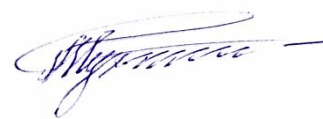


На правах рукописи



Мухортиков Сергей Григорьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ
ФАКТИЧЕСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ
ПРОХОДЧЕСКИХ КОМБАЙНОВ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

Научный руководитель: доктор технических наук
Ковалев Владимир Анатольевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Горные машины и комплексы» Института горного дела, геологии и геотехнологии «Сибирского федерального университета»
Гилёв Анатолий Владимирович

кандидат технических наук, ведущий инженер
ООО «Новационная фирма «КУЗБАСС-НИИОГР»
Менчугин Александр Васильевич

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Защита состоится 25.12.2014 г. в 10⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва» по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28. Факс (3842) 36-16-87, e-mail: siyu.eva@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/activities/gos-attestation/soresearchers/>

Автореферат разослан « » ноября 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Семькина
Ирина Юрьевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень проработанности темы исследования. Развитие подземного способа добычи полезных ископаемых идет по пути увеличения производственной мощности горного предприятия. Для обеспечения высокой производительности необходимо увеличивать темпы проходки подготовительных горных выработок, а это невозможно осуществить без оборудования, обладающего высокой эксплуатационной надежностью.

Основным способом сооружения подземных горных выработок является комбайновый способ. На предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс» почти 100% горных выработок, а это порядка 80000 м/год, сооружается проходческими комбайнами избирательного действия. Сегодня на горных предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс» работает свыше 70 единиц проходческой техники, самыми распространенными из которой являются проходческие комбайны П-110, ГПКС, КП-21, СМ-130К.

Одним из направлений решения задачи повышения качества ремонта является техническое обслуживание на основе знания фактического технического состояния отдельных узлов и агрегатов. Эта информация может быть получена из результатов вибрационного обследования и спектрального анализа состава примесей в смазывающей жидкости. Данные два метода функциональной диагностики позволяют получить практически всю информацию о процессах, протекающих в контактирующих узлах и деталях. Достоверная информация о техническом состоянии проходческого комбайна позволит наиболее полно использовать ресурс деталей и узлов и снизить время простоев за счет внедрения прогрессивных стратегий технического обслуживания и ремонта. Поэтому разработка метода оценки, основанного на современных методах неразрушающего контроля, является актуальной задачей.

Цель работы. Разработать методику оценки фактического технического состояния проходческого комбайна избирательного действия.

Идея работы заключается в согласовании параметров вибрации и качественной и количественной оценке примесей в рабочей жидкости с фактическим техническим состоянием проходческого комбайна избирательного действия, для перехода на систему обслуживания по фактическому состоянию.

Объект исследований: проходческие комбайны избирательного действия со стреловидным исполнительным органом СМ-130К.

Задачи исследований. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Анализ состояния проходческого оборудования на предприятиях ОАО «СУЭК - Кузбасс», оценка его надежности и эффективности применяемых стратегий технического обслуживания и ремонта.
2. Выявление наиболее эффективных методов диагностирования проходческого комбайна для оценки его фактического технического состояния.
3. Построение физико-статистической модели изменения технического состояния и построение долгосрочной прогностической модели описывающей постепенные процессы деградации редукторов проходческих ком-

байнов избирательного действия.

4. Разработка методов диагностирования узлов проходческих комбайнов избирательного действия в процессе их эксплуатации и проверка достоверности разработанной прогностической модели.

Методы исследований. При выполнении работы использовались следующие методы: хронометрические наблюдения, статистическая обработка данных, системный анализ, а также методы математического моделирования и теории вероятности при построении прогностических моделей деградации узлов и агрегатов.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Диагностические признаки технического состояния узлов и агрегатов проходческих комбайнов избирательного действия должны базироваться на одновременном использовании нескольких диагностических методов и результатах комплексного анализа всей имеющейся информации о вибрационной активности и содержании примесей в работающем масле;
2. Прогностическая модель изменения технического состояния узлов и агрегатов проходческих комбайнов избирательного действия, построенная с учетом вида технического обслуживания, имеет вероятностный характер и должна учитывать доверительную вероятность заключения;
3. Мониторинг технического состояния узлов и агрегатов проходческих комбайнов избирательного действия позволяет учитывать изменение параметров вибрационной активности и содержание механических примесей в работающем масле и на основе установленных регрессионных зависимостей определять текущее техническое состояние, а также позволяет прогнозировать остаточный ресурс узлов и агрегатов с заданным уровнем достоверности.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертационной работе, подтверждается использованием апробированных теоретических положений по оценке работоспособности проходческих комбайнов избирательного действия, выполненных с применением современных методов неразрушающего контроля и математического моделирования, что позволяет прогнозировать момент наступления отказа с доверительной вероятностью 95%.

