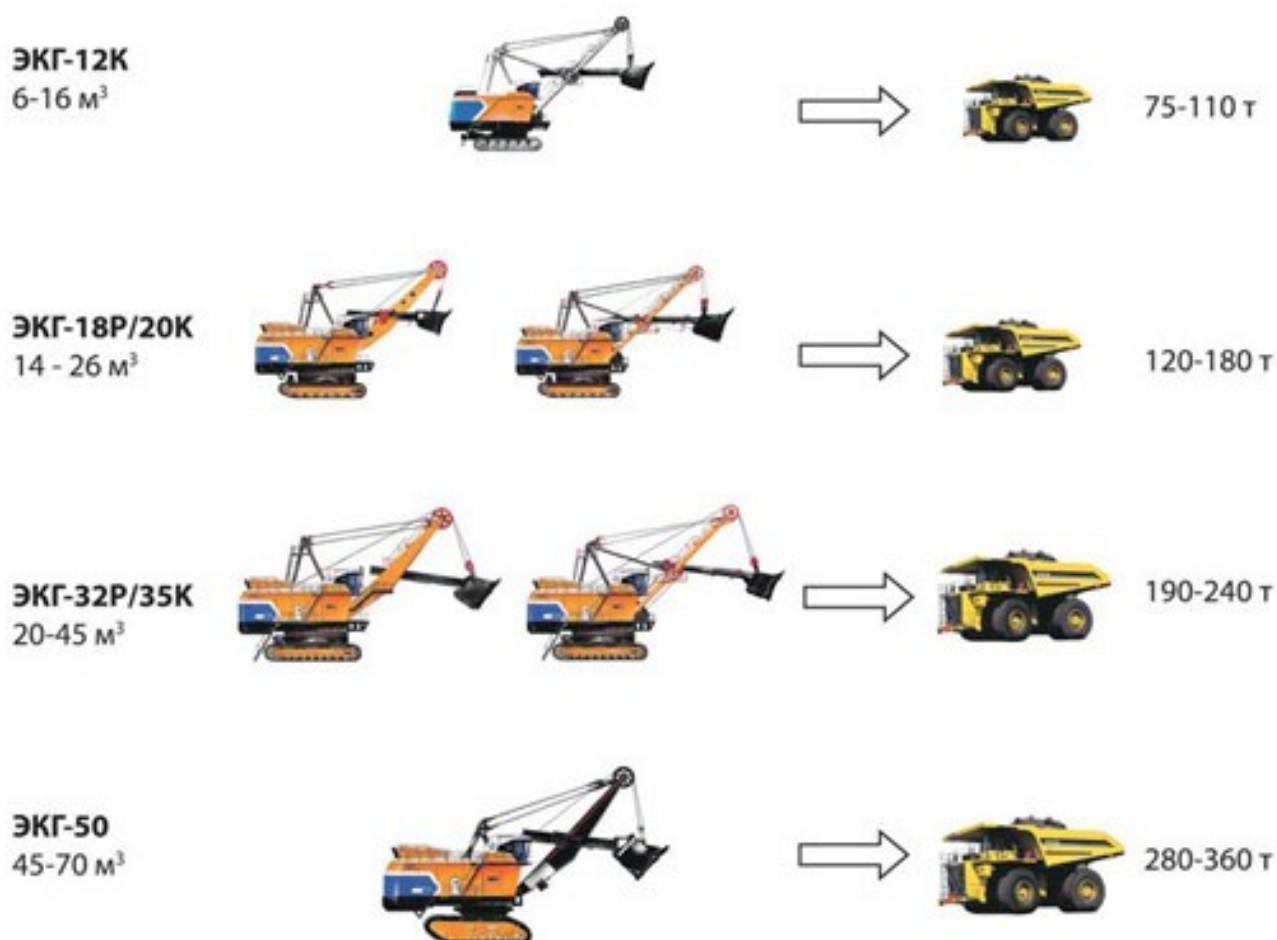


Рисунок 1.30 – Новая линейка карьерных электрических экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» [69]

Таким образом, линейка особо тяжелых машин ЭКГ начинается с экскаватора ЭКГ-12. Данная техника предназначена для разработки открытых карьеров и оснащена независимым приводом хода. Эксплуатационная масса машины составляет 668 т. Объем стандартного ковша равняется 12 м³. Такой экскаватор может разрабатывать горные породы в радиусе 21 м на уровне стоянки [23, 26, 69].



Рисунок 1.31 – Карьерный экскаватор ЭКГ-12К на Оленегорском железорудном карьере

Экскаватор ЭКГ-15 (рисунок 1.32) оснащен увеличенным ковшом. Базовая модель ЭКГ-15 предназначена для работы с горными и вскрышными породами. Экскаваторы ЭКГ-15 оснащаются ковшами вместимостью 15 м³.



Рисунок 1.32 – Карьерный электрический экскаватор серии ЭКГ-15

В 2010–2011 гг. две машины ЭКГ-18Р (рисунок 1.33) были введены в эксплуатацию [19].

Затем были разработаны экскаваторы ЭКГ-20. Данная машина оснащается ковшом объем которого 20 м³ и предназначен для работы в суровых и особенно тяжелых и трудных условиях.



Рисунок 1.33 – Карьерный экскаватор ЭКГ-18Р

Такое горнодобывающее оборудование находит свое применение в минерально-сырьевом комплексе для разработки скальных пород в температурных условиях достигающих $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ и с рабочей массой до 1050 т.

В 2011 г. холдингом ОАО «Объединенные машиностроительные заводы» был представлен самый мощный по характеристикам карьерный электрический экскаватор в отечественном машиностроении – это ЭКГ-32Р (рисунок 1.34).



Рисунок 1.34 – Карьерный экскаватор ЭКГ-32Р

Вместимость ковша ЭКГ-32Р может включать в себя до 32 м^3 , а сменные ковши данного типа экскаватора включают в себя $25\text{-}42\text{ м}^3$.

Учитывая выше сказанное, можно считать, что экскаваторы ЭКГ-12К, ЭКГ-18Р, ЭКГ-32Р сегодня являются одними из наиболее эффективных моделей российского экскаваторостроения [15, 17].

1.2.2 Особенности производственной эксплуатации экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К

Унифицированный экскаватор ЭКГ-18Р/20К является первым российским экскаватором, спроектированным полностью на базе новейших технологий 3D-проектирования (Рисунок 1.35) предназначен для выемки и погрузки скальных, полускальных и рыхлых горных пород в минерально-сырьевом комплексе [12, 32, 61, 62].

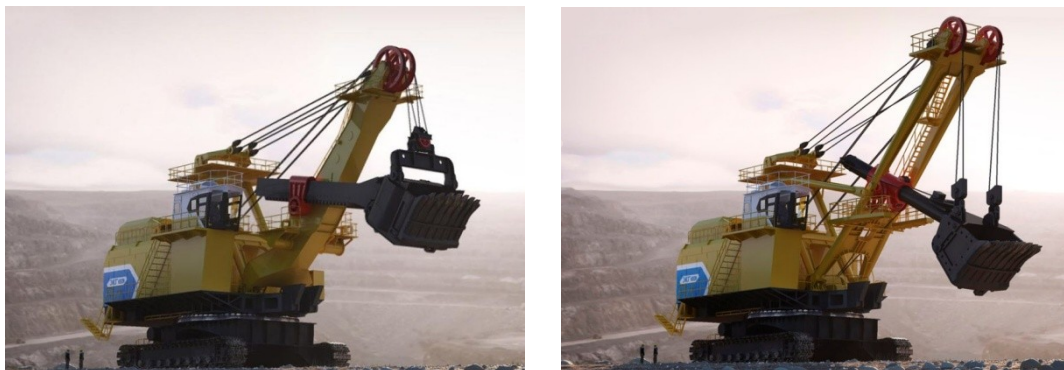


Рисунок 1.35 – Карьерные экскаваторы ЭКГ-18Р (слева) и ЭКГ-20К (справа)

На экскаваторе установлена автоматическая централизованная система смазывания (АЦСС) фирмы LINCOLN (ныне SKF) (рисунок 1.36).



Рисунок 1.36 – автоматическая централизованная система смазывания

1.3 Систематизация причин отказов карьерных экскаваторов серии ЭКГ

На сегодняшний день уровень развития горнодобывающей техники предъявляет высокие требования к надежности и эффективности горнодобывающих ма-

шин и оборудования. Повысить его надежность можно путем выявления и предотвращения причин отказов горнодобывающего оборудования, работающего в сложных горно-геологических условиях карьеров, неблагоприятных погодных воздействиях, на фоне высоких динамических и статических нагрузок на рабочее оборудование, а также своевременным и качественным проведением мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин [5, 25, 59].

Время устранения последствий внеплановых остановов в зависимости от тяжести последствий отказов в сложившейся ситуации определяется сложностью работ по восстановлению работоспособного состояния, ремонтной технологичностью отказавшего узла или элемента, уровнем обеспечения ЗИП, механизацией ремонтных и регламентных работ. При этом при систематизации отказов их разделяют на три группы: отказы, связанные с механической системой экскаватора, его электрической системой и работами по наладке приводов.

Так, при анализе работы, например, роторных экскаваторов АО «УК «Кузбассразрезуголь» выявлено, что до 14 % приходится на плановые технические обслуживания и ремонты, при этом коэффициент использования календарного фонда времени не превышает 0,65 при плане 0,69. В тоже время, простои экскаваторов во внеплановых ремонтах обусловленных отказами механической части составляют более 50 % от числа всех аварийных отказов [35].

На рисунке 1.37 представлена диаграмма Парето по отказам механической части экскаватора.

Из диаграммы видно, что треть отказов связана с отказами механизма хода экскаватора, что является специфической особенностью ЭКГ. Подобные отказы следует отнести к разряду конструктивных. Примерно одинаковый уровень надежности имеют механизм подъема, опорно-поворотное устройство, механизм напора. Отказы этих элементов системы обусловлены с возникновением сверх нормативных нагрузок при работе экскаватора, связанные с тяжелыми горно-геологическими условиями, подготовкой забоя и работой машиниста экскаватора, не достаточностью смазки подвижных сопряжений механизмов. Как следствие

присутствует интенсивный износ деталей приводов, излом зубьев зубчатых передач [35].

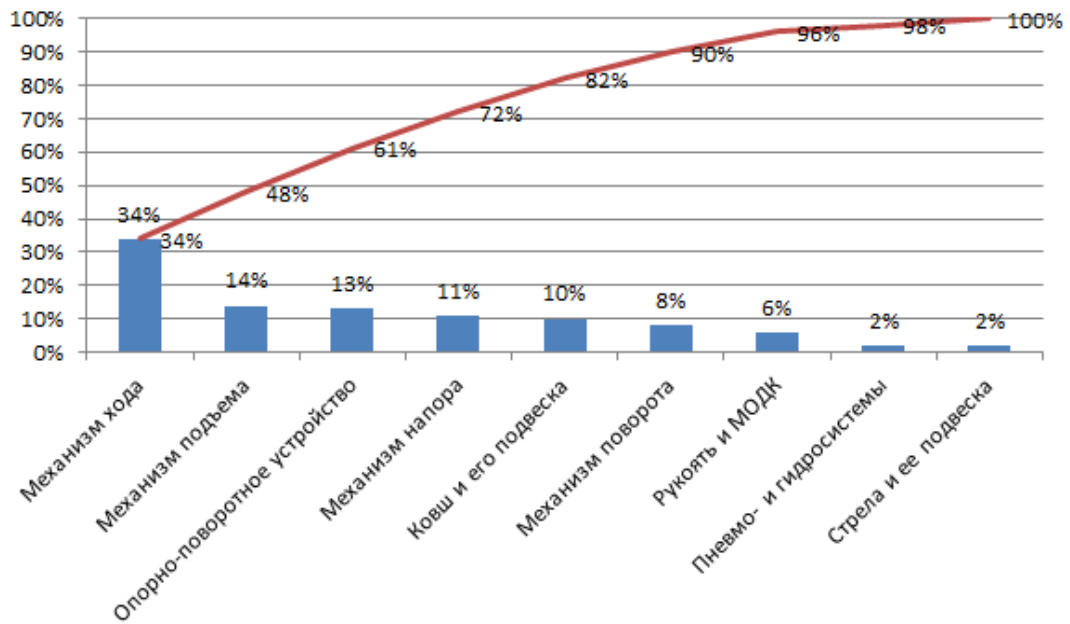


Рисунок 1.37 – Диаграмма времени простоев экскаваторов по причине отказов элементов механической системы

Процесс изнашивания, является ведущим деградиационным процессом приводов экскаваторов. Примерно до 79 % всех отказов горной техники связано с процессом изнашивания электромеханического оборудования. Возникающий в процессе эксплуатации износ контактирующих между собой элементов сопровождается повышенным уровнем вибрации, что еще более активизирует этот деградиационный процесс, сопровождающийся: ростом дисбаланса ротора; расцентровкой валов агрегатов и механизмов; ослаблением посадок, изменением формы и размеров подвижных соединений, и в частности зубчатых передач, недопустимыми перекосами опор; повышенным износом других ресурсопределяющих трибосопряжений как трансмиссий, так и кинематических пар конструкции горных машин в целом. трансмиссий. В настоящее время развиваются новые, приемы повышения ресурса, надежности, работоспособности изношенных машин и оборудования [30, 35].

С целью обеспечения высокого уровня надежности и ремонтпригодности экскаваторов мехлопат был проведен сбор статистических данных по узлам и аг-

регатам, вышедшим из строя в период с 2016 г. по 2021 гг. и установлено, что наиболее слабым местом является трансмиссия. Диаграмма Парето внеплановых простоев экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К представлена рисунке 1.38.

Естественные деградационные процессы интенсифицируется: увеличением зазоров подвижных соединениях, расцентровкой и увеличением эксцентриситета валов, изнашиванием элементов зубчатых передач, других ресурсопределяющих деталей и узлов трансмиссий горных машин [29, 37].

По литературным источникам и данным предприятий была собрана и обработана информация об отказоустойчивости систем горных машин для открытых горных работ за период 2016-2021 гг. Анализом было выявлено, что в наибольшей степени подвержены отказам трансмиссии горных машин и, в частности, их опоры качения.

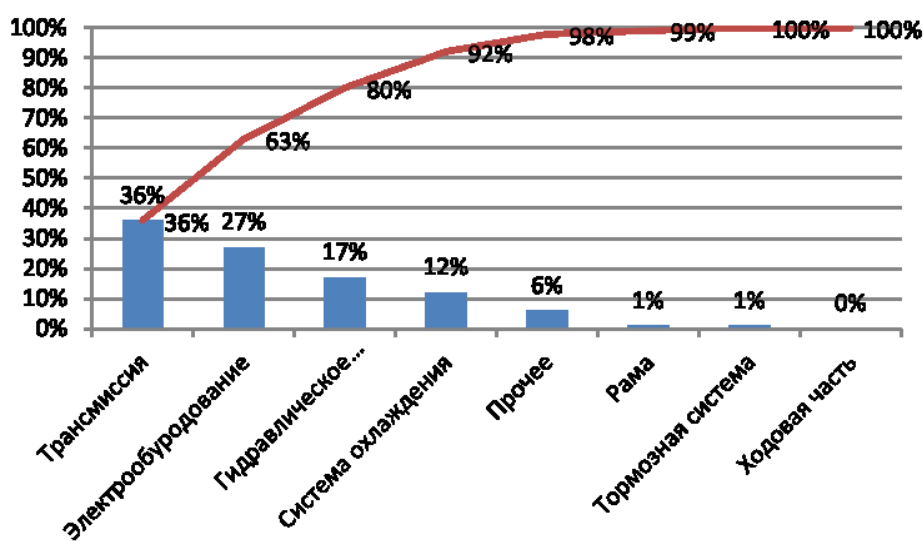


Рисунок 1.38 – Внеплановые простои экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К

Как правило, основной причиной выхода из строя подшипников трансмиссий (рисунок 1.39) являются высокие нагрузки в сочетании с недостатком смазки или ее загрязненностью, выступающей как отклонение от номинала состояния искусственной среды в которой и функционируют трансмиссии.



Рисунок 1.39 – Диаграмма причин отказов подшипниковых узлов экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К

Номинальными условиями функционирования трансмиссий карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К и в целом горных машин является наличие необходимого и достаточного количества лубриканта, его периодическая и своевременная сменяемость и соответствие смазочных материалов скоростным и нагрузочным условиям работы горных машин. Тип применяемого лубриканта подшипниковых узлов, имеет определяющее значение. При этом смазочную среду необходимо считать центральным элементом трибологической системы [41, 42]. И к ее выбору относятся с особым вниманием.

1.4 Применение автоматизированной централизованной системы смазывания на карьерных экскаваторах

Основные критерии качества карьерной техники – это надёжность, точность и эффективность. Чтобы помочь достижению соответствия этим требованиям, компания SKF разработала централизованные многоточечные системы смазки, способствующие эффективной работе машин при увеличении срока службы линейных направляющих и подшипников [45, 46]. На рисунке 1.40 представлен принцип работы АЦСС на карьерном экскаваторе.

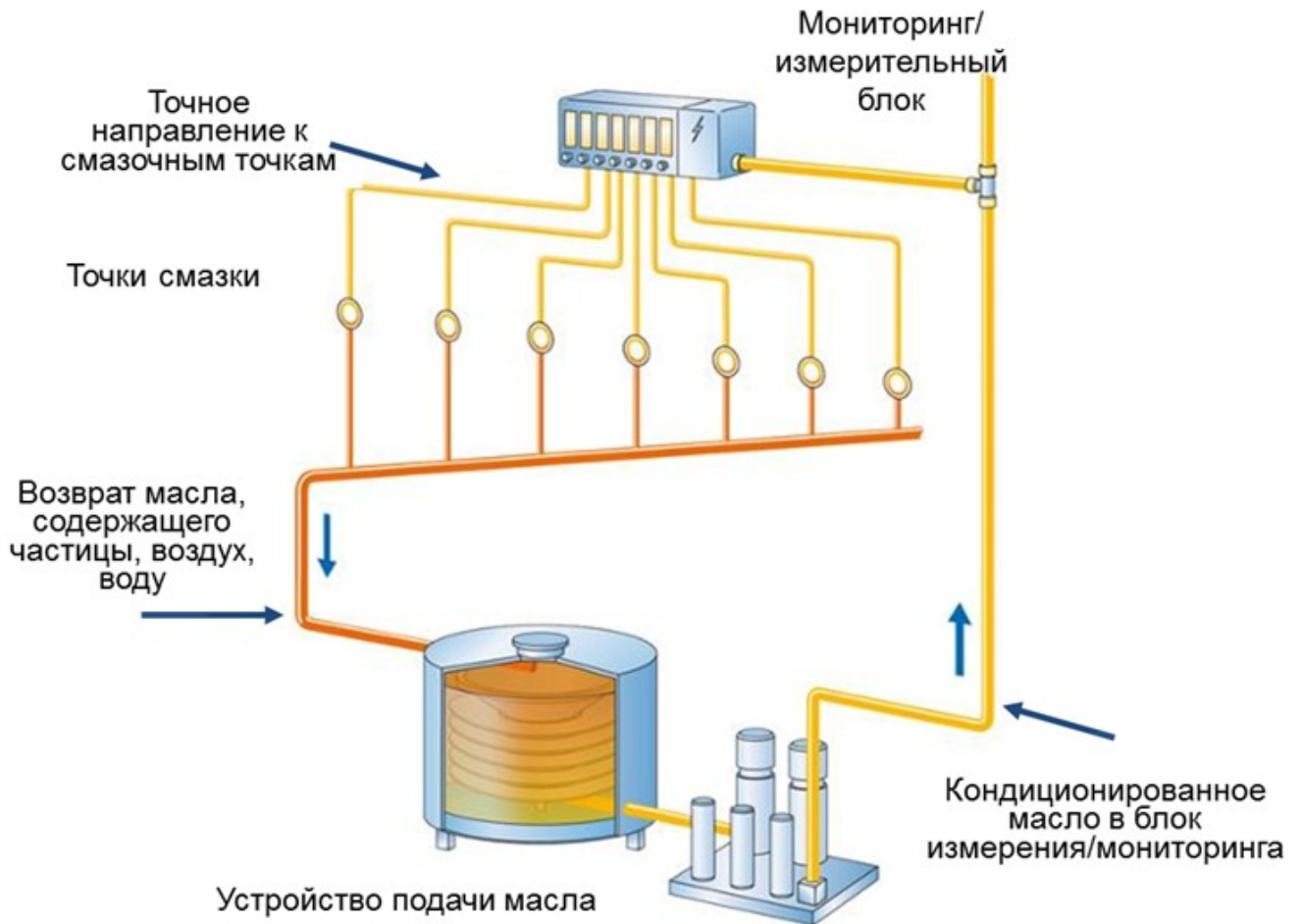


Рисунок 1.40 – Принцип работы АЦСС SKF на карьерном экскаваторе

В процессе эксплуатации необходимо использовать только чистую смазку. В противном случае, это может вызвать блокировку системы и привести к выходу из строя, смазываемых узлов.

Данные системы способны работать при низких температурах. Так по результатам тестовых испытаний была подтверждена работоспособность систем смазки при температуре до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В таблице 1.2 расписаны смазочные вещества, рекомендуемые компанией SKF и утвержденные заводом-изготовителем экскаватора ООО «ИЗ-КАРТЕКС», для систем автоматической смазки.

Таблица 1.2 - Смазочные вещества, рекомендуемые компанией SKF и утвержденные заводом-изготовителем экскаватора ООО «ИЗ-КАРТЕКС», для систем автоматической смазки

Наименование	t°С-режим	Примечание
Литол Ультра EP 2	от -25 до +5	ТУ 0254-002-15238210-2003
МеталлПлак С-EP 1	от -25 до +5	ТУ 0254-005-15238210-2003
МеталлПлак С-EP 0	от -30 до +5	ТУ 0254-005-15238210-2003
МеталлПлак С-EP 000	от -42 до +5	ТУ 0254-005-15238210-2003
МеталлПлак EP 000	от -30 до +5	ТУ 0254-005-15238210-2003
Смазка MC 1400 (НОРД)	от -53 до +90	ТУ 0254-028-45540231-2007
Смазка MC 1410 (НОРД)	от -35 до +90	ТУ 0254-028-45540231-2007
Смазка MC 1420 (НОРД)	от -25 до +90	ТУ 0254-028-45540231-2007
Смазка MC 1430 (НОРД)	от -20 до +5	ТУ 0254-028-45540231-2007
SHELL Darina XL 102 Moli	от -35 до +35	-
SHELL Malleus GL 205/500	от -15 до +45	-
SHELL Alvania EP Arctic Moly	от -50 до +80	-
ADDINOL Longlife Grease HS 2	от -48 до +140	синтетическая низкотемперат
ADDINOL Arctic Grease XP 2	от -40 до +100	синтетическая низкотемперат
ADDINOL Supertemp XHT 2 EP	от -35 до +150	синтетическая низкотемперат
ADDINOL EP Mehrbereichsfett LM 2 EP	от -27 до +130	минеральная
ADDINOL Combiplex OG 0,5	от -30 до +140	минеральная
ADDINOL Fliessfett LIC 000	от -30 до +80	минеральная

Выбор подходящей пластичной смазки является особенно важным для работы подшипника. Причём определение оптимального количества смазочного материала так же важно, как расчёт точных интервалов повторного смазывания. Недостаточное или избыточное смазывание, а также неправильные методы смазывания могут сократить ресурс подшипника. Для решения этих задач компанией SKF были разработаны комплексные решения, обеспечивающие подачу точного количества смазочного материала, отсутствие посторонних частиц и исключение риска нарушения объема подаваемой смазки. Автоматические лубрикаторы и ручной инструмент SKF просты в использовании и обеспечивают регулярную и контролируемую подачу пластичной смазки в подшипниковые узлы. Кроме того, авто-

матическое повторное смазывание позволяет избежать загрязнения подшипника. SKF подразумевает применение 2 автоматических лубрикаторов SKF SYSTEM 24 и SKF MultiPoint, которые обеспечивают надёжную и дозированную подачу пластичной смазки в подшипниковые узлы 24 часа в день, 7 дней в неделю, 52 недели в году, если потребуется [48, 56].

Управление насосами АЦСС происходит как в автоматическом режиме, так и в ручном (толчковом) режиме.

Для обеспечения нормальной работоспособности системы рекомендуется раз в смену производить визуальный контроль срабатывания распределителей. Проверка производится по следующим показателям:

- наличие смазки под предохранительными клапанами;
- движение контрольного штифта распределителя;
- наличие смазки на нижнем рельсе.

Появление смазки из предохранительного клапана или контрольный штифт у любого из распределителей не перемещается во время работы насоса, говорит о том, что система заблокирована.

Емкость насосов необходимо заполнять только чистой смазкой. Категорически запрещается использовать подручные средства (палочки и т.п.), которые могут засорить смазку.

Попадание в смазку даже очень мелких частичек грязи, приведет к заклиниванию насосных элементов и распределителей, плунжерные пары которых притерты между собой с зазором 2-3 мкм.

1.5 Стратегии и системы технического сервисного обслуживания и ремонта горных машин

1.5.1 Стратегии и системы технического обслуживания карьерных экскаваторов

Несмотря на применение дорогостоящих систем диспетчеризации и мониторинга технического состояния оборудования горные предприятия продолжают

применять малоэффективную стратегию технического обслуживания оборудования по факту отказа или, так называемое, реактивное обслуживание (*Run-to-Failure (RTF)* или *Run-to-Breakdown (RtB)*). Данная стратегия выглядит привлекательной применительно к оборудованию, отказы которого не вызывают существенных последствий и опасных ситуаций, а проведение работ по восстановлению сравнительно малозатратно.