Научная новизна диссертации заключается в следующем:

1. Установлены факторы, влияющие на количество отказов и продолжительность простоев проходческого оборудования.
2. Определены методы диагностирования и разработаны требования для оценки фактического технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия.
3. Определены значения доверительной вероятности и коэффициента регрессии при построении прогностической модели для оценки остаточного ресурса проходческих комбайнов избирательного действия.

4. Разработана методика оценки технического состояния проходческого комбайна избирательного действия на основании данных о вибрации и составе примесей в смазывающей жидкости.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования и разработке методов их решения; выполнении аналитических и экспериментальных исследований; определении факторов, влияющих на отказы; разработке математической модели для оценки остаточного ресурса проходческого комбайна; а также разработке методики для оценки технического состояния проходческого комбайна избирательного действия.

Теоретическая значимость работы заключается в разработке методики оценки фактического технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия с учетом особенностей условий и режимов эксплуатации, базирующейся на использовании методов и средств неразрушающего контроля.

Практическая значимость работы заключается в разработке механизма объективной оценки фактического технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия. Разработанная методика позволяет научно обоснованно определять остаточный ресурс и планировать сроки проведения ремонтов и технического обслуживания.

Реализация выводов и рекомендаций работы. Основные научные результаты диссертационной работы внедрены и находят практическое применение в учебных заведениях высшего профессионального образования (ГУ КузГТУ, г. Кемерово) и эксплуатирующих организациях (ОАО «СУЭК-Кузбасс»). К их числу относятся материалы по оценке технического состояния проходческого оборудования и рекомендации по использованию средств неразрушающего контроля для оценки остаточного ресурса деталей и узлов.

Апробация работы. Основные положения диссертации и отдельные ее результаты докладывались и обсуждались на II Международной научно-практической конференции (Прокопьевск, 2009); XII Международной научно-практической конференции «Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности» (Кемерово, 2010); IV Всероссийской конференции «Безопасность и живучесть технических систем» (Красноярск, 2012); Международной научно-практической конференции «Неделя горняка» (Москва, 2013, 2014 г.) Международной научно-практической конференции «Перспективы развития горно-транспортного оборудования» (Москва, 2013); II Международной научно-практической конференции «Современные тенденции и инновации в науке и производстве» (Междуреченск, 2013).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 18 работ, в том числе 9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав и заключения, общим объемом 131 страницы, таблиц 14 и 28 рисунков, библиографического списка, включающего 100 наименований.

Автор выражает благодарность сотрудникам кафедры горных машин и комплексов КузГТУ за помощь в проведении исследований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе дано описание технологии и техники для проведения подготовительных горных выработок. Определены показатели надежности проходческого комбайна избирательного действия СМ-130К. Проведен анализ систем технического обслуживания горной техники, эксплуатирующейся на предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс».

Вопросам диагностики электромеханического оборудования были посвящены работы В. В. Ключева, М. Д. Генкина, А.В. Гилёва, Ю. М. Краковского, Б. Л. Герике, А.А. Хорешка, В. С. Квагинидзе, В. Я. Седуша, М. Ю. Дрыгина, А. В. Кудреватых и других исследователей.

Для обеспечения высокой производительности горнодобывающего предприятия необходимо увеличивать темпы проходки подготовительных выработок. На предприятиях ОАО «СУЭК-Кузбасс» около 80000 м/год сооружается проходческими комбайнами избирательного действия. Это почти 100% от общего объема проходки (рис.1).

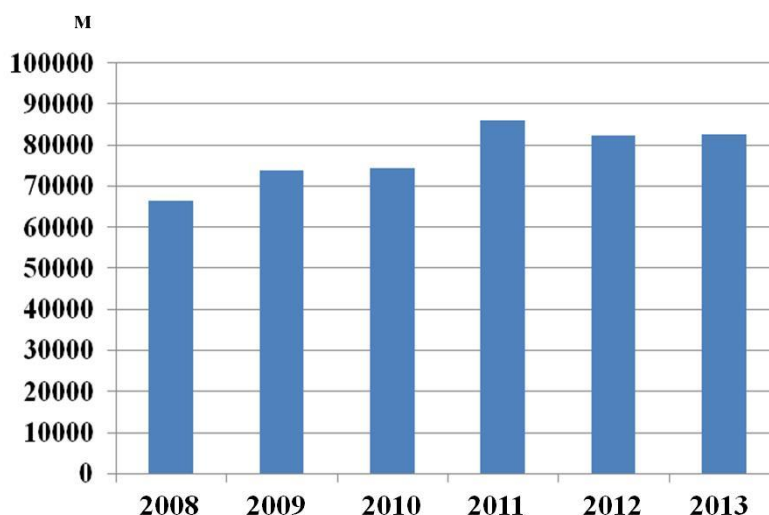


Рис.1 Объем проходки подготовительных горных выработок на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» за 2008-2013 г.г.

За основу исследования был принят комбайн СМ-130К, как усредненный вариант по наработке и надежности представленных комбайнов, эксплуатируемых на предприятии «СУЭК-Кузбасс».

Важнейшим показателем, характеризующим эффективность работы проходческих комбайнов, является надежность работы узлов, так как она влияет на себестоимость проходки и на производительность комбайна, поскольку для замены элемента конструкции приходится останавливать комбайн, что снижает коэффициент готовности машины.

Основные диагностические исследования и хронометражные замеры были осуществлены по пласту Толмачевскому ш. «Полысаевская». В результате время простоев проходческого комбайна СМ-130К было систематизировано по узлам (рис.2).

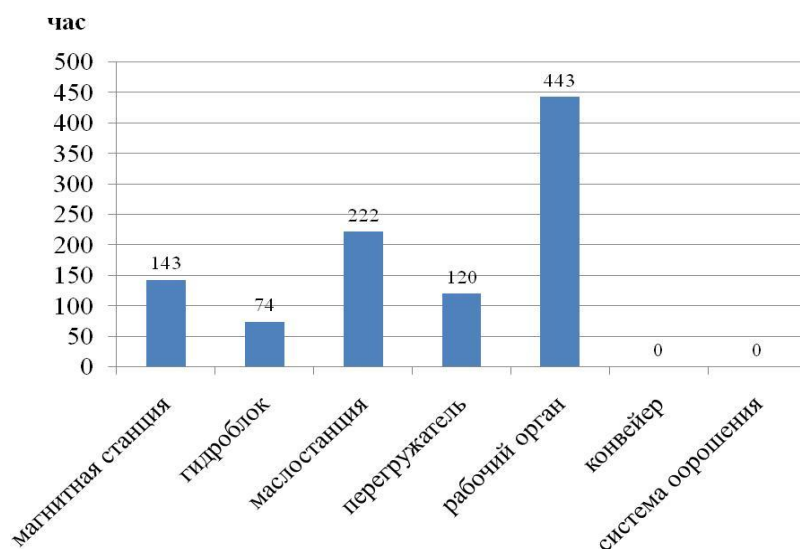


Рис. 2 Время простоев проходческого комбайна из-за отказов

Надежность машины в целом можно оценивать по результатам испытаний или эксплуатационных наблюдений, которые называют определительными. По результатам испытаний или наблюдений для восстанавливаемых объектов контролируют, как правило, среднюю наработку на отказ. В этом случае часто предлагают распределение наработки на отказ, подчиняющееся экспоненциальному закону (такое распределение, как показывает практика, справедливо для изделий машиностроения).

Среднюю наработку на отказ можно оценить по формуле:

$$T_{cp} = \frac{t_{\Sigma}}{m}, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где $t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i$ – суммарное время испытаний n изделий; m – общее число отказов, возникающих в процессе испытаний.

Вследствие того, что в процессе наблюдений участвует малое количество изделий (2 комбайна СМ-130К), и состав выборки случаен, то расчетные значения могут отличаться от соответствующих статистических оценок. Чтобы учесть это возможное отличие, вводится доверительный интервал значений.

В результате обработки данных, полученных в результате наблюдений за работой комбайнов? определено, что при заданной годовой наработке (30 тыс. м³) магнитная станция не может эксплуатироваться при данной нагрузке. На это указывают значения верхней и нижней границы доверительного интервала наработки ($T_B = 12,09$ тыс. м³, $T_H = 7,01$ тыс. м³), что значительно ниже, чем заданный уровень. Этим можно объяснить и значительное количество отказов ($m = 13$) за рассматриваемый период.