Общепринятой базовой стратегией обслуживания оборудования на данный момент является предупредительное обслуживание или *Preventive Maintenance (PM)* основанное на планировании обслуживания по наработке или календарным интервалам времени, а момент проведения мероприятий ТОиР выбирают по достижении некоторого времени наработки (*Time-Based Maintenance (TBM)*), рекомендованного производителем оборудования с учетом практики его использования в конкретных условиях эксплуатации. В рамках этой стратегии активно внедряются современные автоматизированные системы управления ТОиР, такие как CMMS- и EAM-системы (*CMMS – Computerized Maintenance Management System, EAM – Enterprise Asset Management*). Однако несмотря на популярность данной стратегии она имеет существенные недостатки – ресурсоемкость и затратность. Применение таких систем существенно сокращает доступное время производительной работы оборудования, возрастают затраты его обслуживания при сохранении рисков отказов [65, 67].

Наиболее прогрессивной является стратегия обслуживания по фактическому техническому состоянию (*Condition-Based-Maintenance (CBM)*) основная цель которой является минимизировать число отказов и продолжительность устранения их последствий проведением профилактических и ремонтных работ по результатам диагностики технического состояния объекта. В основу *CBM* заложены принципы бережливого производства (*Lean Production*), направленные на устранение всех видов материальных и нематериальных потерь. Однако обслуживание по фактическому состоянию трудно реализуемо из-за сложности эффективных систем диагностики, планирования ремонтных работ, значительных затрат на при-

борную базу, системы обработки информации, обучение персонала, включенности руководства в реализацию таких систем [2].

К отдельному виду стратегий обслуживания относятся целый ряд систем представляющие собой комбинации принципов, характерных для выше представленных стратегию. Так в рамках этой комбинированной стратегии успешно применяются такие системы как *RCM* (Reliability-Centered Maintenance) – надежность-центрированная система предупреждения отказов и *RCM II* (Risk-Based Maintenance) – система оценки и сопоставления допустимых рисков и снижения их последствий. Последняя исповедует принцип проведения соответствующих мероприятий ТОиР либо отказ от их проведения сравнением потерь от выявленных рисков, с затратами на проведение профилактических ремонтных мероприятий.

В основу этих систем заложены принципы комплектности и своевременности поставок, четкости организации работ и пошаговое выполнение технологических операций ТОиР при фиксировании этих работ и контроле качества их выполнения. В этих принципах организации систем как их достоинства, так и уязвимость в случае возникновения сбоев, поэтому основная задача дальнейшего совершенствования систем ТОиР при совершенстве технической составляющей сводится к сведению к минимуму таких сбоев. Такая система сервиса должна опираться не только строгую техническую процедуру, но и на добросовестное выполнение предусмотренных технологическим процессом операций ТОиР, например, система *CM&R* (Conscientious Maintenance and Repair) [57].

Изменение технического состояния экскаватора, как это указывалось выше, можно представить, как эргатическую систему, с субъектами в виде деградиационного процесса выработки ресурса экскаватора, как объекта воздействия, приближающего его к предельному состоянию и антидеградационного процесса, направленного на поддержание горной машины в работоспособном состоянии [57]. Общая схема воздействующих факторов на рассматриваемый объект в рамках этих двух противоположно направленных процессов представлена на рисунке 1.41.

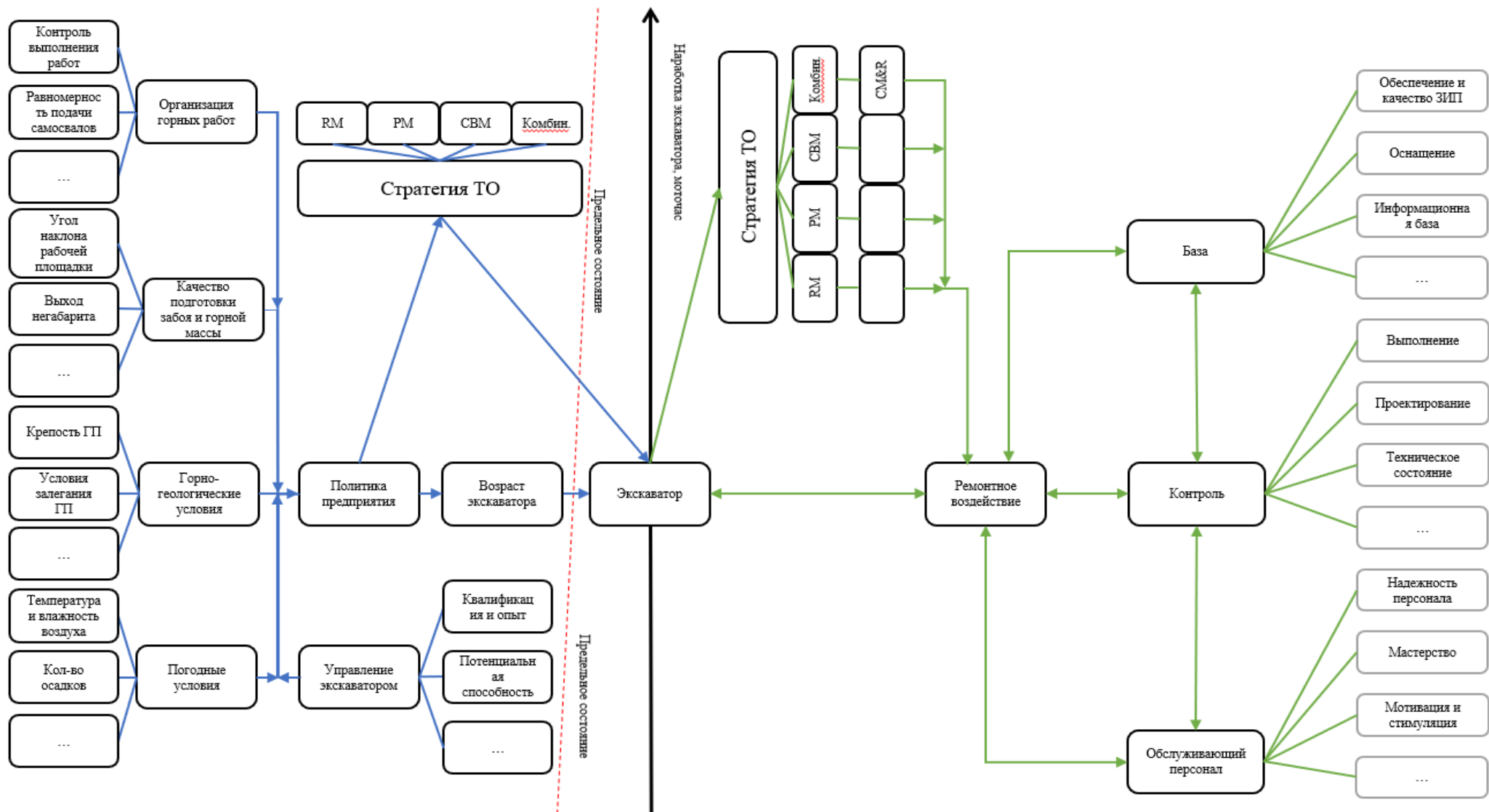


Рисунок 1.41 – Эргатическая система карьерного экскаватора

1.5.2 Деградационные факторы

Для экскаватора наиболее предпочтительным является измерение наработки в единицах товарной продукции, то есть в кубических метрах экскавированной и погруженной горной массы, точность такой оценки наработки определяется системой контроля диспетчеризации на предприятии.

С увеличением суммарной наработки уровень технического состояния экскаватора под действием процессов естественного старения и изнашивания стремиться к предельному состоянию, когда невозможно или не целесообразно осуществлять дальнейшую эксплуатацию горной машины.

На схеме граница такого состояния показана наклоненной к вертикали пунктирной линией, в пределе приближающейся к оси суммарной наработки экскаватора, установленной строго вертикально, и пересекающей ее.

Интенсивность выработки ресурса и, соответственно, интенсивность технического старения, при прочих равных условиях, определяется загрузкой оборудования. Степень загрузки которого устанавливается в соответствии с «Технической политикой» предприятия, его потребностями и состоянием рынка товарной продукции на котором данное предприятие присутствует.

На интенсивность деградационных процессов старения и изнашивания оборудования и, как следствие, его технический возраст в конкретный момент времени периода эксплуатации, оказывают факторы как природно-техногенного воздействия: горно-геологические и горнотехнические, погодно-климатические, качество подготовки забоя и горной массы, так и организационно-эксплуатационные факторы – управление экскаватором и организация ведения горных работ [57].

Как альтернатива деградационным факторам выступает «Стратегия ТОиР» и процессы ею формируемые, носящие по своей природе антидеградационный позитивный характер, направленные на восстановление ресурса, снижения интенсивности процессов старения и изнашивания, устранения последствий отказов и повреждений, апокатастасис технического состояния.

1.5.3 Рекомендации по продолжительности и трудоемкости ТО и Р карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К

Для того, чтобы дать оценку остаточного ресурса карьерного экскаватора рекомендуется следовать и учитывать, приведенные ниже рекомендации по продолжительности и трудоемкости ТОиР [6].

Структура ремонтного цикла экскаватора приведена в таблице 1.3.

Таблица 1.3 – Структура ремонтного цикла карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К.

Вид ТОиР	Условное обозначение	Периодичность			Трудоемкость, чел-ч*	Простой машины в обслуживании и ремонтах, ч
		При достижении наработки, млн. м ³	месяцев	часов		
Ежесменное обслуживание	ТО _{см} **	-	-	-	1	0,5÷1
Ежемесячное обслуживание	ТО _м	-	1	500÷600	96	24
Сезонное обслуживание	ТО _с	-	6	3000÷3600	96	24
Текущий ремонт первый (квартальный)	ТР1	-	3	1500÷1800	300	60
Текущий ремонт второй (полугодовой)	ТР2	-	6	3000÷3600	600	96
Текущий ремонт третий (годовой)	ТР3	1,8	12	6000÷7500	1600	240
Капитальный ремонт	К	18	120	60000÷75000	15000	2400
Капитальный ремонт электрической части	К _{эл}	9	60	30000-36000	1500	360

* Без учета трудоемкости и времени на оргработы (подготовка фронта работ. транспортирование материалов и т.п.).

** $TO_{см}$, как правило, совмещается с временем приема-сдачи смены, либо с вынужденными простоями в течение смены.

Разработка нормативов $TOиР$ выполняется на основании расчетных ресурсов основных узлов экскаватора. Коэффициенты условий эксплуатации и их значения представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 - Коэффициенты условий эксплуатации карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К.

Группа условий	Условия эксплуатации	Значения коэффициентов
А	Мягкие и плотные породы I и II категорий, допускающие экскавацию непосредственно из целика без применения взрывных работ	0,8
Б	Полускальные породы III категории, требующие частичного рыхления для обеспечения экскавации	1,0
В	Скальные породы IV категории, экскавация которых возможна только после сплошного рыхления взрыванием	1,2
Г	Скальные породы IV и V категорий, плохо поддающиеся рыхлению	1,5

Содержание каждого ремонта окончательно устанавливается по результатам диагностики, а также в процессе проведения дефектации оборудования и определяется состоянием отдельных деталей и узлов (сборочных единиц).

1.5.4 Интенсивность деградационных и антидеградационных процессов

Рассмотрим подробнее перечисленные сначала деградационные факторы. Основным, определяющим наработку машины, является технический возраст экскаватора. Как показывает анализ литературных источников [60, 63] с увеличением срока службы годовая наработка экскаваторов, независимо от модели и завода-изготовителя, имеет тенденцию к снижению. Что связано с увеличением плановых и неплановых ремонтных простоев экскаватора. Используя предложенный в работе [7] алгоритм и разработанную авторами программу оценим весомость вы-

шеперечисленных факторов. Так, коэффициент деградационных процессов по фактору технический возраст при его отклонении от номинала на 10 % составляет $K_{ДТВ}=1,02$ и имеет максимальное значение 1,9 для технического возраста экскаватора в 14 лет.

Политика предприятия, являясь сложной функцией, определяет не только фактически достижимые параметры экскавации, но и учитывает внешние условия его работы: наличие объемов для работы экскаватора, возможности складирования и потребления выходного продукта, корректность подбора экскаваторно-автомобильного парка и другие условия работы напрямую не связанные с состоянием работоспособности экскаватора, но существенно влияющих на его техническое состояние и фактическую производительность.

Коэффициент деградационных процессов горно-геологического и горнотехнического фактора влияния при его отклонении от номинала, соответствующего III группе пород, на 10 % составляет $K_{ДГГ}=1,1$ и при максимальном значении 1,5 для V группы пород. [7]

В свою очередь, коэффициент деградации для погодно-климатического фактора при его отклонении от номинала, соответствующего индексу погоды равного 25, на 10 % составляет $K_{ДПИ}=1,01$ и при максимальном значении 1,11 для индекса погоды равного 91, характерного для северных регионов страны. При учете климатического фактора наибольшее влияние оказывают: солнечная радиация, низкие и высокие температуры, влажность воздуха, скорость ветра, влага в виде осадков и тумана, метели, снежные бури и др. Изменения свойств материалов горной машины зависят также от интенсивности и продолжительности воздействия перечисленных факторов и их сочетания [8].

Качество подготовки забоя и горной массы влияют на силу сопротивления копанию, которая в свою очередь является основной причиной отказа рабочего оборудования. Коэффициент деградации для фактора, характеризующего подготовку горной массы и забоя при его отклонении от номинала, соответствующего проценту негабарита равного 2 % и угол наклона площадки 5 градусов, на 10 %

составляет $K_{Дми}=1,02$ и при максимальном значении 1,21 для 10 % негабарита и наклоне площадки в семь градусов. С увеличением выхода негабарита количество отказов увеличивается по экспоненциальному закону.

Фактор управление экскаватором существенно зависит от надежности управления, опыта и навыков машиниста. Коэффициент деградации для этого фактора, при его отклонении от номинала, соответствующего стажевой группе с опытом работы более 10 лет на 10 % составляет $K_{Дм}=1,2$ при максимальном значении 1,9 для машиниста с опытом работы в один год [6].

Организационный фактор влияет на работоспособность экскаватора, с точки зрения организации ведения горных работ, в основном оказывает интенсивность производственной загрузки оборудования, отражающейся на скорости деградационных процессов. Под интенсивностью работы карьерного экскаватора понимают такие организационные мероприятия как: обеспечение периодичности взрывных работ, ритмичность подачи транспорта, количество перегонов экскаватора, расстояние перегона и прочие мероприятия. Потери рабочего времени, связанные с организацией работ, компенсируют интенсификацией работы оборудования для выполнения заданного объема работ, что ведет к увеличению скорости деградационных процессов. Коэффициент деградации для этого фактора, при его отклонении от номинала, соответствующего 12 % непроизводительных потерь рабочего времени в 10 % составляет $K_{Дорг}=1,18$ при максимальном значении 1,46 для 26 % потерь рабочего времени, связанных с организацией ведения работ.

Антидеградационные процессы не компенсируют суммарного влияния природно-техногенных и технико-организационных факторов, но способны значительно их затормозить. Так принятая стратегия технического обслуживания, подразумевает под собой применение системы ТОиР, от совершенства применяемой системы будет зависеть $K_{Дстрг}$. Стратегия диктуется политикой компании и определяет совершенство эргатической системы, при изменении базовой стратегии эксплуатации Preventive maintenance, на стратегию Reactive maintenance составит $K_{Дстрг}=1,13$, применив комбинированную стратегию *CM&R* возможно достичь

$K_{\text{Дстрг}}=0,89$, при этом стратегия технического обслуживания, будет являться антидеградационным фактором [5].

От стратегии технического обслуживания зависит эффективность влияния фактора ремонтного воздействия на предмет воздействия, в данном случае экскаватор. В самом общем случае фактор ремонтного воздействия триедин и имеет три вектора, характеризующихся тремя составляющими технического обслуживания и ремонта: «База», «Контроль» и «Обслуживающий персонал». Первый вектор «База» определяет обеспеченность процесса ТОиР, например, качественным ЗИП, оснащенностью и наличием ремонтной базы, инструментом и приспособлениями, качественной документацией, уровнем разработанности операций технологического процесса ремонта и обслуживания и другое. Вектор «Контроль» определяет обратную связь любых процессов, связанных с технологией технического обслуживания и ремонтов, обусловлен уровнем и качеством проведения работ по выполнению операций технологического процесса ТОиР, контролем качества разработки документации, рекомендаций и контрольных операций.

Вектор «Обслуживающий персонал» определяет учет и подбор персонала для выполнения конкретных работ ТОиР, а именно отслеживание индивидуальных особенностей людей участвующих в проведении мероприятий ТОиР такие, как надежность персонала, мастерство и знания, и нацеленность на результат, подкрепленная мотивацией и т.д. Все эти три составляющих единого фактора ремонтного воздействия определяют совершенство системы технического обслуживания. Направленность и скалярная величина этих векторов для каждой системы индивидуальна, может совпадать или быть разнонаправленной, иметь значительную величину или быть нулевой в зависимости от применяемой системы, при этом итоговый коэффициент деградации ремонтного воздействия может быть, как больше, так и меньше единицы и иметь как деградационную, так и антидеградационную направленность.

Рассмотрим подробнее фактор ремонтного воздействия применительно к системе *CM&R* (Conscientious Maintenance and Repair – добросовестное техниче-

ское обслуживание). Система *CM&R*, реализуемая в рамках комбинированной стратегии ТО и Р, ставить целью достижение как минимум самоокупаемости мероприятий ТОиР, путем селекции технологий, базы их исполнения и самих исполнителей, фокусируя свое внимания на точном и ответственном исполнении ремонтных и профилактических работ при систематическом совершенствовании их перечня и регламентов, воспитании, обучении и переподготовке исполнителей для минимизации рисков отказов оборудования, их предупреждения и недопущения, создания условий для продолжительной и эффективной работы оборудования [3]. Эти проблемы с учетом теории ограничений заставляют предприятие искать системные решения, позволяющие повысить эффективность сервиса оборудования, применять мировоззренческие подходы для их реализации.

На рисунке 1.42 представлена схема последовательности процедур для выявления эффективных инструментов системы обслуживания



Рисунок 1.42 - Последовательность процедур при выборе системы обслуживания

Научно обоснованный выбор системы технического обслуживания начинается со сбора полной и достоверной информации о всем жизненном цикле оборудования. Применительно к карьерному экскаватору помимо паспортных данных о состоянии систем на момент начала эксплуатации необходима информация о

суммарной его наработке, за период эксплуатации, количество капитальных ремонтов, аварийных происшествий и т.д.

1.5.5 Выбор системы технического обслуживания и ремонта

На данном этапе уточняют номинальные и фактические условия эксплуатации для определения технического возраста экскаватора и коэффициента его деградации $K_{дтв}$. При необходимости проводят техническую диагностику машины.

Политика предприятия и цели руководства определяют границы и тенденции возможностей использования горной техники исходя из пожеланий и возможностей владельца относительно ее применения по назначению, включая планируемый период эксплуатации и обеспеченность ресурсами для этого. Именно на этом этапе определяется возможная стратегия и система ТОиР и оценивается ее потенциал.

На следующем этапе производят оценку факторов природно-техногенного воздействия и организационно-технического характера с определением соответствующих коэффициентов деградации. После получения соответствующих коэффициентов рекомендуется провести их ранжирование, например, по принципу Парето, сосредоточив внимание на основных факторах и предпринимая усилия для их нивелирования.

Для этого, с учетом пожеланий и возможностей останавливаются на одной из четырех стратегий и в ее рамках принимают приемлемую систему ТО и Р. После выбора системы обслуживания ее всесторонне описывают и фиксируют перечень необходимых мероприятий. Задачей этого этапа является понимание структуры и состава процесса апокатастасиса (восстановления) технического состояния, и описание применяемой системы ТОиР.

Фактор ремонтного воздействия показывает на сколько эффективна система обслуживания и уровень функционирования ремонтной службы. На этом этапе целесообразно применение комплексных показателей надежности K_r , ($K_{нт}$), $K_{ти}$, $K_{ог}$, $K_{эфф}$ в соответствии с ГОСТ Р 27.102-2021. Так же, такие показатели как: T_o –

среднее время между отказами и T_v – среднее время восстановления отражают успешность ремонтного воздействия [9].

Оценка риска отказа важный этап в реализации добросовестной системы обслуживания. Так же как система *RCM II*, система *CM&R* предполагает сопоставление допустимых рисков и снижение их последствий путем проведения соответствующих мероприятий. С этой целью экскаватор разделяют на подсистемы: Механизм подъема; Механизм поворота; Ходовая часть; Рабочее оборудование; Металлоконструкции; Силовое оборудование; Система управления. Для каждой подсистемы определяют риск отказа, оцениваются потери и возможные причины его возникновения. Для соотношения рисков отказа и факторов используя матрицу рисков [10].

Распределение зон внимания является задачей, определяющей приоритетные направления технического обслуживания и ремонта в зависимости от выявленных факторов и рисков.

Посредством определения приоритета выявляется потенциал системы ТОиР и необходимые требования для осуществления этого. Выявленный потенциал является амбициозной целью, базовая цель может быть равна или ниже выявленного потенциала, в зависимости от потребности и возможностей предприятия ответственного за техническое обслуживание и ремонт.

Направления, выявленные ранее, разбиваются на проекты для поддержания заданного уровня надежности, путем проведения мероприятий ТОиР. На каждый проект назначается один ответственный за внедрение и исполнение проекта и рабочая группа проекта, при этом в рабочую группу могут входить работники из различных отделов, осуществляющие различные функции и обладающими разными зонами ответственности. На этом же этапе лицом ответственным за внедрение проекта создается план-график внедрения проекта, при этом на каждый шаг реализации назначается ответственный из рабочей группы проекта.

В ходе реализации проектов рекомендуется применять инструменты бережливого производства (*Lean production*) такие как *Six Sigma*, *5S*, *TPM* и др. Исполь-

зование инструментов бережливого производства улучшит качество работы посредством сокращения потерь и простимулирует процесс постоянных улучшений [27].

Инструменты добросовестного влияния предполагают, с одной стороны, создание условий прозрачности процедур их контролепригодности и личной ответственности персонала за выполненную работу в тесной увязке с материальными и моральными поощрениями и с другой стороны – селекцию персонала под конкретные мероприятия ТОиР путем предварительного и промежуточного тестирования, обучения и формирования соответствующего мировоззрения.

Комплексное развитие и механизация производственных открытых горных работ по обогащению и развитию минерально-сырьевого комплекса подразумевает совокупность взаимодействий и синхронную работу многочисленных средств механизации оборудования, которые в половине случаев обладают достаточно сложной структурой, предъявляющей высокие требования к уровню надежности горных машин. Следствием низкого уровня надежности является интенсификация деградационных процессов, способствующих росту рисков аварийных отказов; незамедлительный рост трудоемкости ремонтных работ; резкий рост затрат на реализацию мер по их предупреждению и устранению последствий при неизменном подходе к восстановлению и поддержанию технического состояния оборудования в рамках традиционных и уже несколько устаревших простых (не комбинированных) систем технического обслуживания и ремонта горных машин.

Требуется свежий инновационный подход в отношении к выбору оптимальной и современной системы технического обслуживания, выступающей в роли фактора антидеградационного характера. К модернизированному и современному виду таких систем ТОиР относится целый их ряд, включающий комбинации подходов и приемов, которые характерны для выше, перечисленных простых стратегий. В рамках такого подхода успешно зарекомендовали себя такие системы ТОиР как *RCM* (Reliability-Centered Maintenance) – надежность-

центрированная система предупреждения отказов и *RCM II* (Risk-Based Maintenance) – система оценки и сопоставления допустимых рисков и снижения их последствий, которая исповедует принцип проведения необходимых процедур в рамках ТО и Р лишь в случае, если затраты на проведение профилактических ремонтных работ меньше чем потери от возможного отказа. Или система проактивного технического обслуживания – Proactive Maintenance Strategy, основанной на философии эволюционного развития дефектов с учетом влияния внешних и внутренних факторов, включая и человеческий. Снижение интенсивности развития деградиационных процессов отдельных элементов предполагает опосредованное положительное влияние на всю систему, а отказы рассматриваются как зависимые [9, 10].

Такие системы основаны на принципе комплектности и своевременности поставок, четкости организации работ и пошаговое выполнение технологических операций ТОиР при фиксировании этих работ и контроле качества их выполнения. В данных принципах заключается организация систем как их достоинства, так и уязвимость в случае возникновения сбоев, поэтому основная задача дальнейшего совершенствования такой системы ТОиР, которая при совершенстве технической составляющей предполагает минимизацию таких сбоев [3, 4].

1.5.6 Акустико-эмиссионный контроль при диагностике технического состояния

Одним из перспективных способов проведения диагностики технического состояния трансмиссий горных машин является акустический метод. Согласно ГОСТ 23829-85, акустические методы делят на две большие группы: активные и пассивные методы [49].

При шумо-диагностическом акустическом методе изучают спектр шумов работающего механизма, обычно с помощью микрофонных приемников [11, 28].

Особенности акустических методов заключаются в том, что:

- возможность диагностики дефектов внутреннего типа, относительная простота приборов акустического неразрушающего контроля;
- простота конструкций датчиков и их установки, а также возможность бесконтактного наблюдения;
- не нужно сложной аппаратуры для диагностики и обеспечивает обнаружение дефектов на ранних стадиях их появления без необходимости остановки и разборки оборудования.

В идеале, оценка состояния рабочих поверхностей, взаимодействующих между собой элементов трансмиссии, контроль износа их поверхностей, оценка работоспособности узла в целом или кинематической пары в отдельности, желательно проводить без разборки редуктора, при этом достоверность получаемой информации должна быть достаточной для принятия корректного решения [2]. Кроме того, время для получения достоверной диагностической информации, должно стремиться к минимальному, сохраняя при этом уровень качества диагностики.

Наиболее информативным при оценке состояния трансмиссии горной машины является величина и характер акустического сигнала ультразвуковом диапазоне частот, возникающего в паре трения. Именно использование этой информации расширило возможности существующих способов проведения диагностики технического состояния горнодобывающего оборудования и позволило решать практические задачи мониторинга. И как следствие, предупреждать аварийные отказы, рационально распределять силы и средства при ремонте и техническом обслуживании.

1.6 Выводы по главе 1

1. Выполнена проработка степени изученности темы исследования. Приведен обзор горных машин, комплексов и оборудования открытых горных работ.

2. Проведены анализ и систематизация причин потоков отказов горных машин. Как показал анализ опыта эксплуатации основной причиной отказа карьер-

ных экскаваторов является повышенный износ ресурсопределяющих трибосопряжений трансмиссий.

3. По результатам анализа потока отказов, сделан вывод, о том что своевременная и качественная смазка элементов трансмиссии горной машины снижает риски интенсификации естественных деградационных процессов проведением профилактических мероприятий ТОиР (технического обслуживания и ремонтов) горных машин.

4. При этом для карьерной техники прежде всего, необходима эффективная диагностика машин, горного оборудования и их элементов. Дефекты и повреждения необходимо обнаруживать задолго до перехода в предельное состояние, чтобы гарантировано планировать и в удобное для предприятия время осуществить корректирующие действия (обслуживание) для продления безаварийной эксплуатации горного оборудования.

5. Недостаточно изучен вопрос изменения технического состояния ресурсопределяющих сопряжений элементов и узлов трансмиссий горных машин по интенсивности изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в контакте.

В связи с этим для достижения поставленной в данной работе цели необходимо решить **следующие задачи:**

1. Провести обзор и анализ существующих подходов к оценке остаточного ресурса элементов трансмиссий горных машин.

2. Предложить техническое решение для оценки остаточного ресурса карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К.

3. Предложить алгоритм оценки технического состояния ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий по данным акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин.

4. Провести экспериментальных исследований по выявлению закономерностей изменения акустического сигнала ультразвукового диапазона внешнего трения от величины и характера параметров искусственной среды функционирова-

ния ресурсопределяющих узлов трения горных машин и изменений эксплуатационного режима смазки рабочих поверхностей ресурсопределяющих сопряжений.

5. Предложить изменения в структуру ремонтного цикла в трансмиссиях карьерных экскаваторов с учетом реализации предложенного алгоритма оценки технического состояния ресурсопределяющих элементов трансмиссий.

6. Предложить новое техническое решение, позволяющее повысить работоспособность трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки, осуществляя раннюю диагностику повреждений ресурсопределяющих сопряжений и своевременной реновации лубрикатора на основании оценки состояния элементов трансмиссий в рамках осуществления технологий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин.

ГЛАВА 2 ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕСУРСОопРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН

2.1 Подходы к оценке остаточного ресурса горных машин

В минерально-сырьевом комплексе сектор открытых горных работ на сегодняшний день является двигателем передовых технологий России, что не удивительно, потому что масштабы добычи и переработки полезных ископаемых с применением комплексов горных машин подразумевают значительные объемы и совершенствование горной техники в рамках реализации теротехнологии. Одной из таких технологий является теротехнология. Она предполагает применение принципов и элементов технического обслуживания и ремонта, учитывая производственные, технические и эксплуатационные условия применения оборудования.

Современные технические задачи и их решения базируются на главном принципе обеспечения заданной производительности горных машин при минимальных рисках ее отказов и безопасности ведения горных работ, что подразумевает выход на новый уровень. Теротехнология карьерной техники на сегодняшний день не мыслима без следующих ключевых технических решений, комплекс которых представлен на рисунке 2.1.

За последнее десятилетие современные технологии существенно продвинулись, в результате чего автономные устройства и машины стали реальностью и все чаще применяется централизованное диспетчерское удаленное управление горной техникой на карьере. Такая тенденция имеет место быть как зарубежом, так и на современных российских горнодобывающих предприятиях. Реализация подобного подхода требует систематической оценки технического состояния горных машин и поддержания последних в состоянии готовности путем реализации рациональной стратегии технического обслуживания и ремонта в конкретных условиях эксплуатации.



Рисунок 2.1 - Технические решения для реализации работы современных горных машин и оборудования открытых работ

Научно обоснованное решение в вопросе выбора системы технического обслуживания и ремонта горного оборудования начинается со сбора полной и достоверной информации о идеальной, производственной и эксплуатационной надежности в рамках жизненного цикла горной машины. Если рассматривать карьерные экскаваторы, то помимо технической документации на интересующий нас объект, необходима информация о изготовлении, монтаже и сборке оборудования, уровень его технического состояния на начало эксплуатации, условиях функционирования, суммарной наработке, и изменения технического состояния как эргатической системы с учетом принятой или принимаемой системы технического обслуживания и ремонта. Также, если оборудование уже было в эксплуатации, на этом этапе принято уточнять номинальные и фактические условия эксплуатации с целью определения технического возраста экскаватора и коэффициента его деградации $K_{ДТВ}$. Если возникает необходимость, то проводится техническая диагностика оборудования. Как правило, именно на этом этапе выстраивается предположительная система ТОиР в рамках той или иной стратегии.

Следующий этап формирования системы подразумевает процесс оценки факторов природно-техногенного воздействия и организационно-технического характера в совокупности с моментом определения соответствующих коэффициентов деградации. По результатам полученных коэффициентов, как правило, проводится их ранжирование. С этой целью учитывают возможности и останавливаются на одной из четырех стратегий, и выбранную стратегию принимают, при необходимости адаптируя ее в соответствии с реальными условиями. При этом машину рассматривают как единую систему, оценивая надежность отдельных подсистем, выявляют интенсивность деградационных процессов последних и их элементов. Такой анализ позволяет выявить ресурсопределяющие узлы и подсистемы, а сосредоточив на них особое внимание с точки зрения контроля их технического состояния значительно снизить затраты на проведение профилактических мероприятий, реализуя в них все лучшее в рамках комбинированной стратегии с учетом условий эксплуатации машины. Как показывает опыт эксплуатации и как это отмечалось в разделе 1.3 настоящей работы ресурсопределяющими подсистемами горных машин являются их трансмиссии, а в них особое место занимают подшпирники и зубчатые передачи.

В настоящий момент ключом для осуществления прогрессивного метода оценки технического состояния ресурсопределяющих узлов трансмиссии карьерного экскаватора является комбинирование мероприятий по техническому обслуживанию и ремонту горного оборудования [70, 71, 72, 73].

Оценка рисков отказа карьерного экскаватора является важным этапом в реализации добросовестной системы технического обслуживания и ремонта. Такие системы как RCM II (Risk-Based Maintenance – система оценки и сопоставления допустимых рисков и снижения их последствий) и CM&R (Conscientious Maintenance and Repair – совокупность оценки и сопоставления допустимых рисков и снижения их последствий вместе с добросовестным выполнением предусмотренных технологическим процессом операций ТОиР) предполагают оценку рисков и снижение их последствий путем проведения соответствующих мероприятий по-

следовательно по приоритетам: системного, организационного, инженерно-технического и технического характера с обязательным наличием обратных связей для возможности своевременной корректировки последних.

Примером реализации этих систем служат существующие подсистемы системы мониторинга и диагностики технического состояния карьерной техники, а также широкий спектр дифференцирования операций технологических процессов с целью упрощения их реализации, как минимальной логической функции, которая будет обладать смыслом при условии, что может быть совершена только полностью как транзакция. Существование таких систем предполагает точно и в срок осуществлять выполнение плановых работ, применяя соответствующее оснащение и инструмент, необходимые для эффективного выполнения таких операций.

На сегодняшний день в основном все крупное мобильное горное оборудование оснащено системами диагностики технического состояния, оснащенными системами разнообразных датчиков, в заданных контрольных точках горной машины. Большинство поставщиков, специализирующихся в данной области, предоставляют дополнительное программное обеспечение для оценки получаемых данных, а также осуществляют дополнительную поддержку отчетности. На рисунке 2.2 представлена структурная схема прохождения и обработки информации в системе мониторинга технического состояния горной машины открытых горных работ.

Горные машины оснащены бортовыми системами с индикацией, которая предупреждает машиниста об опасных ситуациях, таких как перегрев двигателя, а также предоставляет поток данных, которые можно обрабатывать в режиме реального времени и впоследствии оценивать для выявления трендов. Каждый элемент этого массива данных обычно направлен на конкретных пользователей: сигналы тревоги необходимы для предупреждения машинистов об возможных сбоях, в то время как поток аналитических данных в реальном времени информирует руководителей об условиях, требующих вмешательства.

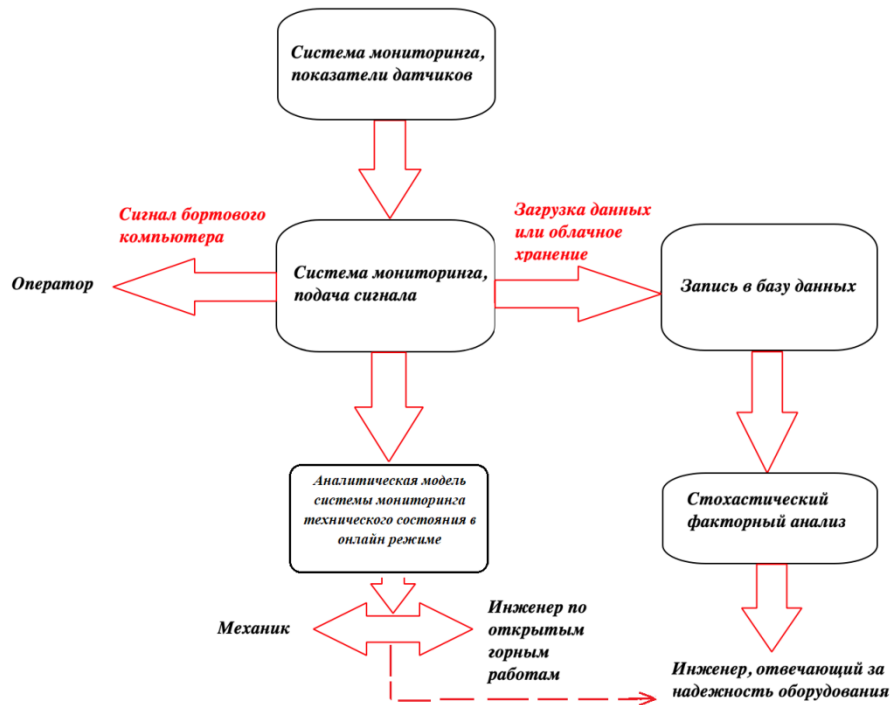


Рисунок 2.2 - Структурная схема прохождения и обработки информации в системе мониторинга технического состояния карьерной горной машины

2.2 Техническое решение для оценки остаточного ресурса карьерных экскаваторов типа ЭЖГ-18Р/20К

В первой главе отмечалось о том, что в наиболее тяжелых условиях работают машины открытых разрезов: экскаваторы, буровое оборудование, карьерные дробильно-сортировочные агрегаты, горнотранспортные машины. Как правило, это машины большой единичной мощности и габаритов, рабочий цикл которых не предусматривает их перемещений на значительные расстояния, с механическими и гидравлическими трансмиссиями, приводимыми в действие электрическим или дизель-электрическим приводом. Отказ любой машины в технологической цепочке этого оборудования, влечет за собой сбой в работе всей цепи технологических машин. Механические лопаты и гидравлические экскаваторы являются одними из наиболее нагруженных горных машин. Жесткие погодные условия эксплуатации, сложные горно-геологические условия, трудоемкость и не комфортность проведения работ по техническому обслуживанию ремонту обуславливают снижение

их наработки между отказами, способствуя интенсификации деградиционных процессов и повышению рисков аварийных отказов оборудования, что приводит к росту трудоемкости ремонтных работ и повышению затрат на реализацию мер их предупреждения.

Специалисты ремонтных служб, занимающиеся техническом обслуживанием, используют собранные и централизованно обработанные данные, а также первичные материалы диагностических процедур мониторинга для выявления механических повреждений оборудования или дефектов систем. Они первыми оценивают критичность выявленных дефектов и повреждений. На рисунке 2.3 представлена блок-схема проведения регулярного технического осмотра карьерного экскаватора ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К.

Основной задачей технической диагностики и, в частности мониторинга, является не только измерение величин того или иного показателя, но в функции интерпретирования значений, полученных при измерениях чтобы специалисты по техническому обслуживанию могли предпринять значимые корректирующие действия, предупреждающие аварийный отказ. При этом аварийный сигнал бортового компьютера может остановить машину, но обычно заранее предупреждают о развитии дефектов или повреждений, являясь причиной отклонений от номинальных значений соответствующих показателей. Очень важно распознавать эти сигналы и принимать соответствующие меры дабы избежать длительных простоев, вызванных не просто отказом элемента объекта, но затратами времени труда и средств на получение, доставку ЗИП и ремонт оборудования.

Данная информация оценивается на предмет выявления потенциально критичных ситуаций в будущем, а затем ее объединяют с другими результатами мониторинга, такими как наработка машины и ее узлов и систем и анализ проб масла, чтобы достоверно оценить техническое состояние как единичного оборудования, так и всего парка машин. Эта информация передается в службу технического обслуживания и ремонта оборудования (СТОРО).

На основании регулярного технического осмотра для оценки необходимости принятия мер по реализации совершенствования системы ТОиР и внедрению элементов теротехнологии, проанализированы данные о мероприятиях по оценке технического состояния карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К.

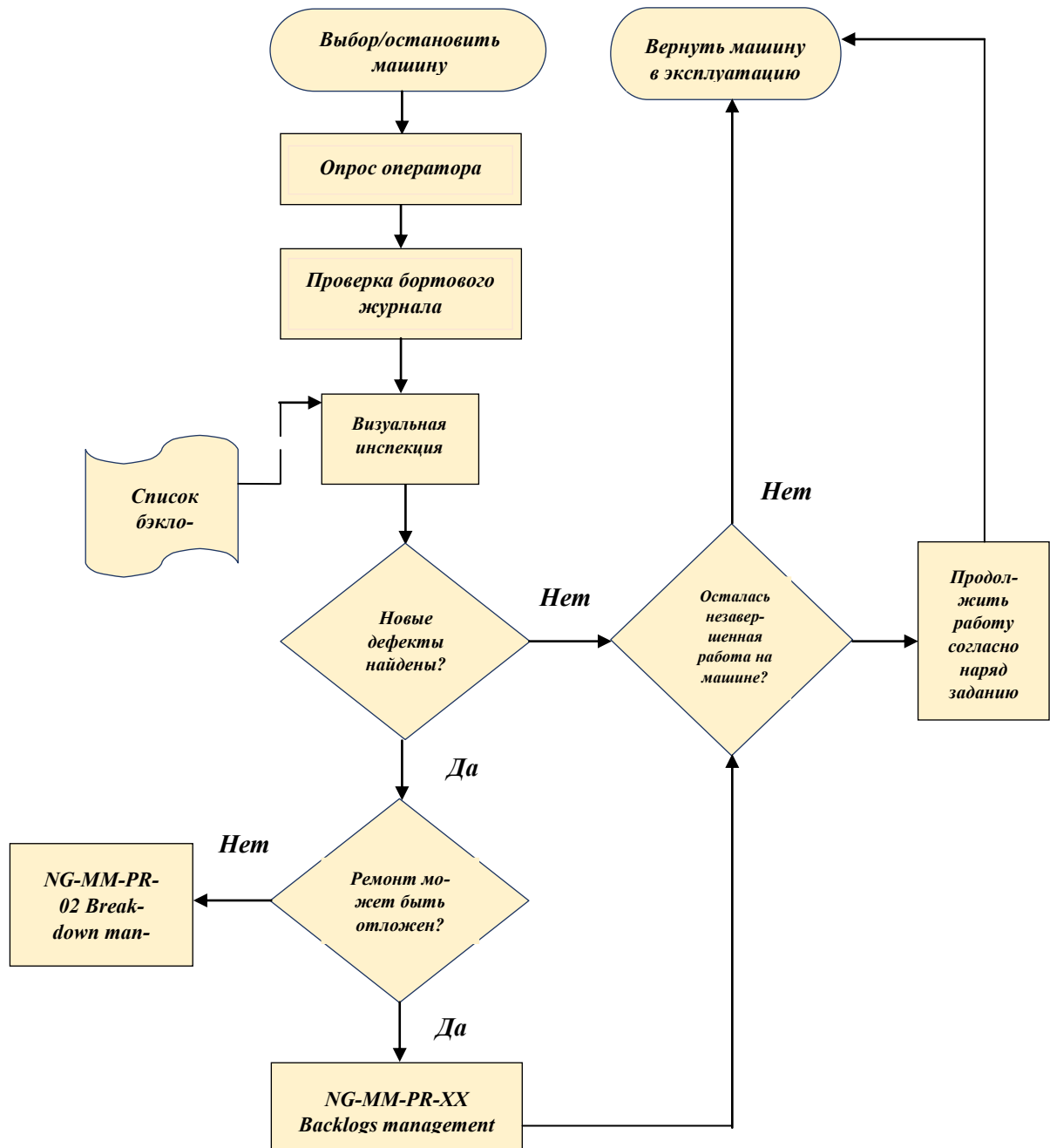


Рисунок 2.3 - Блок-схема проведения регулярного технического осмотра карьерного экскаватора ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К

Из которых следует, что основными технологическими процессами при проведении профилактических и ремонтных работ техники являются: замена изно-

шенных частей и ответственных узлов, модернизация приводов и систем, визуальная проверка оборудования, профилактическая и регулярная проверки, регулирование при техническом обслуживании, смазка, заправка, замена смазок и масел, измерения параметров и износа оборудования, диагностический контроль его технического состояния. Значительным объемом среди этих работ занимают смазочно-заправочные работы, а не своевременное выявление опасных повреждений, дефектов или критических уровней естественного старения или изнашивания способствует резкому повышению рисков отказов, аварий, неприемлемых потерь.

Таким образом вопрос надежности горных машин, а в частности карьерных экскаваторов, стоит достаточно остро, и требует применения эффективных мероприятий и диагностических технических средств оценки технического состояния приводов такого оборудования, а также оптимизации процессов проведения смазочно-заправочных работ [66].

Наиболее полное использование возможностей карьерных экскаваторов с заданным уровнем их готовности целесообразно осуществлять применением системного подхода при создании системы ТОиР, которая рассматривается как кибернетическая, реализующая эффективное функционирование оборудования. Такая система не предусматривает жесткой периодичности и продолжительности ремонтов. Их планируют на каждый очередной ремонт на основании собранной и проанализированной информации фактического состояния оборудования [2, 9, 11].

Как показал анализ опыта эксплуатации основной причиной отказа экскаваторов является повышенный износ ресурсопределяющих трибосопряжений [68]. Для обеспечения нормальной работы трансмиссий, включая их подвижные соединения и сопряжения, опорно-поворотных узлов конструкций горных машин смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей подвижных соединений и сопряжений, предотвращать задиры и заедание при их функционировании, снижать интенсивность процесса изнашивания, не допускать процессы коррозии и обладать стабильностью свойств, что способствует обеспече-

нию заданного уровня эксплуатационной надежности горного оборудования [3, 13, 16]. Не мало важным, в этой связи остается задача рационального расходования лубриката.

Выбор соответствующего типа смазки системы ее осуществления для карьерного экскаватора во многом определяет его рабочее состояние. Автоматическая система смазки ресурсопределяющих элементов и сопряжений машин способна значительно сократить трудоемкость смазочно-заправочных работ. Инновационным решением в этом вопросе является решение задачи своевременной смазки сопряжения, по его состоянию, а не через наперед заданный интервал времени. Так, применение автоматических централизованных систем смазки (АЦСС) на экскаваторе с объёмом ковша 10-15 м³ в среднем: снижает продолжительность проведения регламентных работ по обслуживанию минимум на час; как следствие, позволяет увеличить время его работоспособного состояния до 250 часов в год, что эквивалентно наработке последнего в $75 \cdot 10^3$ т.

Однако в условиях эксплуатации является недостаточным только осуществлять подвод строго определенного количества лубриката в заданную точку, необходимо одновременно контролировать техническое состояние смазываемого узла, варьируя количество и периоды подачи смазки в зависимости от состояния пары [58].

При оценке смазывающей способности масел необходимо достоверно определять характер трения в контакте, который в свою очередь может быть оценен по величине коэффициента трения. Акустический сигнал ультразвукового диапазона частот в паре трения в полной мере позволяет оценить, как характер трения, так и многое говорит о величине коэффициента трения и состоянии лубриката [78, 79, 85].

2.3 Применение и особенности акустико-эмиссионного метода для оценки остаточного ресурса горных машин

Наиболее информативным при оценке состояния трансмиссии горной машины является величина и характер акустического сигнала ультразвукового диа-

пазона частот, определенного характером процесса трения при взаимодействии элементов машины, ее подсистем, в частности, их трансмиссий. Именно использование этой информации расширило возможности существующих методов неразрушающего контроля, позволило решать практические задачи мониторинга состояния оборудования и, как следствие, предупреждать аварийные отказы, рационально распределять силы и средства при ремонте и техническом обслуживании.

Возникающие дефекты в ресурсоопределяющих элементах излучают ультразвуковые волны, которые имеют форму затухающей синусоиды. Такая волна доходит до датчика АЭ и преобразуется в обратный сигнал. Преобразование упругой волны проявляется в появлении сигнала за счет пьезометрического эффекта, заключающегося в колебаниях зарядов противоположных знаков на гранях пьезокристаллов при их механическом деформировании[87].

Из вышесказанного, следует констатировать, что целесообразно формировать бортовые системы диагностики, позволяющие фиксировать акустические сигналы ультразвукового диапазона частот для выявления на ранней стадии проявлений дефектов или появления повреждений в трансмиссиях горных машин. Преимуществами бортовой системы контроля и диагностирования ресурсоопределяющих узлов трансмиссии по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот являются:

- ✓ осуществление комплексной оценки состояния ресурсоопределяющих элементов трансмиссий в целом;
- ✓ контроль состояния элементов в реальном масштабе времени;
- ✓ накопление результатов диагностирования с целью формирования базы данных и проведения более детального анализа;
- ✓ выполнение долгосрочного прогнозирования технического состояния горнодобывающего оборудования.

2.4 Алгоритм оценки технического состояния ресурсопределяющих элементов и узлов трения трансмиссий горных машин

Предлагается совершенствовать эксплуатационный режим смазки в контакте между ресурсопределяющими элементами трансмиссий карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К, с целью продления срока службы их рабочих жидкостей путем оценки величины акустического сигнала в ультразвуковом диапазоне частот в паре трения для своевременной замены, либо утилизации отработанного трансмиссионного масла, при реализации технологии регламентных работ в рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию и внедрению теротехнологии.

В процессе эксплуатации карьерной техники осмотр перед ТО проводится высококвалифицированным специалистом отдела ТОРО или сервисным инженером в период, установленный регламентом обслуживания оборудования или в сроки, установленные в принятой на предприятии стратегии мониторинга технического состояния [21].

Перед проведением осмотра специалист должен провести опрос оператора о производительности техники и проверить бортовой журнал.

При проведении осмотра перед ТО в обязательном порядке проводится:

- анализ диаграмм парето для событий, данных из доступной системы диспетчеризации и диагностики оборудования (Wenco. VIMS и др);
- визуальная инспекция в соответствии со стандартизированным по каждой модели оборудования чек листом;
- выполнение мероприятий на основе стратегии мониторинга технического состояния, которые будут включать в себя тестовые включения экскаватора при заданной нагрузке и контроль ресурсопределяющих узлов трансмиссии по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот.

На рисунке 2.4 представлена модернизированная блок-схема алгоритма перед ТО карьерного экскаватора ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К.

После чего специалист сверяет бэклоги и выявленные дефекты с планом работы для следующего ТО.

В случае, когда список планируемых работ не совпадает с фактическим состоянием техники, специалист изменяет список бэклогов подготовленных к следующему ТО и утверждает его у главного механика или директора по ремонтам, а также информируют отдел планирования о результатах осмотра. Далее работы проводятся в соответствии с процедурой *“NG-MM-PR-06 Weekly planning process”* машина возвращается в эксплуатацию.

В случае если обнаружены новые дефекты сотрудник должен определить критичность дефекта, а именно определить если дефект:

- представляет непосредственный риск безопасности для людей или оборудования;
- представляет непосредственный экологический риск;
- остановка планового производства.

Если оценка ситуации выявляет риск в одной из указанных категорий, далее работа проводится в соответствии с процедурой *“NG-MM-PR 2 Breakdown management”*.

Если оценка ситуации выявляет отсутствие риска в одной из указанных категорий, далее работа проводится в соответствии с процедурой *“NG-MM-PR 2 Backlogs management”*, специалист информируют отдел планирования о результатах осмотра, далее работы проводятся в соответствии с процедурой *“NG-MM-PR-06 Weekly planning process”* машина возвращается в эксплуатацию.

В случае если новых дефектов не обнаружено, специалист информируют отдел планирования о результатах осмотра, далее работы проводятся в соответствии с процедурой *“NG-MM-PR-06 Weekly planning process”* машина возвращается в эксплуатацию.