Расчет наработки для других узлов комбайна показал, что заданный уровень (30 тыс. м³) соответствует расчетному и входит в доверительные границы.

Для поддержания технического состояния горных машин на необходимом уровне в горном производстве реализуются различные системы организации ремонта. Среди них наибольшее распространение получили системы послеосмотровых, периодических, стандартных и планово-

предупредительных ремонтов и их модификации. Но наиболее прогрессивной является система профилактического (упреждающего) обслуживания по фактическому техническому состоянию.

В таблице 1 представлен список наиболее распространенных методов технической диагностики и распознавания технических состояний оборудования, применяемых при профилактическом обслуживании.

Таблица 1

Наиболее употребляемые методы диагностики

Метод	Объект
Вибродиагностика и вибромониторинг	Энергомеханическое оборудование с движущимися деталями
Акустико-эмиссионная диагностика	Сосуды, работающие под давлением, резервуары, трубопроводы, несущие металлоконструкции
Трибодиагностика (анализ качества смазки и выявление частиц износа)	Ответственное энергомеханическое оборудование, в том числе низкооборотное, трансформаторы
Тепловидение и термография	Электроэнергетическое оборудование, теплообменное оборудование, теплоизоляция, котлы, печи и др.
Анализ токов и электроимпульсное тестирование	Токопроводящая часть и изоляция электродвигателей, эксцентриситет
Аэроультразвуковой контроль утечек (вакуумные утечки)	Компрессионное оборудование
Ультразвуковая дефектоскопия	Состояние и толщина стенок трубопроводов, сосудов и резервуаров
Параметрическая диагностика технологического процесса	Технологическая или механическая деградация, коррозия стенок

В системе технического обслуживания и ремонта горного оборудования в условиях горных предприятий ОАО «СУЭК-Кузбасс» нет теоретически обоснованного решения о выборе системы и стратегии ТОР.

Это приводит к широкому выбору рекомендаций по формированию структуры ремонтного цикла одного и того же оборудования. Поэтому оптимизация структуры ремонтного цикла для различных типов горного оборудования применительно к горным предприятиям ОАО «СУЭК-Кузбасс» является важной задачей.

Вторая глава посвящена обзору, анализу и выбору методов диагностики технического состояния горнопроходческого оборудования.

В настоящее время известно большое количество методов неразрушающего контроля, которые позволяют поэтапно проследить процесс

изготовления деталей, определить зарождающийся дефект и причину его возникновения, не допустить аварийную остановку горного оборудования. Все методы неразрушающего контроля, применяемые при изготовлении, ремонте и эксплуатации можно разделить на две большие группы – тестовые и функциональные.

Тестовые методы требуют вывода оборудования из эксплуатации, что зачастую не представляется возможным на действующем горном предприятии. Поэтому для оценки технического состояния применяются методы функциональной диагностики. К ним относятся:

- визуальный осмотр;
- анализ шумов механизма;
- виброметрия;
- тепловизионная диагностика;
- эмиссионный анализ.

Диагностирование состояния проходческих комбайнов и оценка степени опасности повреждения на основе данных контроля вибрации – один из наиболее эффективных методов повышения надежности эксплуатации оборудования.

Вибрационное диагностирование объектов проводится в три этапа: первичное описание вибрационного состояния объекта, выделение признаков дефектов и принятие решения.

Для принятия решения о состоянии оборудования необходимо обработать полученный вибрационный сигнал и извлечь из него необходимую полезную информацию. Для получения этой информации используются современные математические методы (временной сигнал, спектр, кепстр, выделение огибающей, эксцесс, пик-фактор, вейвлет-анализ).

Изучение состава примесей в масле дает возможность судить о месте и степени повреждения узла проходческого комбайна и создать научные основы для эффективного управления работоспособностью горнопроходческого оборудования.

Для контроля состояния масла, используемого для смазки узлов горнопроходческого оборудования, широко применяются методы спектрального анализа. Классификация этих методов приведена на рис. 3.

Спектральные методы анализа основаны на способностях атомов и молекул поглощать или испускать электромагнитное излучение при изменении внутренней энергии вещества. Характер этого излучения и определяет методы спектрального анализа.