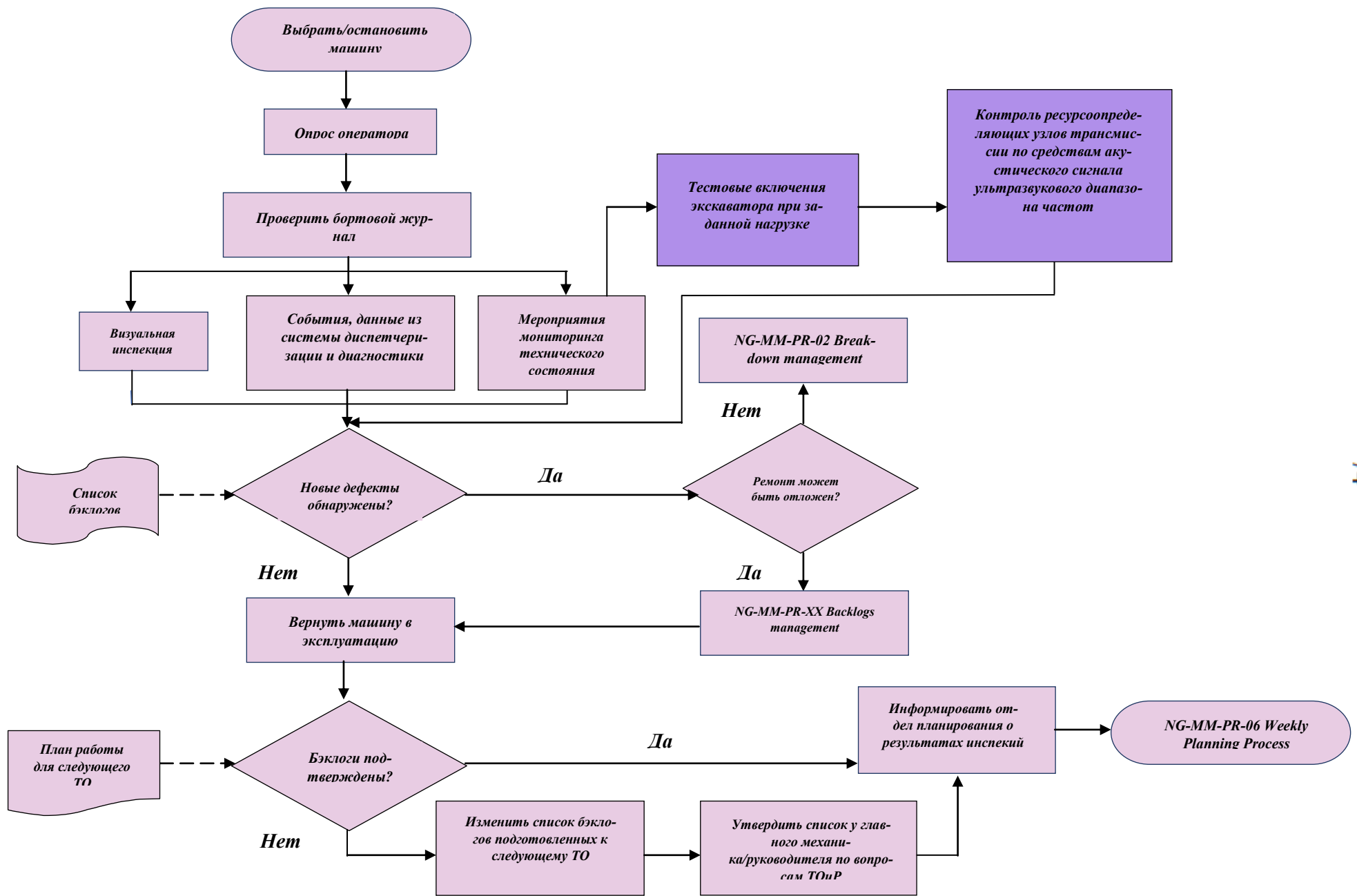


Рисунок 2.4 - Блок-схема алгоритма перед ТО карьерного экскаватора ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К

Идея оценки заключается в том, что техническое состояние ресурсопределяющих элементов и узлов трансмиссий карьерных экскаваторов с достаточной для практики точностью определяется по интенсивности изменения параметра величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в зависимости от удельной нагрузки в ковше для лебедки подъема экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К и скорости в контакте относительно соответствующей базовой величины, которая характеризует условия смазывания между элементами трансмиссии горной машины, в рамках реализации комбинированной стратегии ТОиР, основанной на системе *CM&R (Conscientious Maintenance and Repair)*.

Такая оценка технического состояния ресурсопределяющих элементов и узлов трения трансмиссий карьерных экскаваторов должна проводиться каждую смену, что позволит совершенствовать ТОиР горных машин и внедрить теротехнологии в процесс добычи и переработки полезных ископаемых. На рисунке 2.5 представлен модернизированный алгоритм оценки величины остаточного ресурса трансмиссий горных машин.

Работа данной схемы происходит следующим образом. Оператор является ответственным за работоспособное и исправное состояние вверенной ему техники в период эксплуатации.

При получении или передаче оборудования в эксплуатацию оператор обязан получить или предоставить информацию о фактическом техническом состоянии оборудования.

Ежедневный технический осмотр (ЕТО) должен проводиться дважды в смену в соответствии с принятыми на бизнес единице чек листами ЕТО начала и конца смены. Результаты осмотра вносятся в бортовой журнал, который проверяется и заполняется каждую смену.

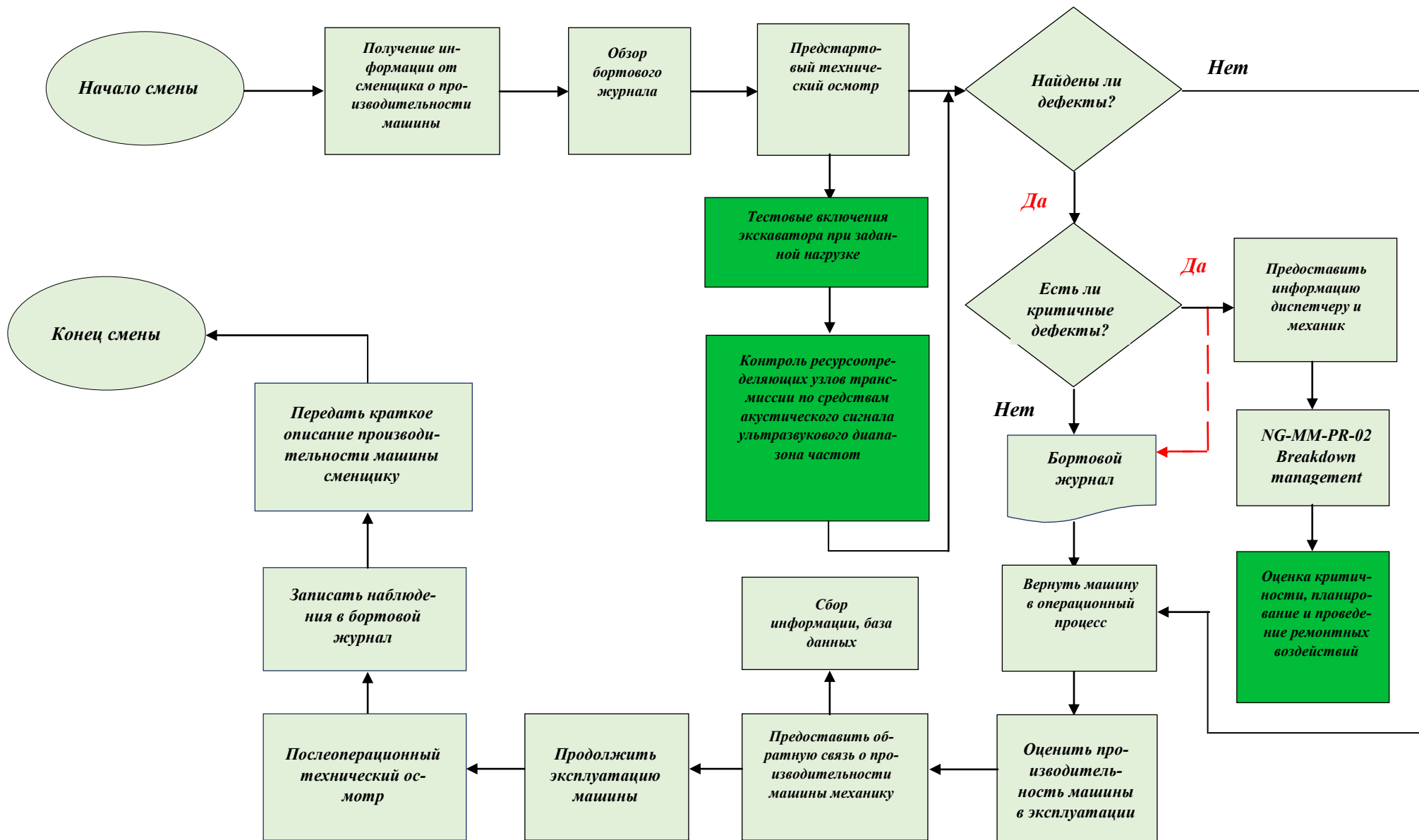


Рисунок 2.5 - Алгоритм ежедневного технического осмотра карьерного экскаватора ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К

- Предстартовый осмотр подразумевает тестовые включения экскаватора при заданной нагрузке и контроль ресурсопределяющих узлов трансмиссии по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот.
- Представляется целесообразным, ориентироваться на применения акустического сигнала ультразвукового диапазона для проведения работ как по оценке состояния подвижных соединений и узлов динамического оборудования, так и своевременной замене или добавлении лубриката в рамках технического обслуживания, либо применения мер по восстановлению среды функционирования путем проведения своевременных мероприятий по регенерации трансмиссионного масла.
- представляет непосредственный экологический риск;
- остановка планового производства.

Если осмотр ситуации выявляет риск в одной из указанных категорий оператор должен незамедлительно информировать диспетчера и механика, далее работа проводится в соответствии с процедурой *“NG-MM-PR 2 Breakdown management”*.

Если осмотр ситуации выявляет отсутствие риска в одной из указанных категорий и оборудование готово к нормальной работе, оператор вносит запись в бортовой журнал и информирует отдел ТОиР посредством передачи чек-листа через горного мастера, и вернуть машину в операционный процесс.

В период эксплуатации оператор оценивает производительность машины, а так же предоставляет обратную связь о произвольности машины в механику и получает информацию о предстоящих ремонтах и технических проблемах. В конце смены оператор передает краткое описание производительности машины сменщику.

Инновационным решением в этом вопросе является обеспечение доставки лубриката к трибосопряжению по каналам системы смазки, при получении заданной величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в паре трения.

Таким образом, разработан алгоритм управления централизованной системой смазки ресурсопределяющих элементов трансмиссий горных машин, путем контроля подвижных соединений, который ориентирован на применение акустического сигнала ультразвукового диапазона частот для проведения работ, как по оценке состояния подвижных соединений и узлов динамического оборудования, так и своевременной реновации лубриката в рамках реализации наиболее оптимальной стратегии технического обслуживания и ремонта карьерной техники.

2.5 Выводы по главе 2

1. Обоснована возможность повышения работоспособности и износостойкости ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий горных машин формированием искусственных сред их функционирования и реновации лубриката на основании оценки изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в паре трения, генерируемого ресурсопределяющими сопряжениями.

2. Разработан алгоритм ежесменного технического осмотра карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К в масштабах реализации совершенствования стратегии технического обслуживания и ремонта и внедрения теротехнологии.

3. Предложены научно-обоснованные технические решения, позволяющее повысить работоспособность трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки, осуществляя раннюю диагностику повреждений ресурсопределяющих сопряжений и своевременной реновации лубриката на основании оценки состояния элементов трансмиссий в рамках осуществления технологий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин.

ГЛАВА 3 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СМАЗКИ НА РАБОТУ РЕСУРСООПРЕДЕЛЯЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН

3.1 Методика экспериментального исследования

В зубчатых передачах контакт между зубьями осуществляется по линии, поэтому контактные давления велики – до 2 ГПа, скорость скольжения в открытых крупномодульных цилиндрических передачах составляет менее 3 м/с, при этом температура в контакте варьируется в широком диапазоне и может превышать 150 – 200°C. В столь тяжелых условиях эксплуатации смазка должна гарантировать разделение контактирующих поверхностей, предотвращать задиры и заедание, снижать интенсивность изнашивания. Кроме перечисленных требований, смазка должна иметь стабильную вязкость, низкую температуру застывания, хорошие противокоррозионные свойства [36, 50].

Разрушение смазочной пленки между контактирующими поверхностями сопровождается резкой интенсификацией процесса трения, разрушением контактирующих поверхностей вследствие изнашивания, схватывания и/или заедания.

Предлагаемый способ оценки характера трения в контакте элементов трансмиссий горных машин по величине акустического сигнала в ультразвуковом диапазоне частот заключается в регистрации упругих волн посредством пьезоэлектрических датчиков, генерируемых трибосистемой в подвижном соединении элементов трансмиссий. Поэтому, сравнивая параметры регистрируемого сигнала, можно судить о процессе трения поверхностей ресурсопределяющих элементов трансмиссий горных машин.

При определении смазывающей способности масла необходимо достоверно определять состояние пары трения в контакте. Для этого был выбран способ оценки остаточного ресурса на основании данных акустического сигнала, возникающего в ультразвуковом диапазоне частот, для определения состояния в контакте пары трения.

Выбор площади контакта был осуществлен из условия пропорционального изменения удельного давления в пятне контакта.



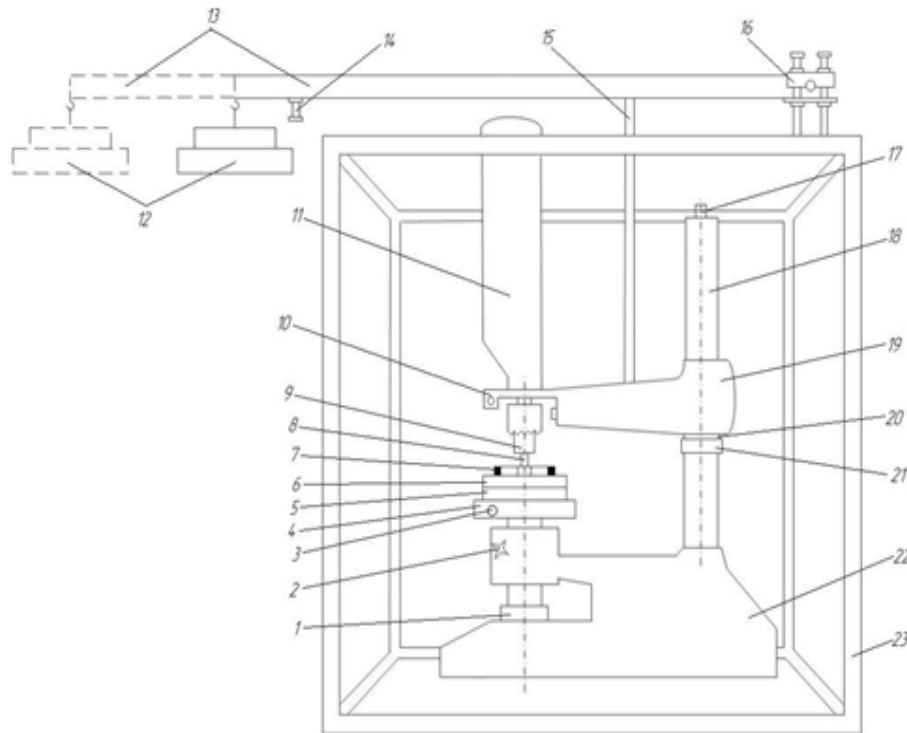
Рисунок 3.1 – Акустико-эмиссионный анализатор ресурса подшипников АРП-11

Контроль характера взаимодействия в паре трения осуществлялся прибором АРП-11 (рисунок 3.1) путем фиксации показателя D , пропорционального величине акустического сигнала, возникающего в контакте ресурсопределяющих сопряжений, например подшипников или зубчатых передач, при трении. Основными источниками формирования акустического сигнала D в ультразвуковом диапазоне частот являются: упругие волны от нормальных и касательных напряжений в пятнах контакта в приповерхностных слоях взаимодействующих между собой тел от действующих нагрузок; микроудары, которые усиливаются из-за деструкции смазки при трении тел; гидродинамические эффекты от смазки в зоне контактных напряжений тел; импульсные сигналы от образования трещин в металле кинематической пары; микроудары и удары от перекачивания дефектных поверхностей (шелушение, сколы и др.), что интегрально пропорционально изменению величины коэффициента трения в паре, и по его величине можно оценить характер трения.

3.2 Выбор схемы и установки для экспериментальных исследований процессов трения и изнашивания в ресурсопределяющих элементах трансмиссии

Для выявления закономерностей по формированию акустического сигнала, возникающего в процессе трения элементов, от зависимостей нагрузки и угловой

скорости в контакте, а также параметров смазочной среды функционирования был разработан стенд, представленный на рисунке 3.2.



- 1 – установочное кольцо; 2, 3 – установочные винты; 4 – столик; 5 – основание; 6 – контртело;
 7 – ванна масляная; 8 – индентор; 9 – трехкулачковый патрон; 10 – зажим;
 11 – электродвигатель; 12 – груз; 13 – телескопический рычаг; 14 – стопорный винт;
 15 – стержень; 16 – регулируемая поворотная опора; 17 – место установки датчика АЭ;
 18 – стойка; 19 – кронштейн; 20 – рабочий зазор; 21 – гайка предохранительная;
 22 – основание; 23 – рама.

Рисунок 3.2 – Схема стенда для оценки трения в контакте «индентор-контртело»

Стенд для проведения испытаний представляет собой модернизированную конструкцию вертикального оптиметра в кронштейне 19 которого закреплен привод электрического миксера 11. Штатив прибора имеет массивное чугунное основание 22, на котором установлена стойка 18 и регулируемый столик 4. Кронштейн 19 установлен на стойке 18 с возможностью перемещения вдоль нее. Гайка 21 является стопором нижнего положения кронштейна и может перемещаться по стойке 18. Положение столика по высоте фиксируется установочными кольцами 2, 3. Основание 22 корпуса закреплено болтами на плите кубовидной рамы 23. К раме 23 прикреплена регулируемая поворотная

опора 16, которая позволяет выдерживать горизонтальное положение установленного в ней рычага 13 при различных положениях кронштейна 19. Рычаг 13 средней своей частью соприкасается со стержнем 15, установленным в гнезде кронштейна 19. Телескопический рычаг 13 в своей хвостовой части имеет крюк для установки грузов 12 и оснащен стопорным винтом 14. При установке грузов 12 на рычаг 13 их вес и вес рычага через стержень 15 передается на кронштейн, который, в свою очередь, осуществляет прижатие индентора 8, закрепленного в трехкулачковом патроне 9, к контртелу 8. При включении миксера 11 реализуется сила трения между индентором и контртелом в масляной ванне 7 при заданной скорости вращения шпинделя миксера 11 и усилиях нагружения стенда.

Контроль характера взаимодействия в паре «индентор-контртело» определяется показаниями прибора АРП-11, фиксирующего величину акустического сигнала ультразвукового диапазона частот датчиком 17, установленным на верхней площадке стойки 18.



Рисунок 3.3 – Стенд для оценки трения в контакте ресурсопределяющих элементов трансмиссии «индентор-контртело»

Особенностью машины трения является использование в качестве электродвигателя дрель-миксера Hammer UDD 1050M. Стенд представлен на рисунке 3.3. В качестве индентора применялся болт с шестигранной головкой М6, из стали 40Х, который серийно выпускается и обеспечивает воспроизводимость условий

эксперимента. Контртелом является диск, изготовленный из того же материала, что и индентор.

3.3 Экспериментальная оценка влияние эксплуатационного режима смазки ресурсопределяющих элементов трансмиссии горной машины на характер трения

При оценке смазывающей способности масел в элементах трансмиссии карьерного экскаватора необходимо достоверно определять характер трения в контакте по величине коэффициента трения, пропорционального величине акустического сигнала ультразвукового диапазона частот D . Что и было реализовано при проведении экспериментальных исследований на стенде с учетом влияния угловой скорости и давления во вращательной паре трения для ряда масел и смазок [39].

Изменения величины акустического сигнала трения велись прибором АРП 11.

Фиксировались изменения показаний величины акустического сигнала трения, оцененной через показатель D для ряда масел и смазок. В качестве базы было выбрано «Индустриальное масло И-20». Серии экспериментов проводились при фиксированном изменении угловых скоростей: $10,89$; $35,34$; $40,97$; $47,12$; $53,8$; $60,2$ (рад/сек) и при фиксированных значениях давления в паре трения: $0,773$; $2,14$; $4,15$; $6,32$; $9,01$ (МПа). Обработанные результаты наблюдений для базового масла представлены на рисунке 3.4 (а) и (б). Из рисунков видно, что имеется устойчивая тенденция возрастания показателя акустического сигнала трения D вместе с ростом угловой скорости. При этом с увеличением давления в контакте интенсивность возрастания показателя D также наблюдается. Данное явление говорит об ухудшениях условий трения в паре, тем самым указывая на выжимание смазки из контакта, и как следствие переход от жидкостного трения к полусухому, и в конечном итоге к сухому трению [2].

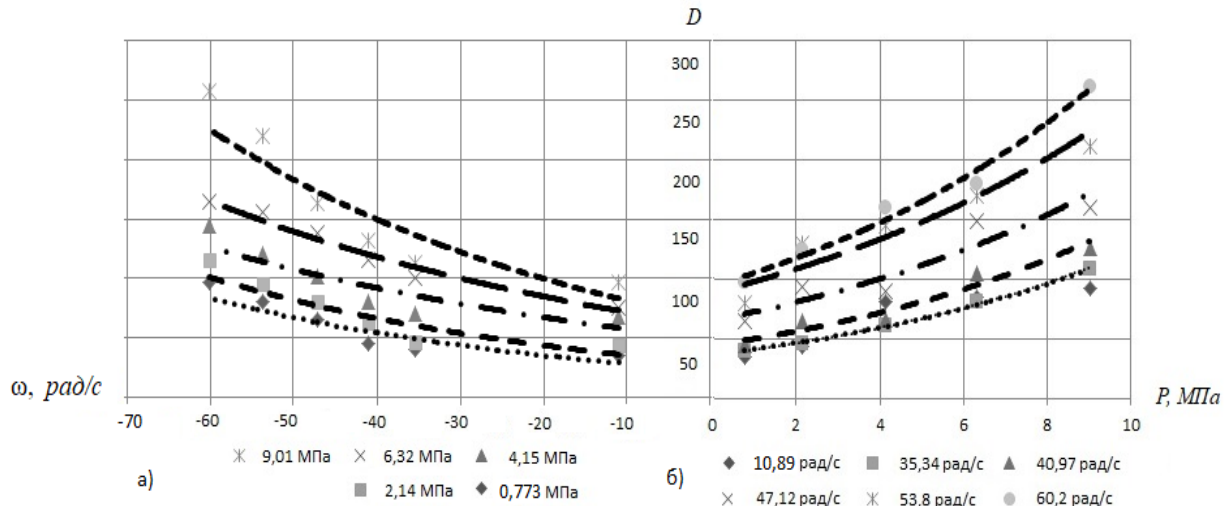


Рисунок 3.4 – Изменение величины показателя акустического сигнала в паре трения D для базового масла И-20 от угловой скорости (а) и давления (б) в паре трения

При анализе полученных в процессе исследования графических зависимостей, представленных на рисунке 3.4 (а) и (б) видно, что в результате переход к сухому трению при высоких скоростях происходит уже при небольших значениях давления, при этом при малых скоростях в паре трения сохраняются нормальные условия даже при значительных усилиях [33, 34].

При проведении эксперимента удалось получить подтверждение того, что изменение величины акустического сигнала трения при функционировании зубчатых колес отражает трибопроцессы в паре трения и по его величине можно оценить характер трения, что является важным условием для обеспечения эксплуатационной надежности элементов трансмиссий гидравлических и электрических карьерных экскаваторов.

В ходе эксперимента одной из задач было выявить изменение типа трения от давления и скорости в контакте с «Индустриальным маслом И-20» с омеднением поверхности и без омеднения. Решение использовать омедненные образцы в эксперименте было связано с тем, что омеднения пары трения дают возможность снизить коэффициент трения и интенсивность изнашивания этих поверхностей.

Учитывая результаты экспериментов с омеднением, следует констатировать, что при трении омедненных образцов акустический сигнал ультразвукового диапазона частот, возникающий в контакте, имеет меньшую величину при сохранении общих тенденций и такое трение является наиболее эффективным.

Далее в качестве искусственной среды функционирования были выбраны смазки: «ТМ-5-18», «Mobil ATF 3309», «NCS-ECF Let-lub», «Графитная ОлРайт», «РУС-1». Затем было принято решение провести эксперимент по оценке изменения акустического сигнала от изменения давления и угловой скорости в паре трения без смазки и уже после протекания процесса износа. Давление в контакте изменялось от фиксированного по вышеописанной схеме 0,773 МПа до 9,01 МПа при угловой скорости вращения в пределах от 30,89 рад/с до 60,2 рад/с.

На рисунке 3.5 показано изменение величины акустического сигнала в ультразвуковом диапазоне частот, выраженном через показатель D , для различных угловых скоростей вращения индентора при постоянных величинах давления во время протекания процесса трения в контакте для выше обозначенных смазок.

Результаты эксперимента были обработаны в Microsoft Excel и аппроксимированы экспоненциальной функцией и представлены на рисунке 3.5, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие им коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.1-3.9. Высокие значения R^2 подтверждают наличие выявленных и действительно существующих функциональных зависимостей.