Анализ основных методов функциональной диагностики, существующих ограничений по их применению, достоинств и недостатков показал, что на сегодняшний день не существует какого-то одного метода, который мог бы одинаково успешно использоваться в рамках экспресс-диагностики и при периодическом мониторинге независимо от вида оборудования и условий его эксплуатации.

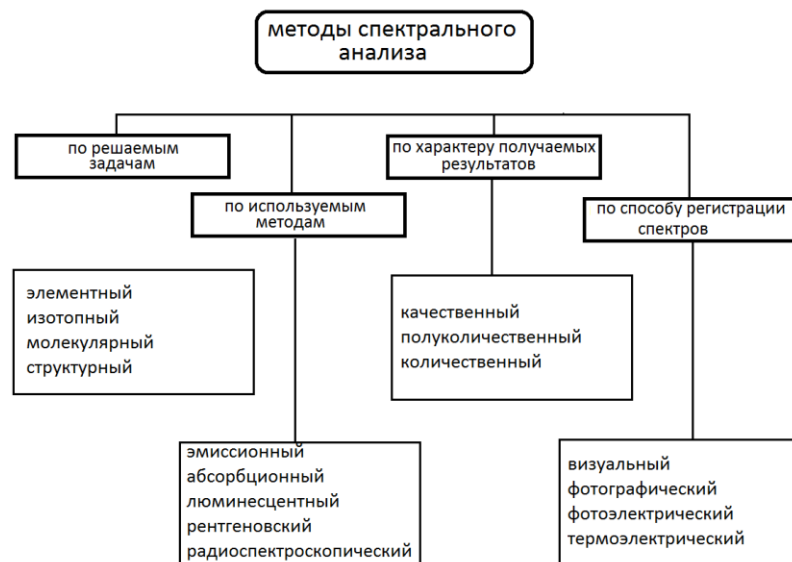


Рис.3. Методы спектрального анализа масла

Из всех рассмотренных методов диагностики наиболее приемлемыми являются методы вибродиагностики и анализа смазочных материалов узлов и агрегатов проходческих комбайнов избирательного действия, поскольку акустические методы диагностики неприемлемы из-за значительного шумового фона в проходческом забое, тепловые методы контроля исключаются из-за отсутствия аппаратуры для контроля тепловых полей в шахтных условиях, а визуальный контроль позволяет выявлять только развитие необратимых дефектов на последней стадии деградации оборудования.

Кроме того, многие методы имеют ограничения на область применения. Существенно затрудняют диагностику низкая частота вращения, ударные нагрузки, источники случайной высокочастотной вибрации. Таким образом, каждый из рассмотренных ранее методов имеет существенные ограничения и может быть использован лишь в небольшом количестве случаев (на определенной стадии развития дефекта или на конкретном оборудовании). Поэтому для эффективной оценки текущего состояния сложных механических систем необходимо использовать одновременно несколько различных методов, на основании которых впоследствии могут быть рассчитаны диагностические критерии.

При системном использовании современных диагностических методов удастся избежать серьезного повреждения машин и сократить эксплуатационные издержки на обслуживание электромеханического оборудования проходческих комбайнов избирательного действия вследствие того, что ремонт проводится только тогда, когда результаты измерений указывают на его необходимость.

В третьей главе описывается изменение технического состояния проходческого комбайна избирательного действия и выполняется построение прогностической модели по результатам экспериментальных наблюдений за потерей его работоспособности.

Процесс деградации параметров технического состояния горного оборудования носит случайный характер. Поэтому для достоверного прогноза

его технического состояния необходимо применять методы, основанные на вероятностной оценке показателей, характеризующих его эксплуатационные свойства. Методы оценки технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса горнопроходческого оборудования делятся на четыре группы (рис. 4).



Рис. 4. Классификация методов прогнозирования остаточного ресурса оборудования

В процессе эксплуатации горнопроходческого оборудования наблюдается разброс значений ресурсов однотипного оборудования даже при условии, что оно эксплуатируется в похожих условиях. В связи с этим в инструкциях по эксплуатации, как правило, указан заниженный срок службы после окончания, которого объект обладает еще некоторым остаточным ресурсом.

Учитывая то, что проходческое оборудование работает в тяжелых условиях, получение статистических данных затруднено и применение первого подхода нецелесообразно, так как полученные результаты не будут отражать реальной картины.

При малом числе измерений на практике применяется достаточно простой подход, изложенный в методиках определения остаточного ресурса, согласно которому остаточный ресурс определяется из выражения

$$t = \frac{|U_n - U_0|}{v_{cp}}, \quad (2)$$

где $|U_n - U_0|$ – предельное и начальное значение исследуемого параметра, v_{cp} – средняя скорость измерения параметра.