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения со смазкой «ТМ-5-18» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 3,69e^{0,01\omega}$$

$$R^2 = 0,94 \quad (3.1)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения со смазкой «Mobil ATF 3309» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 4,15e^{0,05 \omega}$$

$$R^2 = 0,98 \quad (3.2)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения со смазкой «NCS-ECF Let-lub» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 4,08e^{0,04 \omega}$$

$$R^2 = 0,91 \quad (3.3)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения со смазкой «Графитная ОлРайт» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 4,04e^{0,04 \omega}$$

$$R^2 = 0,98 \quad (3.4)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения со смазкой «PUC-1» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 3,4e^{0,04 \omega}$$

$$R^2 = 0,98 \quad (3.5)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения с «Индустриальным маслом И-20» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 39,32e^{0,03 \omega}$$

$$R^2 = 0,92. \quad (3.6)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения с «Индустриальным маслом И-20» при протекании процесса омеднения и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32$ МПа:

$$D = 2,9833e^{0,04 \omega}$$

$$R^2 = 0,99. \quad (3.7)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения *без смазки* и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32 \text{ МПа}$:

$$\begin{aligned} D &= 6,94e^{0,05 \omega} \\ R^2 &= 0,87. \end{aligned} \quad (3.8)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения угловой скорости в паре трения *после процесса износа* и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $P = 6,32 \text{ МПа}$:

$$\begin{aligned} D &= 5,78e^{0,05 \omega} \\ R^2 &= 0,96. \end{aligned} \quad (3.9)$$

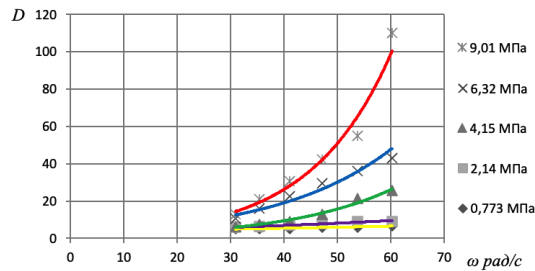
Анализ полученных экспериментально данных позволяет сделать вывод о том, что увеличение величины угловой скорости влечет за собой степенное увеличение показателя D , и перехода от режима жидкостного трения при малых угловых скоростях в режим полусухого или сухого трения при увеличении скорости.

Так же очевидно, что уровень даления в паре трения в значительной степени влияет на изменение характера трения, а следовательно и интенсивности деградационных процессов.

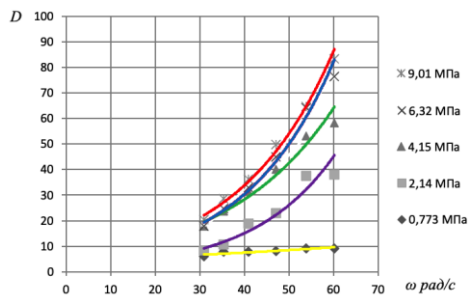
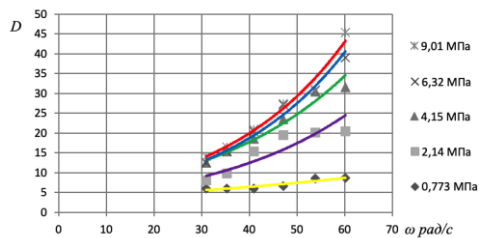
Далее было принято решение продолжить исследование зависимостей изменения акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в паре трения и провести эксперимент по выявлению закономерностей с теми же самыми маслами и консистентными смазками.

Подобно влиянию угловой скорости просматривается тенденция изменения величины акустического сигнала, соответствующей коэффициенту трения, в зависимости от величины давления в паре.

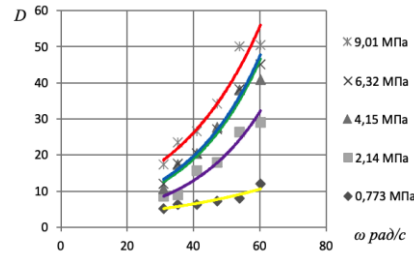
В зонах объемного и граничного трения имеют место нелинейные изменения с промежуточным экстремумом измеряемого показателя D .



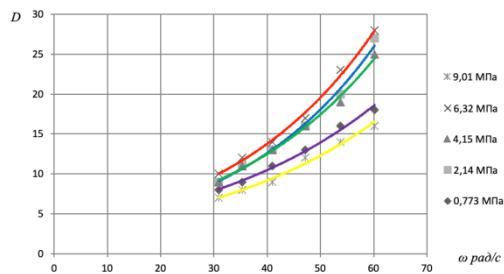
Смазка «ТМ-5-18» - акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



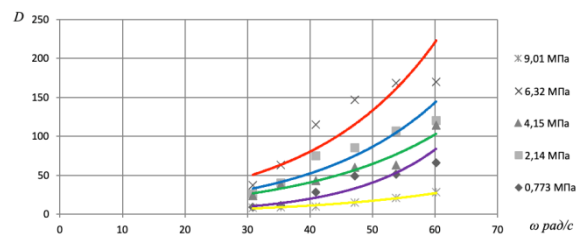
Смазка «Mobil ATF 3309» - акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



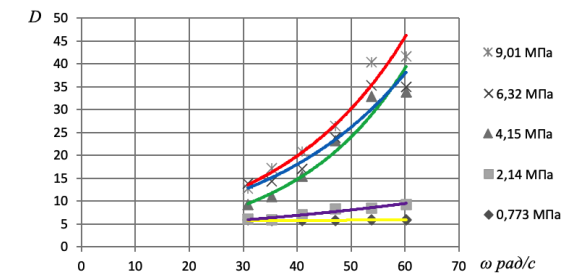
Смазка «Графитная ОлРайт» - акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



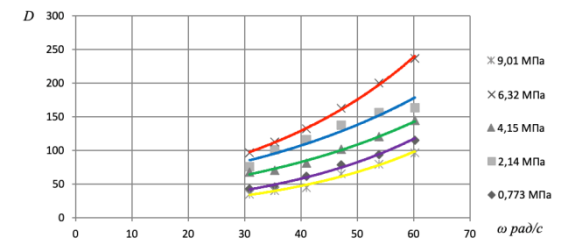
Смазка «РУС-1» - акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



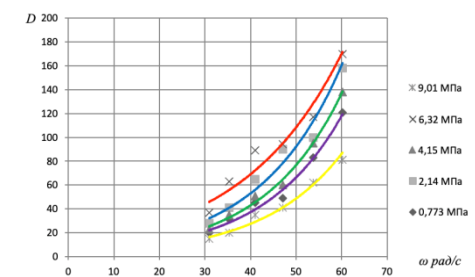
Смазка «Индустриальное масло И-20» с протеканием процесса омеднения – акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



Смазка «NCS-ECF Let-lub» - акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



Смазка «Индустриальное масло И-20» - акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения



Акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения после процесса износа

Акустический сигнал от изменения угловой скорости в паре трения без смазки

Рисунок 3.5 – Изменение величины акустического сигнала в зависимости от скорости во время протекания процесса трения в контактируемых ресурсопределяющих элементах трансмиссий

Переход к сухому трению при высоких скоростях происходит уже при небольших значениях давления, при этом при малых скоростях в паре трения сохраняется объемное трение даже при значительных усилиях.

Результаты эксперимента по выявлению зависимости от давления, возникающего в контакте ресурсопределяющих элементов, также как и с зависимостью от угловой скорости прошли обработку и получили среднегармоническую оценку трех измерений величины показателя D . Далее результаты были обработаны в Microsoft Excel и аппроксимированы квадратичной функцией.

Графически данные функции изображены на рисунке 3.6, а выявленные функциональные зависимости и соответствующие коэффициенты детерминации R^2 представлены выражениями 3.10-3.18. Высокие значения R^2 подтверждают наличие выявленных и действительно существующих функциональных зависимостей.

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения со смазкой «*TM-5-18*» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$\begin{aligned} D &= 0,3p^2 + 1,68p + 3,46 \\ R^2 &= 0,98. \end{aligned} \quad (3.10)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения со смазкой «*Mobil ATF 3309*» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$\begin{aligned} D &= -1,2p^2 + 16,75p - 4,65 \\ R^2 &= 0,97. \end{aligned} \quad (3.11)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения со смазкой «*NCS-ECF Let-lub*» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$\begin{aligned} D &= -0,41p^2 + 6,67p - 0,64 \\ R^2 &= 0,93. \end{aligned} \quad (3.12)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения со смазкой «Графитная ОлРайт» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$D = -0,49p^2 + 7,07p + 3,38$$

$$R^2 = 0,94. \quad (3.13)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения со смазкой «РУС-1» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$D = -0,39p^2 + 6,80p + 3,73$$

$$R^2 = 0,94. \quad (3.14)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения с «Индустриальным маслом И-20» и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$D = -0,15p^2 + 13,22p + 56,62$$

$$R^2 = 0,90. \quad (3.15)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения с «Индустриальным маслом И-20» при протекании процесса омеднения и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$D = 0,24p^2 - 0,84p + 10,12$$

$$R^2 = 0,96. \quad (3.16)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения без смазки и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$D = 0,76p^2 + 7,23p + 17,08$$

$$R^2 = 0,97. \quad (3.17)$$

Функциональная зависимость акустического сигнала от изменения давления в паре трения после процесса износа и соответствующий ей коэффициент детерминации, при $\omega = 47,12 \text{ рад/с}$:

$$D = -0,27p^2 + 9,68p + 31,11$$

$$R^2 = 0,94. \quad (3.18)$$

На рисунке 3.6 представлены результаты изменения величины акустического сигнала, выраженной через показатель D , для последовательного ряда давлений в паре трения при неизменных угловых скоростях для смазок по аналогии с рисунком 3.5.

Аналогично предыдущим опытам были зафиксированы резкие изменения сигнала при переходе от границы жидкостного трения к полужидкостному и в конечном итоге к сухому трению.

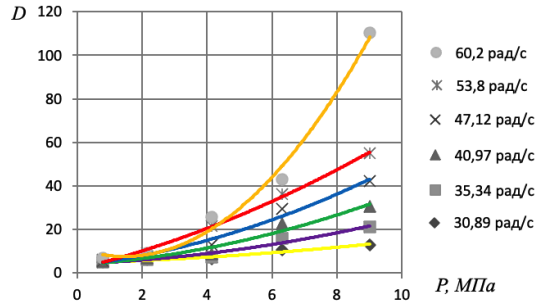
Следует отметить, что в эксперименте с консистентными смазками смена границы трения более резкая, как при возрастании давления в контакте, так и при увеличении угловой скорости, что указывает на важность оценки состояния работы трансмиссии горной машины и ее элементов, при высоких воспринимаемых технологических нагрузках.

При фиксации повышенного сигнала, а следовательно резкого перехода к сухому трению, необходимо срочно принимать меры в рамках технического обслуживания.

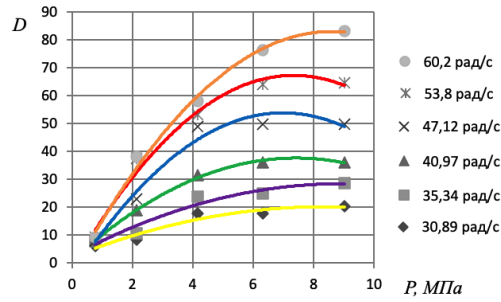
В зависимости от нестабильности величины показателя D по величине среднеквадратического отклонения определялся тип трения. Чем менее стабилен результат измерения, тем более вероятно, что в поле имеет место не жидкостное трение, а сначала полужидкостное и с уменьшением максимальной величины σ – *сухое трение*.

Жидкостное трение представляет собой такой вид контактного взаимодействия твердых тел, при котором их поверхности трения полностью разделены смазочным материалом. При этом непосредственный контакт сопрягаемых тел исключен, а сопротивление относительно перемещению этих тел определяется внутренним трением смазочной среды.

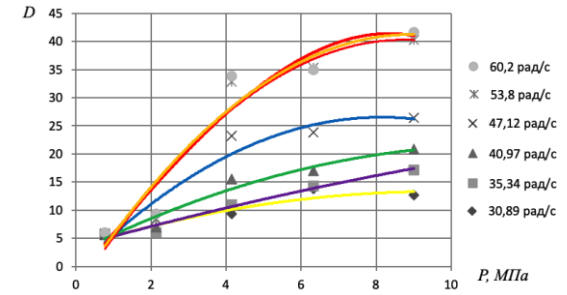
Показание свыше величины σ *равного 0,15* для условий эксперимента соответствует граничному режиму трения, а фрикционные характеристики пары трения определяются свойствами этих слоев и практически не зависят от объемных вязкостных свойств смазочного материала.



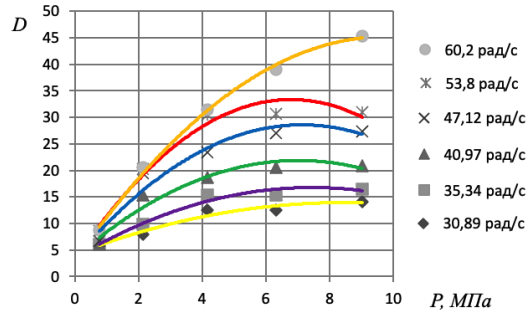
Смазка «ТМ-5-18» - акустический сигнал от изменения давления в паре трения



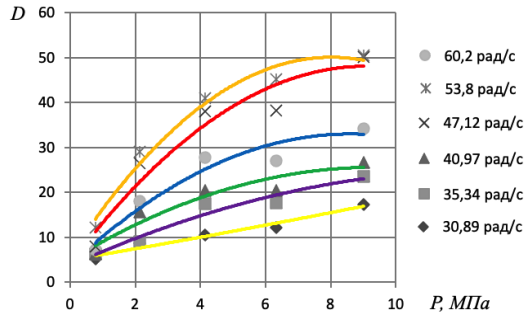
Смазка «Mobil ATF 3309» - акустический сигнал от изменения давления в паре трения



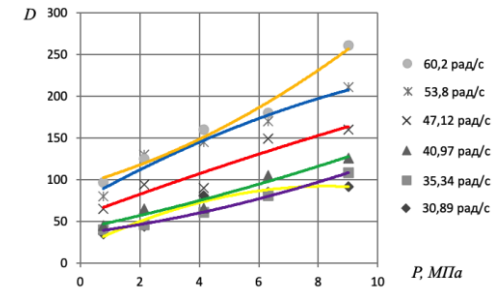
Смазка «NCS-ECF Let-lub» - акустический сигнал от изменения давления в паре трения



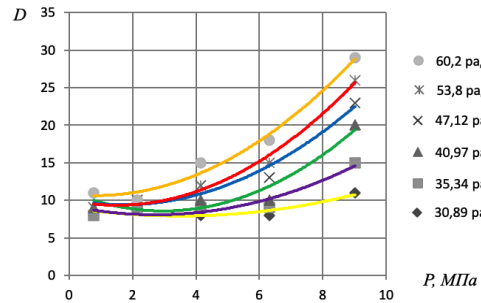
Смазка «Графитная ОлРайт» - акустический сигнала от изменения давления в паре трения



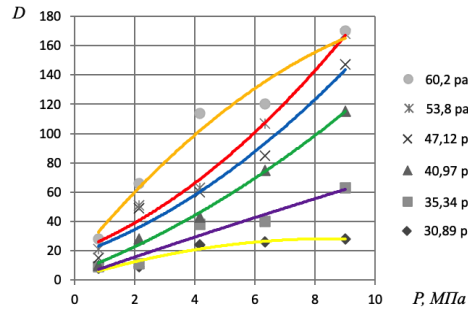
Смазка «РУС-1» - акустический сигнал от изменения давления в паре трения



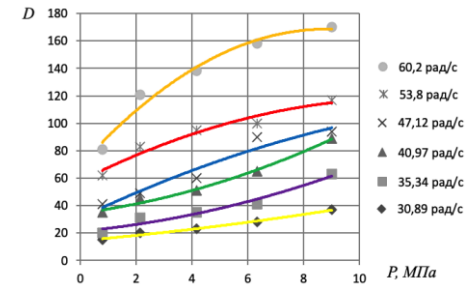
Смазка «Индустриальное масло И-20» - акустический сигнал от изменения давления в паре трения



Смазка «Индустриальное масло И-20» с протеканием процесса омеднения – акустический сигнал от изменения давления в паре трения



Акустический сигнал от изменения давления в паре трения без смазки



Акустический сигнал от изменения давления в паре трения после процесса износа

Рисунок 3.6 – Изменение величины акустического сигнала в зависимости от давления во время протекания процесса трения в контактируемых ресурсопределяющих элементах трнсмиссий

Толщина адсорбционного граничного слоя, состоящего из оксидов металлов, адсорбированных молекул газов, влаги и смазочных веществ, соизмерима с максимальной высотой неровностей профиля. Граничное трение имеет место в низкоскоростных узлах трения.

Показание свыше *б* *равного* $0,8$ соответствует сухому трению. Сухое трение приводит к быстрому изнашиванию поверхностей трения.

Данный показатель является предельным для смазки и характеризует ее смазочную способность.

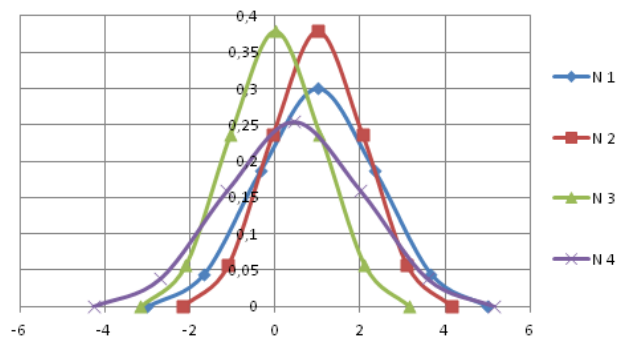
При расчете среднего квадратического отклонения были получены результаты плотности распределения при определенном режиме скоростей с повышением нагрузки.

При оценке среднеквадратического отклонения были взяты показания параметра *D*, отображающего акустический сигнал ультразвукового диапазона частот в контакте между ресурсоопределяющими элементами трансмиссии горной машины, при использовании нагрузок $P1-P0$; $P2-P1$; $P3-P2$; $P4-P3$, которые были обозначены $N1$; $N2$; $N3$; $N4$ соответственно.

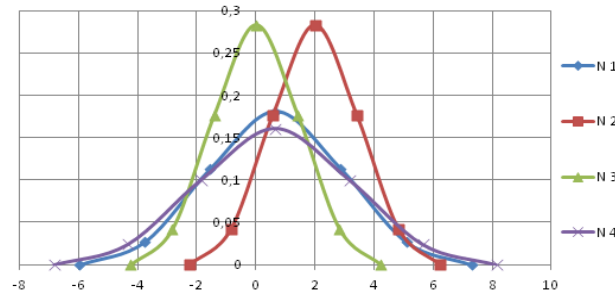
Графически плотности распределения акустического сигнала ультразвукового диапазона для 6 угловых скоростей и 4 переходах от одной нагрузки к другой представлены на рисунке 3.7.

Учитывая выявленные тенденции на основании лабораторных экспериментов удалось выявить области граничного трения и описать математически верхнюю и нижнюю ее границы. Таким образом, возможна смазка зон трения по состоянию.

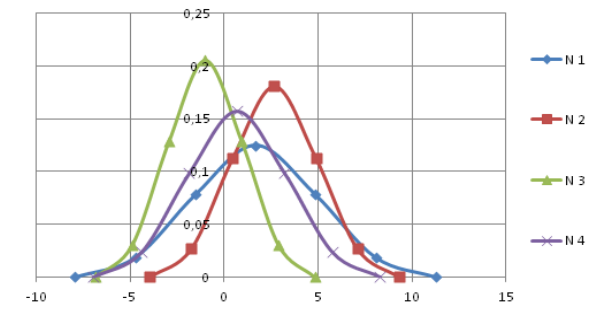
Далее проведенные выше экспериментальные исследования были сведены в диаграммы изменения вида трения от давления и скорости в контакте между ресурсоопределяющими элементами и рассматриваемыми выше видами масел и смазок. Неизменными в сериях экспериментов поддерживались уровни нагрузок (их было 5), а так же угловые скорости вращения индентора (их было 6).



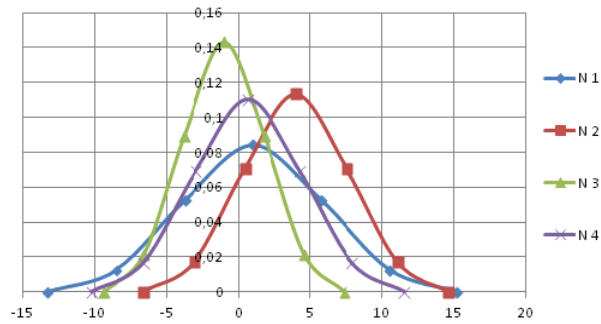
Плотность распределения акустического сигнала при скоростном режиме 30,89 рад/с и нагрузке P0 – P4



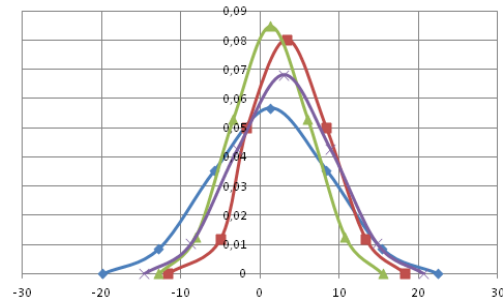
Плотность распределения акустического сигнала при скоростном режиме 35,34 рад/с и нагрузке P0 – P4



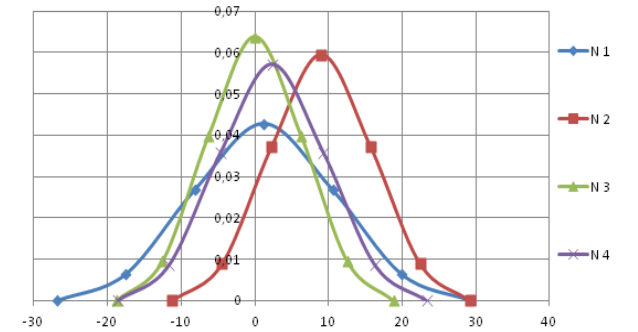
Плотность распределения акустического сигнала при скоростном режиме 40,97 рад/с и нагрузке P0 – P4



Плотность распределения акустического сигнала при скоростном режиме 47,12 рад/с и нагрузке P0 – P4



Плотность распределения акустического сигнала при скоростном режиме 53,8 рад/с и нагрузке P0 – P4



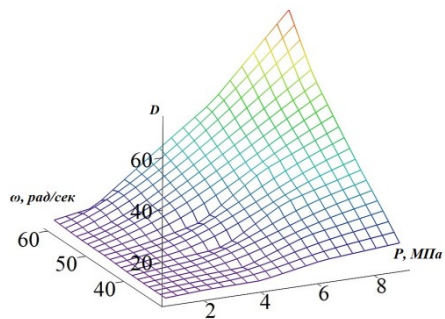
Плотность распределения акустического сигнала при скоростном режиме 60,2 рад/с и нагрузке P0 – P4

Рисунок 3.7 – Плотность распределения величины акустического сигнала во время протекания процесса трения в контактируемых ресурсопределяющих элементах трнсмиссий

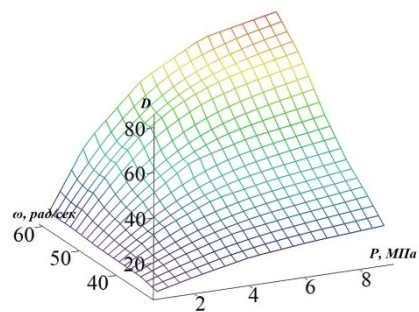
Диаграммы перехода от одного вида трения к другому базируются на основании измерений показателя D , как акустического сигнала в паре трения между ресурсоопределяющими элементами, в функции от угловой скорости вращения и давления в паре трения в смазочно-заправочных средах «ТМ-5-18», «Mobil ATF 3309», «NCS-ECF Let-lub», «Графитная ОлРайт», «PVC-1», «Индустриальное масло И-20», «Индустриальным маслом И-20» при протекании процесса омеднения, а так же рассмотрены режимы без смазки и после протекания процесса износа. В результате полученных проекций точек в трех пространствах построены кривые, характеризующие изменения акустического сигнала трения в искусственной среде. По результатам анализа изменения акустического сигнала трения в ультразвуковом диапазоне частот были выделены и обозначены области различного вида трения. Анализируя экспериментальные данные, видно, что таких областей три: область жидкостного трения, полужидкостного трения и область сухого трения; и проведены соответствующие границы. На рисунке 3.8 представлены диаграммы изменения вида трения от давления и скорости в контактируемых ресурсоопределяющих элементах трансмиссий горных машин с рассматриваемыми в эксперименте условиями смазочно-заправочных работ.

Из полученного сводного рисунка 3.8 видно, что существует тенденции увеличения распространения величины и характера акустического сигнала ультразвукового диапазона частот в паре трения с увеличением давления и угловой скорости. Кроме того наблюдаются ярко выраженные переходы от одного вида трения в смазочно-заправочной среде к другому.

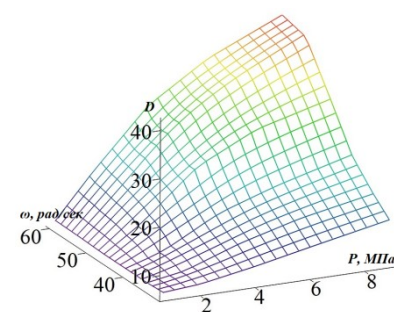
При проведении эксперимента удалось получить подтверждение того, что изменение величины акустического сигнала трения при функционировании зубчатых колес отражает трибопроцессы в паре трения и по его величине можно оценить характер трения, что является важным условием для обеспечения эксплуатационной надежности элементов трансмиссий гидравлических и электрических карьерных экскаваторов.



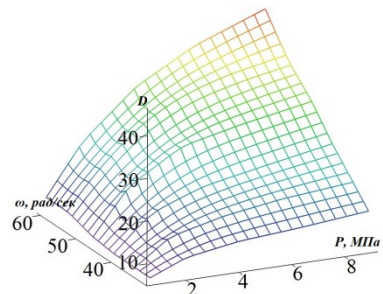
Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «ТМ-5-18»



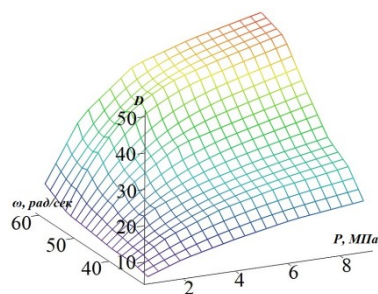
Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «Mobil ATF 3309»



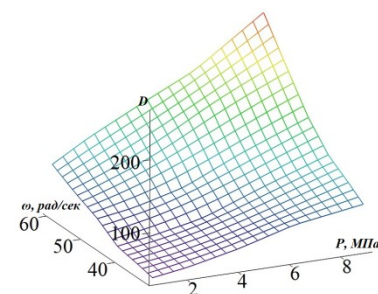
Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «NCS-ECF Let-lub»



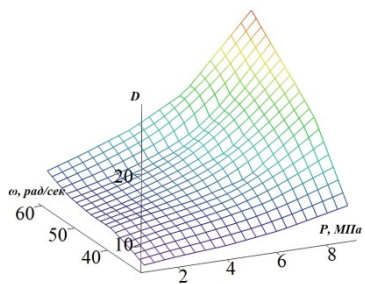
Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «Графитная ОлРайт»



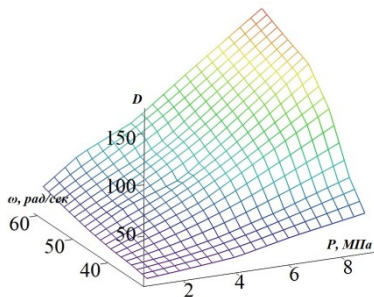
Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «РУС-1»



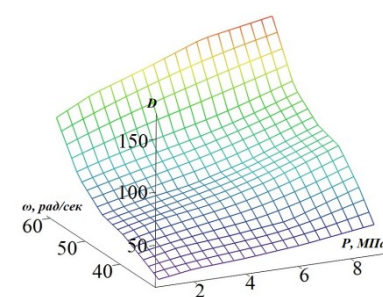
Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «Индустриальное масло И-20»



Изменения вида трения от давления и скорости в контакте со смазкой «Индустриальное масло И-20» с протеканием процесса омеднения



Изменения вида трения от давления и скорости в контакте без смазки



Изменения вида трения от давления и скорости в контакте после процесса износа

Рисунок 3.8 – Изменения вида трения от давления и скорости в контактируемых ресурсопределяющих элементах трансмиссий

Кроме того, в ходе эксперимента удалось выявить наиболее информативные контакты, позволяющие реализовать автономную систему технического обслуживания и диагностирования, между датчиком акустико-эмиссионного сигнала трения и корпусом редуктора карьерного экскаватора.

Вместе с тем АРП-11 позволяет формирование базы данных о состоянии оборудования, что дает возможность фиксировать деградационные процессы в динамике, это позволяет для бортовых систем диагностики, фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для выявления на ранней стадии дефектов и повреждений в трансмиссиях гидравлических и электрических карьерных экскаваторах.

Диаграммы перехода от одного вида трения к другому базируются на основании измерений показателя D , как акустического сигнала в паре трения между ресурсоопределяющими элементами, в функции от угловой скорости вращения и давления в паре трения в смазочно-заправочных средах «ТМ-5-18», «Mobil ATF 3309», «NCS-ECF Let-lub», «Графитная ОлРайт», «PVC-1», «Индустриальное масло И-20», «Индустриальным маслом И-20» при протекании процесса омеднения, а так же рассмотрены режимы без смазки и после протекания процесса износа. В результате полученных проекций точек в трех пространствах построены кривые, характеризующие изменения акустического сигнала трения в искусственной среде. По результатам анализа изменения акустического сигнала трения в ультразвуковом диапазоне частот были выделены и обозначены области различного вида трения. Анализируя экспериментальные данные, видно, что таких областей три: область жидкостного трения, полужидкостного трения и область сухого трения; и проведены соответствующие границы. На рисунке 3.8 представлены диаграммы изменения вида трения от давления и скорости в контактируемых ресурсоопределяющих элементах трнсмиссий горных машин с рассматриваемыми в эксперименте условиями смазочно-заправочных работ.

Из полученного сводного рисунка 3.8 видно, что существует тенденции увеличения распространения величины и характера акустического сигнала

ультразвукового диапазона частот в паре трения с увеличением давления и угловой скорости. Кроме того наблюдаются ярко выраженные переходы от одного вида трения в смазочно-заправочной среде к другому.

При проведении эксперимента удалось получить подтверждение того, что изменение величины акустического сигнала трения при функционировании зубчатых колес отражает трибопроцессы в паре трения и по его величине можно оценить характер трения, что является важным условием для обеспечения эксплуатационной надежности элементов трансмиссий гидравлических и электрических карьерных экскаваторов.

Кроме того, в ходе эксперимента удалось выявить наиболее информативные контакты, позволяющие реализовать автономную систему технического обслуживания и диагностирования, между датчиком акустико-эмиссионного сигнала трения и корпусом редуктора карьерного экскаватора.

Вместе с тем АРП-11 позволяет формирование базы данных о состоянии оборудования, что дает возможность фиксировать деграционные процессы в динамике, это позволяет для бортовых систем диагностики, фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для выявления на ранней стадии дефектов и повреждений в трансмиссиях гидравлических и электрических карьерных экскаваторах.

Все технологические операции, связанные с техническим обслуживанием горнодобывающего оборудования, целесообразно проводить по месту функционирования оборудования. Своевременная замена трансмиссионного масла и технических жидкостей в приводе карьерного экскаватора является главным элементом в обслуживании любых горных машин.

Широко распространенными неисправностями у карьерных экскаваторов, связанные с загрязнением рабочих жидкостей являются интенсивный износ:

- в насосах и гидродвигателях: плунжеров, втулок, шеек, роторов подшипников, корпусных деталей, эрозия элементов;

- у гидроцилиндров: уплотнений, штоков, внутренних поверхностей корпусов цилиндров;

- гидравлической арматуре: износ клапанов, распределителей, регулирующих устройств, что вызывает запаздывание в срабатывании клапанов, колебанию давления в гидросистеме, интенсивному засорению фильтров [31, 32].

Далее в процессе исследования по совершенствованию режима смазочно-заправочных работ проводился эксперимент, в котором в качестве активного элемента был взят шестеренный насос НШ-10, а изменения величины акустического сигнала трения в ультразвуковом диапазоне частот велись по-прежнему прибором АРП-11.

Как и в предыдущих экспериментах, на первом этапе проводилась градуировка скоростей вращения выходного вала мотор-редуктора по фиксированным положениям переключателя изменения частоты вращения выходного вала: $10,89$; $35,34$; $40,97$; $47,12$; $53,8$; $60,2$ (рад/сек) и при фиксированных значениях давления: $0,773$; $2,14$; $4,15$; $6,32$; $9,01$ (МПа). Затем постепенно добавлялся абразив *по 20г 3 раза размером 40 мкм в первой серии* экспериментов и *100 мкм во второй*. В качестве абразива использовался электрокорунд. В качестве базы для сравнения были взяты результаты экспериментов на чистой смазке «ТМ-5-18». Результат экспериментов представлены на рисунках 3.9 и 3.10

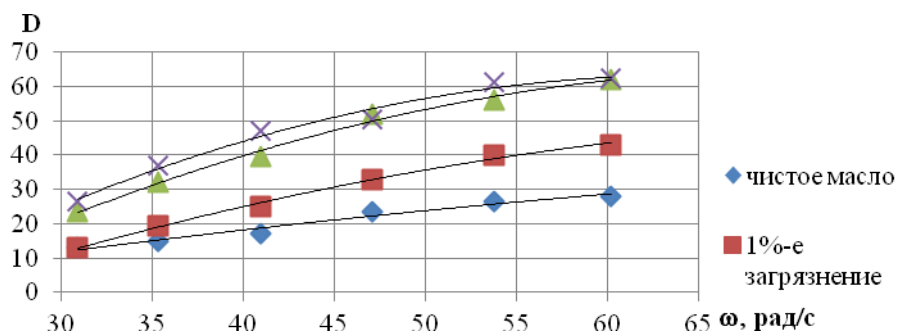


Рисунок 3.9 – Изменение величины акустического сигнала в зависимости от угловой скорости при загрязнении рабочей жидкости абразивом размером 40 мкм

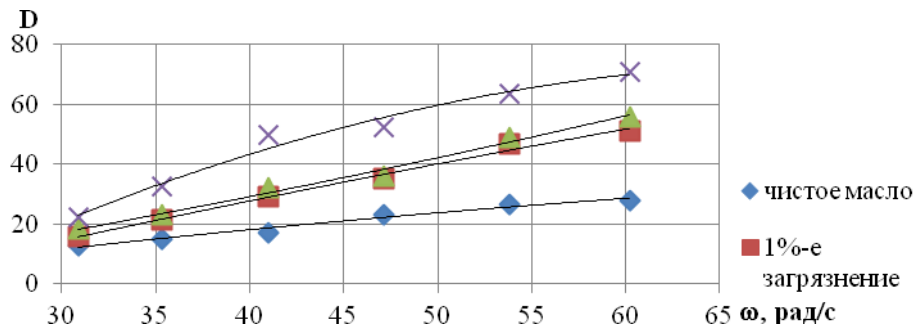


Рисунок 3.10 – Изменение величины акустического сигнала в зависимости от угловой скорости при загрязнении рабочей жидкости абразивом размером 100 мкм

Проведенные эксперименты на стенде показали удовлетворительную точность оценки загрязненности рабочей жидкости и высокий уровень отклика на наличие загрязнения.

Из результатов эксперимента следует вывод о том, что с повышением загрязнения искусственной среды функционирования трансмиссий акустический сигнал ультразвукового диапазона частот обладает тенденцией к увеличению. Кроме того, увеличение показателя акустического сигнала D зависит также от нагрузки и скорости вращения вала насоса, соответствующего угловой скорости вращения выходного вала мотор-редуктора, что подтверждает возможность контролировать состояние загрязненности рабочей жидкости во время работы насоса, применяя устройство, основанное на регистрации акустических сигналов ультразвукового диапазона частот, возникающих в контакте. Проведенный анализ влияния загрязнений на надежность узлов и систем карьерных экскаваторов показывает актуальность проведения мероприятий по своевременной очистке и замене или регенерации рабочих жидкостей для продления ресурса машин, повышения их готовности. При этом отработанные трансмиссионные масла, используемые в карьерной и другой горнодобывающей технике, подлежат обязательной замене на свежие, либо утилизации [47].

Таким образом, в диссертационной работе проведены экспериментальные исследования в целях повышения работоспособности

трансмиссий горных машин путем улучшения эксплуатационного режима смазки их ресурсопределяющих элементов со смазочными маслами и консистентными смазками. Показано подобие проявления фрикционных процессов для ряда смазочных материалов по данным измерений акустического сигнала ультразвукового диапазона в условиях детерминировано изменяемых нагрузок и скоростей. Показано, что подобная диагностика позволяет уверенно осуществлять контроль технического состояния трансмиссий при переходе на обслуживание по техническому состоянию. Применение такого подхода дает возможность осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на оценочных данных акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений. Выбор типа лубриката подшипниковых узлов, имеет определяющее значение. Подтверждена возможность оценки технического состояния сопрягаемых узлов и деталей приводов горных машин, в частности подшипников без разборки редуктора. Указанный подход позволяет автоматизировать процессы автоматической смазки по оценке величины акустического сигнала в ультразвуковом диапазоне частот в паре трения ресурсопределяющих элементов трансмиссии горной машины. Является целесообразным формировать автономные системы технического обслуживания и диагностирования, оснащенные регенерационными установками и бортовыми системами диагностики, позволяющие фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для оценки состояния систем карьерных экскаваторов при проведении работ по замене их рабочих жидкостей и масел, а также замене и пополнении смазками.

3.4 Выводы по главе 3

1. Проведены экспериментальные исследования в целях повышения работоспособности трансмиссий горных машин путем улучшения эксплуата-

ционного режима смазки их ресурсопределяющих элементов со смазочными маслами и консистентными смазками.

2. Показано подобие проявления фрикционных процессов для различного вида лубрикатора, оцениваемых изменением акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в паре трения, выявлено что в рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию возможно осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на оценочных данных акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений.

3. Подтверждена возможность оценки технического состояния сопрягаемых узлов и деталей приводов горных машин, в частности подшипниковых узлов в целом без разборки редуктора.

4. Применение контроля технического состояния по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот в работе трибосопряжений трансмиссий легко позволяет автоматизировать систему подачи смазки в узлы трения, при получении заданной величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в паре трения.

ГЛАВА 4 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕРОПРИЯТИЙ ТОиР ТРАНСМИССИЙ ГОРНЫХ МАШИН

4.1. Теротехнология для горных машин

Теротехнология – это технология обеспечения эффективного функционирования горной машины в течение всего срока службы с учетом технологических, технических и организационных факторов и связей между ними, основанная на непрерывном выявлении и устранении причин, снижающих эффективность функционирования ресурсопределяющих элементов.

Для карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К в качестве показателя эффективности удобно принять величину эксплуатационной надежности, при этом рациональная величина надежности соответствует по возможности максимальной эффективности функционирования оборудования. Это обусловлено тем, что при заданном уровне эксплуатационной надежности обеспечивается стабильная работа оборудования обеспечивающая требуемые значения его эксплуатационных показателей.

Наиболее важный фактор теротехнологии – это качество горнодобывающего оборудования, которое выпускается и характеризуется соответствием требованиям технологических процессов, происходящих в минерально-сырьевом комплексе, обязательно с учетом всех рисков и возможной интенсификации. Основная задача теротехнологии заключается в обеспечении высокой базовой надежности, которая определяет цели и условия, чтобы в конечном итоге был достигнут высокий уровень эксплуатационной надежности. Именно высокий уровень базовой надежности, даже при несовершенной системе ТОиР обладает высоким потенциальным уровнем эффективности функционирования и эксплуатации оборудования.

Теротехнология предусматривает применение системного подхода при создании *системы ТОиР*. Иными словами, ТОиР рассматривается как система, обеспечивающая реализацию готовности оборудования в реальных условиях эксплуатации. Стратегия ТО по фактическому состоянию не предусмат-

ривает жесткой периодичности и продолжительности ремонтов. Уровень возможных рисков и их последствий осуществляется на основании оценки их влияния на снижение эффективности функционирования горной машины как вследствие снижения производительности последней или соответствующих последствий отказа, так и величины потребных затрат. На основании такого анализа устанавливают очередность устранения потенциальных неблагоприятных ситуаций с учетом достижения заданной эффективности функционирования оборудования и использования имеющихся ресурсов. Методичное устранение подобных явлений способствует постоянному повышению эксплуатационной надежности оборудования, характеризуемому постоянным увеличением межремонтных периодов. Важным элементом в решении этих задач является техническая диагностика оборудования и его элементов.

Модернизация оборудования становится основной составляющей ТОиР, так как она решает проблемы как поддержания стабильного уровня производства и качества выпускаемой продукции, так и необходимого уровня надежности.

Планирование основного производства этот фактор следует иметь в виду при проектировании карьерных экскаваторов, предусматривая дополнительный резерв надежности.

Факторы теротехнологии и их составляющие находятся в тесной взаимосвязи: с изменением одних меняются и другие. Например, обновление оборудования приводит к повышению эксплуатационной надежности, что в свою очередь снижает объемы ТОиР.

Взаимосвязь факторов удобно рассматривать в виде структурной схемы, которая представлена на рисунке 4.1.

Самый высокий уровень данной структурной схемы заключается в достижении конечной цели – достижении полноценного и эффективного функционирования. Более низкие уровни представляют цели, достижение которых определяет обеспечение основных факторов теротехнологии.

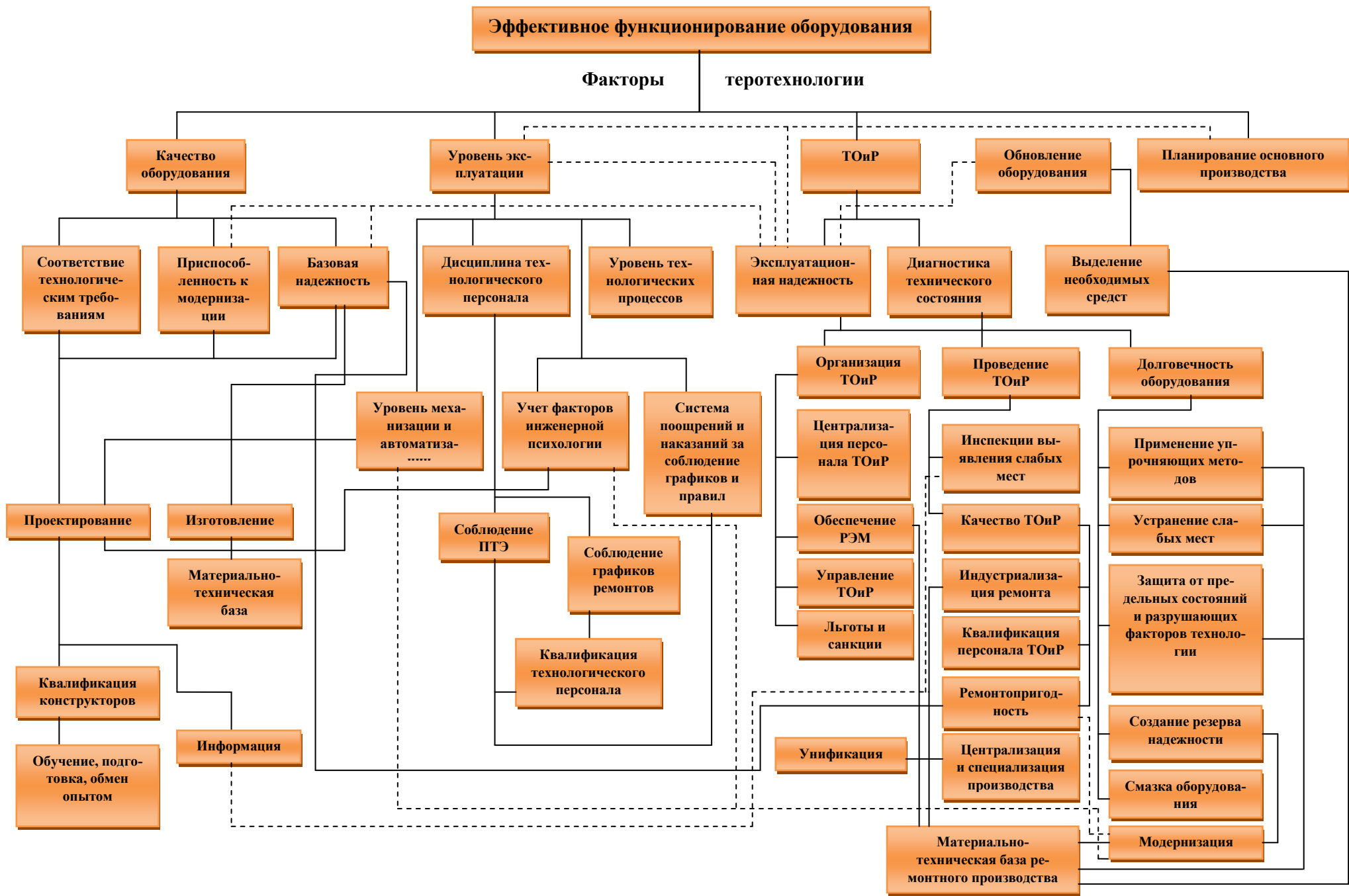


Рисунок 4.1 – Факторы теротехнологии и взаимосвязь между ними

Данная структурная схема может быть дополнена другими целями или цели могут быть изменены в процессе функционирования горной машины.

Разрабатывается научное предложение по совершенствованию мероприятий ТОиР трансмиссий горных машин, путем улучшения эксплуатационного режима смазки ресурсопределяющих элементов, что подразумевает развитие системы стационарного мониторинга с применением теротехнологий и процесса управления жизненным циклом карьерных экскаваторов типа ЭКГ – 18Р/20К, которая сможет обеспечивать непрерывный контроль технического состояния основных узлов, исключая пропуск неблагоприятных тенденций и аварийный вывод объекта из технологического процесса.

4.2 Управление бэклогами при мероприятиях ТОиР трансмиссий горных машин

Развитие системы стационарного мониторинга с применением теротехнологий и процесса управления жизненным циклом карьерных экскаваторов типа ЭКГ – 18Р/20К подразумевает и управление бэклогами при мероприятиях ТОиР.

Бэклог - это зарегистрированная работа, которая ожидает ремонтного или обслуживающего воздействия в плановом порядке, необходимость которой вызвана невыполненными работами по ТОиР в регламентированные сроки или появилась в процессе эксплуатации карьерных экскаваторов.

В первую очередь должен быть создан регламент, формат и форма отчета для передачи информации непосредственно с экскаватора в отдел планирования.

Результаты инспекций операторов должны быть отфильтрованы инспектором, чтобы преобразовать их в официальный запрос на ремонт оборудования. Вводные данные, которую должен содержать бэклог, представлены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Вводные данные для бэклога карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К

Вводные данные для бэклога карьерных экскаваторов типа ЭКГ – 18Р/20К		
Этап	Описание	Цель
Номер SAP	Номер сообщения МЗ	Отслеживание
Вид инспекции	Идентифицирует источник генерации	Оценить вклад различных операций и процедур
Симптом	Обозначение проблемы	Идентифицировать тревожные сигналы, выявленные во время инспекций, указывающие на необходимость конкретного ремонта
Ремонтное воздействие	Описание необходимого ремонтного воздействия	Определить какая конкретно работа должна быть выполнена, как можно четко и понятно, для исключения дальнейших инспекций
Система	Определить систему согласно принятому ISO (ГОСТ, ТУ)	Выполнение статистического анализа
Приоритет	Определить срочность и критичность ремонта, оценить риски	Планирование. Отношение к БЛ соответственно их срочности и критичности
Расчетное время ремонта	Определить трудоемкость в человеко-часах и время восстановления, необходимые для обслуживания и ремонта	Оценить критичность и сложность работы и будущую загруженность гаража и оборудования
Необходимые запчасти	Определить перечень ЗИП необходимых для ремонта	Запчасти должны быть идентифицированы специалистом или дилером
Необходимое оборудование и инструмент	Определите потребность в инструментах, оборудовании, расходных материалах, информации и т.д.	Эффективное планирование
Кем выявлено	Определить источник информации. Особенно важно, когда задействован оператор.	Облегчить возможность контроля. Признание и мотивация.
Введено в систему	Ввод даты, когда бэклог был введен в SAP	Контроль процесса
Ожидание запчастей	Для использования в отделе запчастей	Планирование и контроль
Доставка запчастей	Определяет фактическую дату прибытия деталей	Запускает следующий этап планирования, график ремонта.

Точная и полная информация позволяет отделу планирования эффективно и результативно выполнять свои функции, избегая дублирования усилий из-за переоценки необходимого ремонта.

Подход к управлению бэклогами заключается в том, чтобы рассматривать его как мощный инструмент для профилактического обслуживания предотвращения отказов. Управление бэклогами является одним из ключей к прогрессивной системе обслуживания оборудования. Если усилия, прилагаемые к мониторингу технического состояния, не приводят к значительному проценту запланированных ремонтов, это отрицательно скажется на соответствующих результатах надежности, затратах и доступности оборудования. Процедуры планирования также будут нарушены.

Управление бэклогами - это процесс, возникающий в период между обнаружением симптома потенциального или скрытого отказа и возникновением самого фактического отказа.

По результатам серии экспериментов, описанных в главе 3, и на основании алгоритма ежеменного технического осмотра карьерного экскаватора ЭКГ-18Р/20К, предлагается ввести новые этапы в ключевые моменты процесса управления бэклогами на горнодобывающем оборудовании.

Предлагается на основании вводных данных для бэклога карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К провести анализ бэклога, включающий в себя такие факторы как: ремонтные воздействия, необходимость срочности, наличие и необходимость запчастей и другие ресурсы.

Следующим шагом нужно провести организацию ресурсов, выполнив следующие действия:

- ✓ на основании данных сделать запрос запчастей;
- ✓ провести поиск критической информации;
- ✓ провести проверку инструментов и ресурсов;
- ✓ организовать рабочую силу.

Следующим шагом нововведений в карту управления бэклогами станут тестовые включения экскаватора при заданной нагрузке.

На основании подтвержденного экспериментально подобия проявления фрикционных процессов для различного вида лубрикатора, оцениваемых изменением акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в паре трения, было установлено, что в рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию возможно осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на оценочных данных акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений.

Предложение по совершенствованию и развитию системы стационарного мониторинга с применением теротехнологий и процесса управления жизненным циклом карьерных экскаваторов типа ЭКГ – 18Р/20К предполагает тестовые включения экскаватора при заданной нагрузке в процесс и контроль ресурсопределяющих узлов и элементов по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот.

Данный подход позволяет осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на оценочных данных акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений.

Выбор типа лубрикатора подшипниковых узлов, имеет определяющее значение. Указанный подход позволяет автоматизировать процессы автоматической смазки по оценке величины акустического сигнала в ультразвуковом диапазоне частот в паре трения ресурсопределяющих элементов трансмиссии горной машины.

Является целесообразным формировать автономные системы технического обслуживания и диагностирования, оснащенные регенерационными установками и бортовыми системами диагностики, позволяющие фиксировать сигналы акустико-эмиссионного диапазона для оценки состояния систем

карьерных экскаваторов при проведении работ по замене их рабочих жидкостей и масел, а также замене и пополнении смазками.

Данные предложения по совершенствованию мероприятий ТОиР внесены в карту управления бэклогами, представленную на рисунке 4.2.

Далее как только карта и форма бэклога заполнена, она переходит к отделу планирования. В процессе управления бэклогами есть три основных этапа:

- *Бэклог внесен в журнал неисправностей и внесен в базу данных. Ожидание обработки.*
- *Бэклог запланирован и ожидание ресурсов, обычно запчастей.*
- *Бэклог готов к исполнению. Запланировано, ожидает выполнения.*

Чтобы облегчить идентификацию этих этапов и обработку количества бэклогов, поступающих в систему, предлагается присвоить соответствующий цвет каждому определенному в процессе управления этапу.

Красный, синий и зеленый цвета выбраны соответственно и обозначены пунктирными границами на рисунке 4.2.

Начальная точка процесса планирования начинается на «красной стадии», когда бэклог заносится в базу данных SAP. На этом этапе запрос может оставаться в «ожидании обработки» или может перейти к следующему этапу, если действия по планированию будут предприняты немедленно.

Как только действия по планированию предприняты, проанализированы, фактический требуемый ремонт установлен, и необходимые ресурсы (детали и д.р.) заказаны, бэклог переходит на следующий этап, «Синий». Следующий, «Зеленый этап», содержит все бэклоги «готовые к исполнению», все необходимые ресурсы подгот

Поступление на склад или физическая доступность запчастей и других специальных ресурсов является условием для переноса бэклога на этот этап. На этом этапе бэклог готов к включению работы в ближайшее ТО или выполнению во время ближайшего операционного простоя.

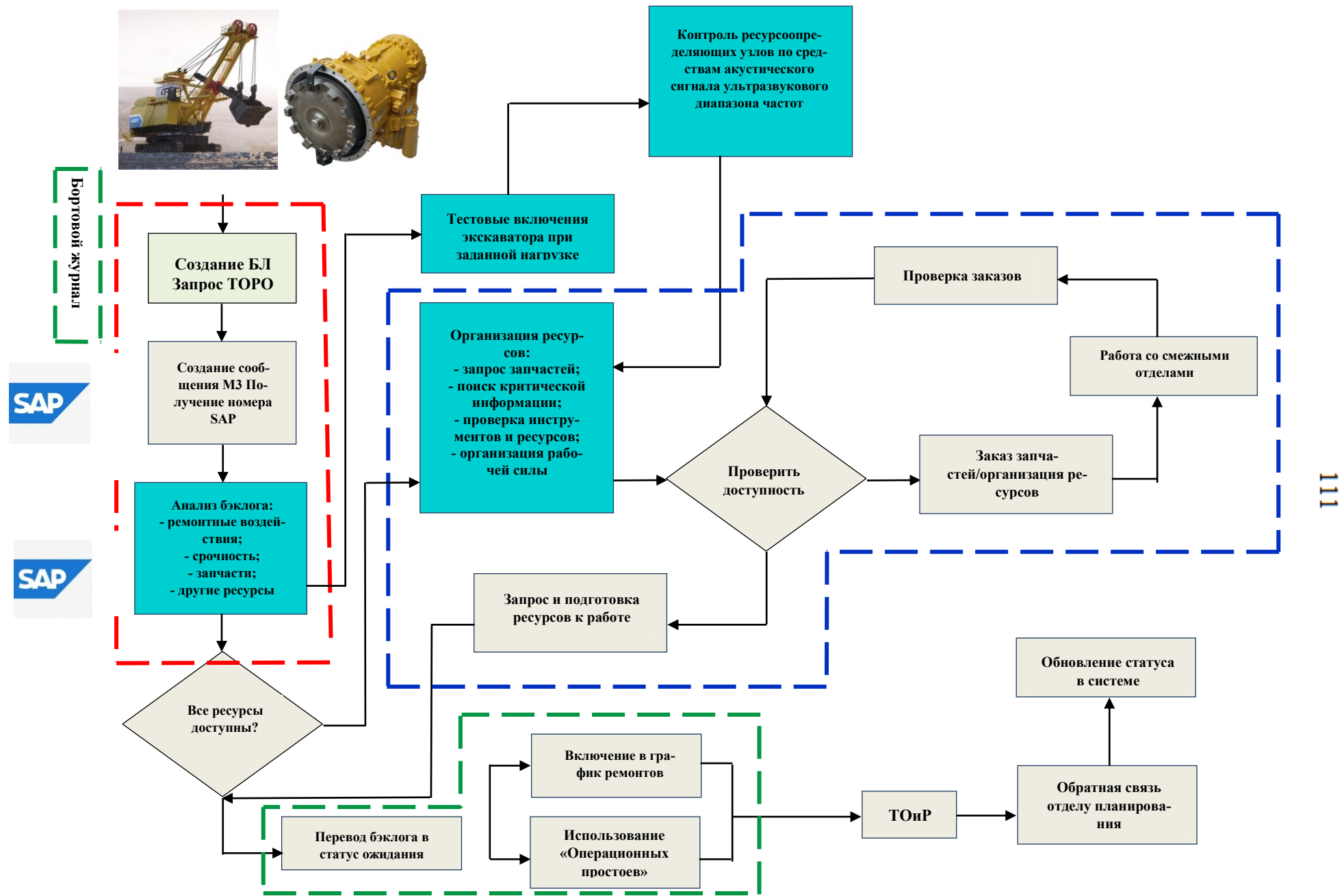


Рисунок 4.2 – Карта управления бэклогами

Для качественного управления процесса можно использовать визуализацию баланса между созданными бэклогами, выполненными и ожидающими выполнение.

Конечной целью процесса управления бэклогами является достижение целевых показателей службы ТОРО: процента запланированных работ и надежности оборудования.

Исходя из этих целей, можно оценить процесс управления бэклогами для каждой из определенных функциональных областей и оценить их вклад в достижение желаемых конечных результатов. Показатели эффективности управления бэклогами представлены в Таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Показатели эффективности управления беклогами

Индикатор	Описание	Цель
Количество бэклогов	Количество бэклогов в процессе. Необходимо определить работу, а не выполнить	Оценивает рабочую нагрузку и риск отказов
Количество бэклогов в SAP	Количество бэклогов числится в системе	Оценивает способность мониторинга технического состояния для выявления потенциальных проблем
Расчетное время ремонта	Сумма времени для выполнения всех бэклогов	Оценивает нагрузку на выполнение бэклогов и потерю доступности оборудования
Процент бэклогов больше 30 дней	Измерение с начала дня, когда бэклог был введен в систему	Оценивает время реакции службы ТОРО
Количество бэклогов в разных фазах процесса (красный-синий-зеленый)	Число идентифицированных бэклогов, ожидающих планирования, ожидающих ресурсов и ожидающих выполнения	Определяет слабую область, где процесс задерживается
Бэклоги, выявленные инспекциями	Бэклоги генерируемые операторами, инспекторами, во время ТО РМ и д.р.	Определяют наиболее эффективные способы выявления
Бэклоги выявленные на определённую систему машины	Созданные бэклоги отсортированы по системам машины	Оценивает способность процедур мониторинга технического состояния обнаруживать проблемы

4.3. Предложение по совершенствованию эксплуатационного режима смазки карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К

На основании применения контроля технического состояния по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот в работе трибосопряжений трансмиссий предлагается совершенствовать эксплуатационный режим смазки карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К и автоматизировать систему подачи смазки в узлы трения.

Сущность изобретения заключается в том, что устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий содержит камеру, электроакустический датчик, измерительный блок, подключенный к датчику, входной трубопровод с вентилем входного трубопровода и выходной трубопровод с вентилем выходного трубопровода, подключенные к камере и насосу с приводным двигателем, при этом насос выполнен шестеренным и неподвижно установлен на камере на внешней ее поверхности, а приводной вал насоса соединен с приводным двигателем, при этом электроакустический датчик выполнен с ультразвуковым диапазоном рабочих частот от 30 до 300 кГц и закреплен на корпусе шестеренного насоса в непосредственной близости от точки зацепления зубьев роторов шестеренного насоса, входной и выходной трубопроводы одним своим концом присоединены к корпусу шестеренного насоса на расстоянии более трех диаметров роторов шестеренного насоса от места крепления электроакустического датчика каждый, а выходные концы входного и выходного трубопроводов соответственно закреплены в камере на расстоянии более трех диаметров входного трубопровода друг от друга, при этом вентиль входного трубопровода выполнен с тройником, а вентиль выходного трубопровода выполнен в виде управляемого дросселя, электроакустический датчик, приводной двигатель и вентиль выходного трубопровода присоединены к измерительному блоку, который включает блок измерения, который последовательно соединен с блоком вывода результатов измерений, через блок сравнения измерений, вход блока измерений соединен с выходом электроакустического датчика, выход кон-

троллера двигателя соединен с обмотками двигателя и выход блока управления вентилем соединен с входом привода управляемого дросселя выходного трубопровода. Данное предложение позволяет расширение информационных возможностей устройства для оперативной оценки степени загрязнения среды функционирования в любой момент времени.

Технический результат достигается тем, что насос выполнен шестеренным и неподвижно установлен на камере на внешней ее поверхности, а приводной вал насоса соединен с приводным двигателем, при этом электроакустический датчик выполнен с ультразвуковым диапазоном рабочих частот от 30 до 300 кГц, и закреплен на корпусе шестеренного насоса в непосредственной близости от точки зацепления зубьев роторов шестеренного насоса, входной и выходной трубопроводы одним своим концом присоединены к корпусу шестеренного насоса на расстоянии более трех диаметров роторов шестеренного насоса от места крепления электроакустического датчика каждый, а выходные концы входного и выходного трубопроводов соответственно закреплены в камере на расстоянии более трех диаметров входного трубопровода друг от друга, при этом, вентиль входного трубопровода выполнен с тройником, а вентиль выходного трубопровода выполнен в виде управляемого дросселя, электроакустический датчик, приводной двигатель и вентиль выходного трубопровода присоединены к измерительному блоку, который включает блок измерения, который последовательно соединен с блоком вывода результатов измерений, через блок сравнения измерений, вход блока измерений соединен с выходом электроакустического датчика, выход контроллера двигателя соединен с обмотками двигателя и выход блока управления вентилем соединен с входом привода управляемого дросселя выходного трубопровода [51, 52].

Таким образом, для оценки загрязнения текучей среды в любой момент времени не требуется значительных трудозатрат, так как весь процесс проходит при минимальном участии оператора, а компоновка устройства с небольшим количеством подвижных элементов и наличие специального алго-

ритма в блоке сравнения измерений, а также оперативный вывод результатов расширяет информационные возможности устройства [8, 47].

Предлагаемая система автоматизации циркуляционной системы смазки на карьерном экскаваторе представлена в виде отдельных систем, связанных в одну общую.

К данной автоматизированной циркуляционной системе смазки предлагается комплектное устройство управления – программируемый логический контроллер в комплекте с сенсорной ж/к панелью и предустановленным программным обеспечением, блоками питания, устройствами гальванической развязки (рисунок 4.3).

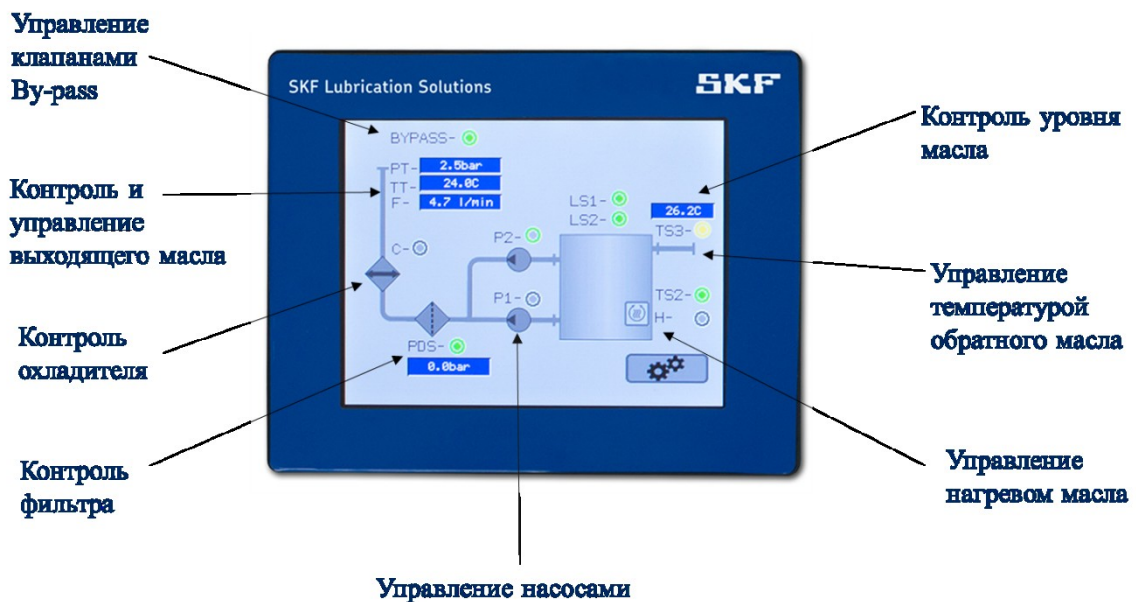


Рисунок 4.3 – Устройство управления SKF ST-2240-CIRC

Данная автоматизированная циркуляционная система смазки осуществляет следующий контроль:

- ✓ контроль давления масла и история изменений;
- ✓ контроль температуры масла и история изменений;
- ✓ общий сигнал на другие расходомеры;
- ✓ потеря давления в фильтре, переключатель разницы давления или передатчик;

- ✓ тенденция и сигналы фильтра при работающем передатчике разницы давления;
- ✓ сигналы фильтра при работающем передатчике разницы давления;
- ✓ контроль температуры возвратного масла с помощью температурного передатчика или переключателя;
- ✓ регулировка давления при холодном старте;
- ✓ сигнализация предела уровня масла в резервуаре и пределы остановки;
- ✓ термостат нагревателя и защита от перегрева.

На рисунках 4.4 и 4.5 отображены процессы управления клапанами АЦСС.

Интерфейс

- Сенсорный дисплей 5,7"
- USB выход для передачи данных истории
- выход Ethernet для удаленного доступа

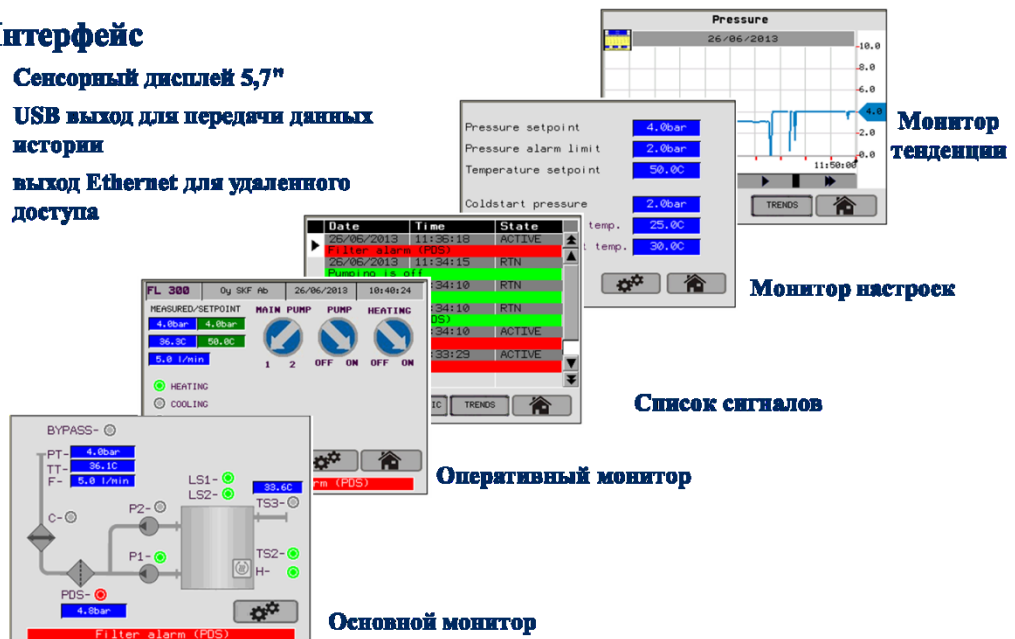


Рисунок 4.4 – Интерфейс автоматизированной циркуляционной системы смазки горных машин

С помощью центра управления можно осуществлять контроль, в том числе через отдалённый монитор или с использованием смартфонов Android и Iphone [64, 88].

Основной монитор

- Состояние системы

Компоновка монитора зависит от конфигурации системы.

Оперативный монитор

- Содержит выключатели СТАРТ и СТОП для насосов и нагревателей

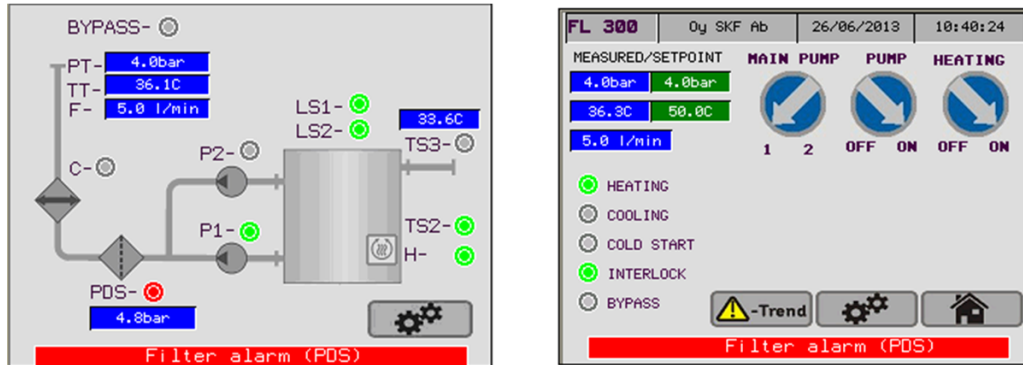


Рисунок 4.5 – Процессы управления клапанами By-pass

Устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий (Приложение Б), расположенное на трансмиссии, работает следующим образом. Перед началом работы устройство проходит градуировку, где для рабочей жидкости осуществляется измерение акустического сигнала ультразвукового диапазона частот электроакустическим датчиком при прохождении через насос чистой рабочей жидкости на холостом ходу и под нагрузкой, создаваемой вентилем выходного трубопровода и работающим насосом. В дальнейшем, по мере изнашивания насоса градуировку периодически проводят снова, подводя чистую рабочую жидкость через тройник вентиль входного трубопровода.

Перед началом измерения открывают вентиль входного трубопровода, включают измерительный блок. По сигналу блока управления вентиль измерительного блока открывается вентиль выходного трубопровода. По сигналу контроллера двигателя включается приводной двигатель, который передает крутящий момент приводному валу насоса закрепленного на внешней поверхности камеры. В свою очередь, приводной вал вращает роторы шестеренного насоса, и жидкость из

камеры через входной трубопровод поступает в корпус шестеренного насоса. Роторами шестеренного насоса в точке зацепления зубьев генерируется высокочастотный акустический сигнал трения, который воспринимается через корпус шестеренного насоса электроакустическим датчиком, работающим в диапазоне частот от 30 до 300 кГц. Жидкость, пройдя через насос, возвращается в камеру через выходной трубопровод. От электроакустического датчика сигнал передается на блок измерения, обрабатывается блоком сравнения измерений с применением специального алгоритма сравнения измеряемых значений и результат измерения выводится с помощью блока вывода результатов измерений. Далее подают управляющий сигнал вентилю выходного трубопровода на его ограниченное закрытие, с помощью блока управления вентилем, и система продолжает работать, но уже под давлением. Новый сигнал, генерируемый роторами шестеренного насоса под давлением, также фиксируется электроакустическим датчиком и обрабатывается в измерительном блоке, аналогично работе устройства на холостом ходу.

Турбулентные потоки, вытекающие из выходного конца выходного трубопровода, и поступающие во входной конец входного трубопровода, не влияют друг на друга, так как расположены друг от друга на расстоянии L , более трех диаметров трубопровода, а установка электроакустического датчика в непосредственной близости от источника генерации акустического сигнала в точке зацепления зубьев позволяет получить на электроакустическом датчике сигнал максимально возможной мощности.

После завершения измерений оценки загрязненности рабочей жидкости и получения результатов измерений дается сигнал на измерительный блок о выключении приводного двигателя насоса и полном закрытии вентиля выходного трубопровода, вентиль входного трубопровода также закрывают, то есть насос отключается и до следующего измерения система находится в покое.

Таким образом, предложено новое техническое решение, позволяющее повысить работоспособность трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки, осуществляя раннюю диагностику поврежденных ресурсопределяющих сопряжений и своевременной реновации лубриката на основании оценки состояния элементов трансмиссий в рамках осуществления технологий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин.

4.4 Выводы по главе 4

1. Разработано предложение по совершенствованию и развитию системы стационарного мониторинга с применением теротехнологий и процесса управления жизненным циклом карьерных экскаваторов типа ЭКГ – 18Р/20К, которое предполагает тестовые включения экскаватора при заданной нагрузке и контроль ресурсопределяющих узлов и элементов по средствам акустического сигнала ультразвукового диапазона частот.

2. Является целесообразным формировать автономные системы технического обслуживания и диагностирования, оснащенные регенерационными установками и бортовыми системами диагностики, позволяющие фиксировать акустические сигналы ультразвукового диапазона частот для оценки состояния систем карьерных экскаваторов при проведении работ по замене их рабочих жидкостей и масел, а также замене и пополнении смазками.

3. Разработанные предложения по совершенствованию мероприятий ТОиР внесены в карту управления бэклогами, данные изменения позволяют осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на оценочных данных акустического сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений.

4. Разработана методика повышения работоспособности трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки рабочих поверхностей ресурсопределяющих сопряжений.

5. Разработано устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий, позволяющее совершенствовать эксплуатационный режим смазки карьерных экскаваторов типа ЭКГ-18Р/20К и автоматизировать систему подачи смазки в узлы трения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой представлено новое научно-обоснованное технико-технологическое решение повышения работоспособности трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки, при ранней диагностике повреждений ресурсопределяющих сопряжений элементов трансмиссий по изменению величины показателя акустического сигнала ультразвукового диапазона в рамках осуществления мероприятий технического обслуживания и ремонта горных машин.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. На основании анализа и обобщения теоретических и экспериментальных исследований установлено, что основной причиной отказа карьерных экскаваторов является повышенный износ ресурсопределяющих трибосопряжений трансмиссий. Показано, что своевременная и качественная смазка, осуществляемая в рамках ТОиР, элементов трансмиссии горной машины снижает риски деградационных процессов.

2. На основе анализа существующих систем и режимов смазки рабочих поверхностей элементов ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий горных машин разработан и теоретически обоснован способ обеспечения работоспособности ресурсопределяющих сопряжений трансмиссий горных машин формированием искусственных сред функционирования и реновации лубрикатора на основании оценки изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона в парах трения.

3. Проведены лабораторные исследования процессов трения элементов трансмиссии горной машины. Выявлено, что в рамках стратегии технического обслуживания и ремонта по фактическому состоянию возможно осуществлять и планировать регламентные работы по техническому обслуживанию горной техники и ее ремонту, на основе оценочных данных акустического

сигнала ультразвукового диапазона при функционировании трансмиссий горных машин, для выявления дефектов их ресурсопределяющих сопряжений по относительному изменению величины показателя акустического сигнала D и кратного увеличения среднеквадратичного отклонения его текущего значения в заданных нагрузочных режимах.

4. Экспериментально установлено, что интенсивность протекания трибологических процессов, оцениваемых показателем D , при увеличении скорости скольжения для базового трансмиссионного масла описывается экспоненциальной функцией и при изменении давления квадратичной функцией, вместе с тем применение смазочных масел с соответствующими присадками и модификаторами трения с учетом вязкости позволяют обеспечивать нормальную работу сопряжений, снизив значение акустического сигнала D ультразвукового диапазона частот в 3-5 раз по сравнению с базовым маслом. Что касается консистентных смазок, то функции изменения показателя D возможно описывать экспоненциальной функцией при детерминированном изменении скорости скольжения и квадратичной функцией – для изменяемого давления в соединении. Коэффициенты детерминации составили $R^2 = 0,9-0,98$.

5. Разработан алгоритм оценки технического состояния ресурсопределяющих элементов трансмиссий горных машин по интенсивности изменения величины акустического сигнала ультразвукового диапазона от удельной нагрузки и скорости в контакте относительно соответствующей базовой величины, характеризующих условия их смазывания, корректировки уровня смазки по изменению относительной величины D в сравнении с исходным его значением и учетом изменения величины среднего квадратичного отклонения при заданных условиях нагружения, реализуемый в скорректированной структуре ремонтного цикла. Предложена карта управления бэклогами в рамках разработанного алгоритма для структуры ремонтного цикла.

6. Предложено новое научно-обоснованное техническое решение, направленное на повышение работоспособности трансмиссий горных машин

путем корректировки эксплуатационного режима смазки, осуществляя раннюю диагностику повреждений ресурсопределяющих сопряжений и своевременной реновации лубриката на основании оценки состояния элементов трансмиссий в рамках осуществления технологий по техническому обслуживанию и ремонту горных машин, (патент РФ № 2739147 «Устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий»).

7. Результаты исследований использованы ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова», г. Санкт-Петербург на стадии разработки эксплуатационной и ремонтной документации, в частности «Руководство по эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К»; «Регламент технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К».

Развитие системы технического обслуживания по фактическому состоянию горных машин с мониторингом ресурсопределяющих элементов по величине уровня сигнала ультразвукового диапазона частот является перспективным направлением в развитии теротехнологий горного оборудования и позволяет снизить затраты на его техническое обслуживание с одновременным повышением эффективности последнего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов, А.А. Проектирование гидравлической схемы механизма подъема кабины карьерного экскаватора программой FluidSIM Hydraulics из пакета Festo Didactic / А.А. Абдрахманов, И.И. Усов, В.С. Великанов // University Stars – 2016. Сборник проектов международного интеллектуального конкурса студентов и аспирантов. [Электронный ресурс] / под ред. проф. А.Н. Григорьева. – Электрон. текст. дан. (1 файл 7,2 Мб). – М.: РусАльянс Сова, 2017. С. 21-25.
2. Андреева, Л.И. Выбор стратегии ремонтного обслуживания горной техники // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. - 2021. - № 4. - С. 83-91. DOI: 10.21440/0536-1028-2021-4-83-91.
3. Анистратов, К. Ю. Анализ рынка карьерных экскаваторов и самосвалов в РФ и странах СНГ. Горное дело: информ.–аналитич. портал. URL: [http://www.gornoe-delo.ru/articles/detail.php ID=7508](http://www.gornoe-delo.ru/articles/detail.php_ID=7508) (дата обращения: 10.04.2017).
4. Анистратов, К.Ю. Обоснование перспективного ряда карьерных гидравлических экскаваторов ОАО «УРАЛМАШЗАВОД» / А.В. Самолазов, К.Ю. Анистратов, Н.И. Костюкович // Материалы международного научного симпозиума «Неделя горняка-2014». Москва, 27-31 января, 2014.
5. Бердников, И. Е. Математические модели определения количества отказов транспортно-технологических машин в зависимости от факторов условий эксплуатации / И. Е. Бердников, С. П. Озорнин // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2017. №2 (54).
6. Биргер, И.А. Техническая диагностика. – М.: Машиностроение, 1978. – 240 с.
7. Булес, П. Применение мощных гидравлических экскаваторов – фактор надежности в развитии горных предприятий // Материалы Международной конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ 2014», Mining world Russia, 9 апреля, 2014 г, Москва.

8. Бурданов, В.Н. Непрерывное дозирование жидкости насосами возвратно-поступательного действия - СПб: Геликон Плюс, 2012. – 224 с.

9. Вавилов, А.В. Методы оценки технического состояния при диагностировании механических и гидромеханических трансмиссий строительной дорожной и транспортной техники / А.В. Вавилов, В.В. Яцкевич, А.Н. Максименко // Вестник Белорусско-Российского университета. - 2012. - №1 (34). - С. 5-12.

10. Васильченко, В. Диагностика технического состояния гидропривода мобильных машин [Электронный ресурс]: [сайт] . [2020] URL: <https://os1.ru/article/7222-diagnostics-tehnicheskogo-sostoyaniya-gidroprivoda-mobilnyh-mashin> (дата обращения: 15.04.2021).

11. Великанов, В. С. Прогнозирование нагруженности рабочего оборудования карьерного экскаватора по нечетко-логистической модели // Записки Горного института. - 2020. - № 241. - С. 29-33. DOI: 10.31897/rmi.2020.1.29.

12. Великанов, В.С. Обзор работ в области теории и практики эргономических исследований / В.С. Великанов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – С.5-7.

13. Великанов, В.С. О влиянии квалификации операторов на забойную производительность ЭКГ / В.С. Великанов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. – С. 24-26.

14. Великанов, В.С. Возможности виртуального прототипирования в эргономическом реинжиниринге рабочих мест горных и строительных машин / В.С. Великанов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2017. – №5-2. – С. 211-216.

15. Великанов, В.С. Эксплуатация программы для ЭВМ по определению нагрузок в рабочем оборудовании экскаваторов типа ЭКГ / В.С. Велика-

нов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2018. – С. 28-31.

16. Великанов, В.С. Причинно-следственный анализ факторов, влияющих на эффективность эксплуатации экскаваторов в условиях рудных карьеров Южного Урала / В.С. Великанов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – С. 29-34.

17. Великанов, В.С. Реализация расчетной модели и конструкции механизма подъема кабины карьерного экскаватора / В.С. Великанов, А.В. Козырь, О.Р. Панфилова // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2019. – С. 35-41.

18. Великанов, В.С. Определение социального и экономического эффекта при реализации мероприятий по повышению эргономичности карьерных экскаваторов / В.С. Великанов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. науч. тр. Тула: ГОУ ВПО «ТулГУ», 2011. – Т1. – С. 437-442.

19. Великанов, В.С. Метод анализа иерархий в установлении значений весовых коэффициентов эргономических показателей карьерных экскаваторов / В.С. Великанов, А.А. Шабанов // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сб. науч. тр. Тула: ГОУ ВПО «ТулГУ», 2012. – Т1. – С. 238-244.

20. Великанов, В.С. Оценка факторов, влияющих на эффективность функционирования горных машин и комплексов с использованием среды Matlab Fuzzy Logic Toolbox / В.С. Великанов, К.В. Исмагилов, Р.Х. Шарипов // Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: материалы Международной научно-технической конференции. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2013. – С. 315-318.

21. Визуальный и измерительный контроль / В.В. Ключев и др.; под ред. В.В. Ключева. – М.: РОНКТД, 1998. – 245 с.
22. Ганин, А.Р. Область эффективного применения карьерных экскаваторов производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» // Материалы Международной конференции «Машины и оборудование для открытых горных работ 2014», Mining world Russia, 9 апреля, 2014 г, Москва.
23. Ганин, А.Р. Современные инженерные решения и практический опыт эксплуатации карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р/20К производства «ИЗКАРТЭКС»/ А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Горное дело – 2014. – №1(2). – С. 40-47.
24. Ганин, А.Р. Карьерные экскаваторы ЭКГ-12К производства ИЗ-КАРТЭКС для цементной промышленности / А.Р. Ганин, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Цемент и его применение. – 2014. – №1. – С.162-165.
25. Герике, П.Б. Формирование единого диагностического критерия для оценки технического состояния горного оборудования / П.Б. Герике, Б.Л. Герике // Горное оборудование и электромеханика. - 2021.- № 2. - С. 17-22. DOI: 10.26730/1816-4528-2021-2-17-22.
26. Гетопанов, В.Н. Проектирование и надежность средств комплексной механизации. / В.Н. Гетопанов, В.М. Рачек. – М. Недра, 1986. – 208 с.
27. Дрыгин, М.Ю. Анализ систем технического обслуживания и ремонта горного оборудования // Горное оборудование и электромеханика. - 2020. - № 2. - С. 35-43. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-2-35-43.
28. Емельянов, А.А. К вопросу оценки влияния квалификации машиниста на техническое состояние экскаватора / А.А. Емельянов, С.Л. Иванов, Д.А. Шибанов //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2017, S38, С.442-453.
29. Иванов, С.Л. Основы расчетного определения энергоресурса редукторов горных машин / С.Л. Иванов // Горный журнал. – 1997. – №11. – С.29-30.

30. **Князькина, В.И.** К вопросу оценки технического состояния и качества обслуживания трансмиссии горной машины по параметрам акустического сигнала с учетом смазки его элементов / В.И. Князькина, К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов, А.А. Мякотных // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). -2021. - №2 (специальный выпуск 2). – С. 3- 15.

31. **Князькина, В.И.** Диагностика и продление срока службы трансмиссий карьерных экскаваторов / **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Научно-технические ведомости СПбПУ. Естественные и инженерные науки 2019. Т. 25. № 2. С. 141–148. DOI: 10.18721/JEST.25211.

32. **Князькина, В.И.** Экспериментальные измерения величины акустико-эмиссионного сигнала в паре трения для оценки состояния трансмиссий горных машин / **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Материалы 13-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики. Том 1» / Под ред. Р.А. Ковалева – Тула: Тульский государственный университет, 2-3 ноября 2017 года. - С. 140-144. ISBN 978-5-7679-3940-4.

33. **Князькина, В.И.** Выявление закономерностей изменения акустико-эмиссионного сигнала в парах трения горных и нефтепромысловых машин / В.И. Князькина, С.Л. Иванов, М.М. Тяктев // Master's journal. Журнал магистров № 1. Пермь: ПНИПУ, 2018. – С. 32-36

34. **Князькина, В.И.** О возможности оперативной оценки технологического состояния горно-шахтного оборудования по величине акустико-эмиссионного сигнала трения / В.И. Князькина, К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика – 2018; Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования». – 2018. – Т. 1. С. 39-43.

35. **Князькина, В.И.** Систематизация причин отказов карьерных экскаваторов и повышение долговечности ресурсопределяющих элементов их

трансмиссий организацией системы смазки / В.И. Князькина, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов XVII Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». – 2019. – С. 400-403.

36. **Князькина, В.И.** Изменения акустико-эмиссионного сигнала трения при выборе трансмиссионного масла для повышения износостойкости элементов трансмиссий горных машин / В.И. Князькина, К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов 14-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики» ». – 2018. – Т. 1. С. 167-171.

37. **Князькина, В.И.** Изменение акустического сигнала трения при выборе типа масла для трансмиссии горной машины // Сборник тезисов Международной научно-практической конференции «Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2019». – 2019. – С. 258 – 261.

38. **Князькина, В.И.** О способе оценки технического состояния и модернизации эксплуатационных режимов смазки горно-шахтного оборудования / В.И. Князькина, К.А. Сафрончук // Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых. – 2019. – Т. 1. – С. 392– 394.

39. **Князькина, В.И.** Повышение надежности горных машин совершенствованием смазки элементов трансмиссии при ее техническом обслуживании / В.И. Князькина, К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов XVIII Международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». – 2020. – С. 297-300.

40. **Князькина, В.И.** К вопросу выбора системы технического обслуживания горных машин / В.И. Князькина, С.Л. Иванов, А. А. Мякотных, К.А. Сафрончук // Сборник научных трудов XIX Международной научно-технической конференции

«Чтения памяти В.Р. Кубачека. Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности». – 2021. – С. 346-349.

41. Комиссаров, А. П. Цифровая модель процесса экскавации горных пород рабочим оборудованием карьерного экскаватора / А.П. Комиссаров, Ю.А. Лагунова, Р.Ш. Набиуллин, С.А. Хорошавин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 4. – С. 156–168. DOI: 10.25018/0236-1493-2022-4-0-156

42. Кудреватых, А.В. Сравнительная характеристика процесса износа редукторов экскаваторов и карьерных самосвалов / А.В. Кудреватых, А.С. Ащеулов, А.С. Ащеулова // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. - №5. - С. 51-56. DOI: 10.26730/1816-4528-2020-5-51-56.

43. Лелиовский, К.Я. Влияние уровня и наличия смазочных материалов в коробках передач транспортных средств на величины их вибрации // Транспортные системы. - 2019. - № 3 (13). - С. 30-37.

44. Макси Экскаватор.ру [сайт]: Впервые в истории России: поставка двух карьерных экскаваторов Bucyrus 495HD. – URL: <http://maxi-exkavator.ru/news/extra/~id=874>. (дата обращения 28.01.2022).

45. Мислибаев, И. Т. Теоретическое обобщение режимов функционирования и моделирование эксплуатационных показателей работы экскаваторов / И.Т. Мислибаев, А.М. Махмудов, Ш.А. Махмудов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 1. – С. 102–110. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-1-0-102-110

46. Москвичев, В. В. Исследование показателей надежности основных групп оборудования карьерных гидравлических экскаваторов / В.В. Москвичев, М.А. Ковалев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 7. – С. 96–112. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-7-0-96

47. Мякотных, А.А. К оценке загрязненности рабочих сред трансмиссий по их акустическому сигналу / А.А. Мякотных, **В.И. Князькина**, Д.А. Падучин // Актуальные проблемы современной науки, техники и образова-

ния: программа 78-й между-нар. науч.-техн. конф. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2020. – 141 с.

48. Мякотных, А.А. К вопросу о возможности оценки загрязненности масла по величине акустико-эмиссионного сигнала / А.А. Мякотных, **В.И. Князькина**, Д.А. Шибанов // Masters Journal. – 2021. – № 1. С. 21-26.

49. Макарова, В. В. Новый подход к созданию гидравлических экскаваторов / В.В. Макарова, Ю.А. Лагунова, Р.А. Ковязин, В.И. Нестеров // Горное оборудование и электромеханика. – 2021. – С. 9-14.

50. Носов, В.В. Диагностика машин и оборудования: Учебное пособие. 2-е изд., испр. и доп. / В.В. Носов – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 384 с.

51. О возможности использования метода медиан в установлении уровня качества изделия по критерию эргономичности / В.С. Великанов, К.В. Исмагилов, В.И. Савельев, Д.В. Аношкин // Современные научные исследования и инновации. – 2015. – № 3. Ч. 2. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2015/03/50793>.

52. Патент № 2739147 Российская Федерация, МПК G01N 29/02 (2006.01). Устройство для оценки загрязненности жидкости трансмиссий: № 2739147: заявл.05.06.2020, опубл.21.12.2020 / Иванов С.Л., Мякотных А.А., Сафрончук К. А., **Князькина В. И.**; заявитель Санкт-Петербургский горный университет – 11 с.: ил.

53. Подерни, Р.Ю. Анализ современного состояния рынка карьерной техники в мире / Р.Ю. Подерни // Горная промышленность. – 2013. – №4 (110). – С 48-54.

54. Подэрни, Р.Ю. Анализ современного состояния мирового рынка поставок выемочно-погрузочного карьерного оборудования (мехлопаты и драглайны) 2 часть / Р.Ю. Подэрни // Горная Промышленность. – №6 (111). – 2013. – С. 14-19.

55. Подэрни, Р.Ю. Механическое оборудование карьеров / Р.Ю. Подэрни. – М.: МГГУ, 2007. – 680 с.

56. Пираматов, У.А., Пугин К.Г. Повышение эффективности существующих методов диагностирования гидропривода строительно-дорожных машин // Техника и технология транспорта. – 2019. – № 2 (13). – С. 20.

57. Пумпур, Е.В. Оценка факторов влияния на выбор стратегии технического обслуживания экскаваторов / Е.В. Пумпур, **В.И. Князькина**, К.А. Сафрончук, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – №12 (специальный выпуск 41). – 19 с. – М.: Издательство «Горная книга».

58. Пунин, А.В. Влияние высокодисперсных частиц на эксплуатационные свойства рабочих жидкостей / А.В. Пунин, Е.Г. Рылякин // Электрон. науч. журн. Инже-нерный вестник Дона. – 2015. – № 1. – URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2835 (дата обращения: 28.01.2021).

59. Самолазов, А.В. Практические результаты внедрения экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-32Р производства ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова» на угледобывающих предприятиях России / А.В. Самолазов, Т.В. Донченко, Д.А. Шибанов // Уголь. – 2013. – №4. – С. 36-38.

60. Сафрончук, К. А. Автоматическая система смазки-способ снижения простоев горно-шахтного оборудования / К.А. Сафрончук, **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов V Международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика – 2018; Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования». – 2018. – Т. 1. С. 63-69.

61. Сафрончук, К. А. Организация технического обслуживания и текущего ремонта горных машин в полевых условиях при помощи мобильных самоходных мастерских / К.А. Сафрончук, **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов VI Международной научно-практической конференции «Горная и нефтяная электромеханика – 2019; Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного оборудования и нефтепромыслового оборудования». – 2019. – Т. 1. С. 82-86.

62. Сафрончук, К. А. Мобильные смазочно-заправочные агрегаты для снижения простоев горных машин и оборудования при проведении технического обслуживания / К.А. Сафрончук, **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов 14-ой Международной конференции по проблемам горной промышленно-

сти, строительства и энергетики «Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики». – 2018. – Т. 1. С. 150-154.

63. Сафрончук, К. А. Мобильные самоходные мастерские для проведения смазочно-заправочных работ – один из ключевых факторов модернизации технического обслуживания и ремонта горных машин карьеров / К.А. Сафрончук, **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Сборник научных трудов XVIII Всероссийской конференции «Проблемы разработки месторождений углеводородных и рудных полезных ископаемых». – 2019. – Т. 1. С. 411-413.

64. Сафрончук, К.А. Организация технического обслуживания и текущего ремонта горных машин в полевых условиях при помощи мобильных самоходных мастерских / К.А. Сафрончук, **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Актуальные проблемы повышения эффективности и безопасности эксплуатации горно-шахтного и нефтепромыслового оборудования. – 2019. – Т. 1. – С. 82 – 86.

65. Сафрончук, К.А. Оценка параметров механизма масляного насоса с зубчато-эксцентриковым преобразователем движения / К.А. Сафрончук, **В.И. Князькина**, С.Л. Иванов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – №10 (специальный выпуск 33). – С. 3 – 11. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-33-3-11.

66. Тихомиров, С.А., Донченко Т.В., Шибанов Д.А. Развитие продуктовой линейки буровых станков ИЗ-КАРТЭКС // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) 2017, S38, С.433-441.

67. Толубаев, А.В. Анализ влияния загрязнённости масла на ресурс двигателей военной автомобильной техники, а также методов и средств контроля качества технических жидкостей / А.В. Толубаев, П.А. Сафронов, П.В. Пасечник // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А.В. Хрулева. – 2017. – № 1 (9). – С. 57–60.

68. Чуксин, А.И. Политика управления отказами / А.И. Чуксин, С.Л. Иванов // Актуальные проблемы машиноведения, безопасности и экологии в природопользовании: сборник научных трудов IV Международной научно-практической конференции, 17-18 мая. В 2-х томах. Том 1, Тверь: Тверской государственный технический университет, 2018 С. 286-296.

69. Шабанов, А.А. Разработка моделей и алгоритмов по оценке эргономических показателей карьерных экскаваторов на основе нечеткой логики / А.А. Шабанов, В.С. Великанов // Международный научно-исследовательский журнал = Research Journal of International Studies: сб. науч. тр. по результатам XV заочной научной конференции. Екатеринбург. – 2013. – №5 (12). Часть 2. – С. 10-12.

70. Шибанов, Д.А. Развитие продуктовой линейки буровых станков ИЗКАРТЭКС // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). - 2017. – № S38. – С. 433-441.

71. Andreeva, L.I. Integral estimation of the activity of the maintenance department of the mining company / L.I. Andreeva, T.I. Krasnikova // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2020, no. 1, pp 1-5. doi:10.1088/1757-899X/709/4/044044.

72. Bernold, L.E. Equipment operator training in the age of internet2 / L.E. Bernold, M. Vouk [Электронный ресурс]: URL: <http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build02/PDF/b02059.pdf>. (дата обращения 08.03.2022).

73. Bley, T. Multi-channel IR sensor system for determination of oil degradation / T. Bley, E. Pignanelli, A. Schütze // J. Sens. Sens. Syst. 3. 2014, vol. 5, pp. 121-132.

74. Dindarloo, R. Measuring the effectiveness of mining shovels / R. Dindarloo, E. Siami-Irdemoosa, S. Frimpong // Mining Engineering. 2016, Vol. 68, no 3, pp. 45-50.

75. Drygin, M. Ways of increasing excavator fleet productivity in Russian coal open pits (Kuzbass case study) / M. Drygin N. Kurychkin, A. Bakanov // The

1st Scientific Practical Conference “International Innovative Mining Symposium (in memory of Prof. Vladimir Pronoza)”. 2017. Vol. 15. DOI: 10.1051/e3sconf/20171503010.

76. Garneau, C. Comparison of modelling approaches to estimate trapping efficiency of sedimentation basins on peatlands used for peat extraction / C. Garneau, S. Duchesne, A. St-Hilaire // *Ecological Engineering*. 2019, Vol. 133, pp. 60–68.

77. Horáčková Historical changes and vegetation development after intensive peat extraction in the lowland mires of Slovakia // *Applied Ecology and Environmental Research*. 2018, No 4, pp. 5025–5045.

78. Ivanov, S.L., Shishkin P.V. Integral criterion of mining machines technical condition level at their operation / S.L. Ivanov, P.V. Shishkin // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 87 (2017) 022009. DOI:10.1088/1755-1315/87/2/022009

79. **Knyazkina, V.I.** About possibility of immediate evaluation of technical condition of mining equipment using signal value of acoustic emission friction / V.I. Knyazkina, K.A. Safronchuk, S.L. Ivanov. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – 2019. – Volume № 560. – pp 1-4.

80. **Knyazkina, V.I.** Assessment of the state of a lubricator by the size of the acoustic signal in a loaded pair of friction of a mining machine transmission / **V.I. Knyazkina**, K.A. Safronchuk, S.L. Ivanov, E.V. Pumpur // *Journal of Physics: Conference Series*. 2020, Vol. № 1515, pp 1-5.

81. Komissarov, A.P.. Estimation of the mode parameters of the main mechanisms of an excavator "Gornyi" (in Russian) / A.P. Komissarov, Yu.A. Lagunova, V.S. Shestakov // *Mining equipment and electromechanics*. 2019, no. 3, pp. 3-8.

82. Komissarov, A.P. Intensification of the rock excavation processes (in Russian) // *Izvestia vysoktoricheskie vozvedenie. Gornyj journal*. 2015, no. 3, pp. 94-100.

83. Kuvshinkin, S. U. Relationship of Dynamic Properties of Mine Excavator Hoisting Mechanism versus Design Parameters of Operating Equipment / S. U.

Kuvshinkin, I. E. Zvonarev, P. V. Ivanova // Journal of Physics: Conference Series. 2018, no. 1, pp. 1-6

84. Lempinen, H. “Barely surviving on a pile of gold”: Arguing for the case of peat energy in 2010s Finland // Energy Policy. 2019, Vol. 128. pp. 1–7.

85. Lishtvan, I. I. Prospects for local mineral and raw materials use for the development of the southwestern region of gomel region // Nature Management. 2020, no 2, pp. 77–87.

86. Lubrication Trucks and Equipment. Anatomy of an ORO Lubrication Truck Brochure. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://www.orodesign.ca/ORO_lube_brochure.pdf. Дата обращения: 1.02.2018.

87. Lunt, P. H., Fyfe R. M., Tappin A. D. Role of recent climate change on carbon sequestration in peatland systems // Science of the Total Environment. 2019. Vol. 667. pp. 348–358.

88. Nosov, V. V. Assessment of the Impact Hazard of a Section of a Rock Massif According to the Results of the Registration of its Seismic-Acoustic Activity // Journal of Mining Institute. 2015. vol. 216. pp. 62-75.

89. Safronchuk, K.A. Parameter estimation of the mechanism of the oil pump with gear-eccentric motion converter / К.А. Safronchuk., **V.I. Knyazkina**, S. L. Ivanov // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2020. – №333. С. 3- 11.

90. Shibanov, D.A. Adapting standard maintenance approaches for mining excavators to actual operating condition / D.A Shibanov, S.L. Ivanov, K.A. Safronchuk, **V.I. Knyazkina**. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – Volume № 966. – pp 1-6.

91. The world’s biggest mining excavators [Electronic resource]. – URL: <http://www.mining-technology.com/features/featurethe-worlds-biggest-miningexcavators-4153289>. – date of access:15.01.20122

92. Velikanov, V.S. Develop a set of funds for training operators of mining machines and complexes / V.S. Velikanov // II Science, Technology and Higher Education: materials of the II international research and practice conference.

Westwood, Canada. – 2013. – P. 261-264.

93. Velikanov, V.S. Evaluation and management ergonomic mining machines and complexes based on fuzzy-set approach / V.S. Velikanov // European Science and Technology: 4th International scientific conference. Munich. – 2013. – P. 370-377.

94. Yang, Z. A Novel Method for Maintenance Record Clustering and Its Application to a Case Study of Maintenance Optimization / Z. Yang, P. Baraldi, E. Zio // Reliability Engineering & System Safety. - 2020. vol. 203. pp. 103-107. DOI: 10.1016/j.ress.2020.107103.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Справка о внедрении результатов диссертационной работы

 ИЗ-КАРТЭКС ИМЕНИ П.Г.КОРОБКОВА	Общество с ограниченной ответственностью "ИЗ-КАРТЭКС имени П.Г. Коробкова"	
	Ижорский завод, д. б/н, г. Санкт-Петербург, Колпино, 196650, тел.:(812) 647-06-09, факс: (812) 647-74-10	
	iz-kartex@iz-kartex.com	www.uralmash-kartex.ru
	ОКПО 74816237 / ОГРН 1047855158780	ИНН 7817301375 / КПП 781701001

от «14» октября 2021 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов диссертационной работы

Князькиной Валерии Ивановны

«Повышение работоспособности трансмиссий горных машин улучшением эксплуатационного режима смазки их ресурсопределяющих элементов»

Справка дана Князькиной Валерии Ивановне в том, что результаты диссертационной работы использованы при разработке эксплуатационной и ремонтной документации в ООО «ИЗ-КАРТЭКС имени П. Г. Коробкова», в частности, руководства по эксплуатации экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К» и регламента технического обслуживания и ремонтов карьерных экскаваторов ЭКГ-18Р и ЭКГ-20К.

Разработанный алгоритм управления централизованной системой смазки ресурсопределяющих элементов трансмиссий горных машин и способ оценки состояния элементов трансмиссий, позволяющих осуществлять раннюю техническую диагностику ресурсопределяющих элементов, эффективное планирование мероприятий технического обслуживания и своевременность заказа потребных запасных частей приняты к использованию в регламенте технического обслуживания и ремонта карьерных экскаваторов.

Технический директор
ООО «Сервисный центр УЗТМ-КАРТЭКС»

Д.А. Мельников

Менеджер продукта, к.т.н.

Д.А. Шибанов