Определять остаточный ресурс при малом количестве статистических данных и нелинейном изменении скорости изменения контролируемого параметра предлагается из следующего выражения:

$$T = \begin{cases} \sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_{i+1}}{h}, & \text{если } t_{i+1} < t_z \\ \sum_{k=1}^i t_k + \frac{t_i |U_n - U_{i-1}|}{|U_n - U_{i-1}|}, & \text{если } U_i > U_n \end{cases}, \quad (3)$$

где h – коэффициент, учитывающий неравномерность изменения исследуемого параметра; t_k – время проведения диагностических измерений; U_i – измеренное значение контролируемого параметра на момент времени T_i ; U_n – предотказное значение контролируемого параметра.

Для наработки между замерами контролируемого параметра проводится оценка вероятности безотказной работы (4) и вероятность безотказной работы для остаточного ресурса (5):

$$P(T_{i+1}) = 1 - F(T_{i+1}), \quad (4)$$

$$P_0(T_{i+1}/U_i < U_n) = \frac{(1 - F(T_{i+1}))}{(1 - F(T_i))}. \quad (5)$$

Данный подход повышает точность и достоверность прогноза остаточного ресурса, так как скорость изменения параметра является прогнозируемой величиной.

Сходимость результатов наблюдений наиболее полно можно оценить в том случае, если их распределение подчиняется нормальному закону (закону распределения Гаусса). Поэтому исключительно важную роль при обработке результатов наблюдений играет проверка статистической гипотезы о нормальности распределения полученных результатов.

При большом числе результатов наблюдений ($n > 40$) статистическая гипотеза о соответствии распределения результатов наблюдений теоретическому и, в частности, нормальному распределению проверяется с помощью критерия согласия Пирсона, который показал, что сумма квадратов невязок частностей и теоретических вероятностей попадания результатов наблюдений в каждый интервал является случайной величиной и подчиняется χ^2 (хи-квадрат) распределению.

В четвертой главе описываются результаты промышленной апробации методики оценки работоспособности проходческих комбайнов избирательного действия.

Как отмечалось в главе 2, в качестве методов оценки технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия предложено использовать вибродиагностику и диагностику по параметрам работающего масла. В качестве объекта диагностики выбран проходческий комбайн СМ-130К, который является наиболее приемлемым для горнотехнических условий, характерных для шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс». На шахте «Полысаевская» находятся в эксплуатации 2 комбайна СМ-130К.

В основу методики положены государственные, межотраслевые и отраслевые нормативно-методические материалы.

Контрольно-диагностические измерения по параметрам вибрации предусматривают проведение измерений и регистрацию контролируемых диагностических параметров во всех штатных точках измерения (рис. 6).

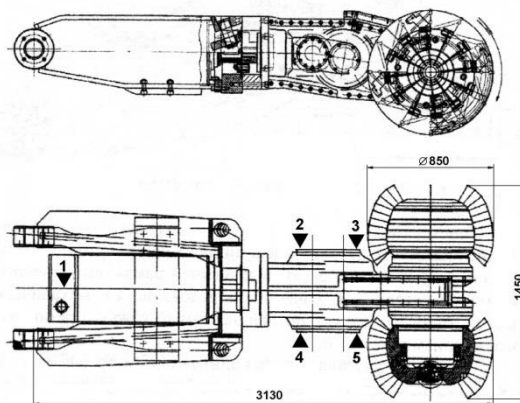


Рис. 6. Схема расположения точек замеров вибрации на проходческом комбайне СМ-130

Методикой устанавливаются следующие параметры вибросигнала, регистрируемые при контрольных измерениях:

- СКЗ абсолютной виброскорости (V_e , мм/с) корпусов подшипников электропривода;
- пиковое значение виброускорения корпусов подшипника редуктора.

При этом принимается, что измеряемые параметры должны находиться в следующих диапазонах (табл. 2).

Таблица 2

Контролируемые параметры виброакустического сигнала машинных агрегатов проходческого комбайна

Узел	Параметр	Частотный диапазон (Гц)	Динамический диапазон	Погрешность измерений (%), не более
Электропривод	V_e	10...1000	0,1...30 мм/с	±6
Редуктор	V_e	10...1000	0,1...30 мм/с	±6
	a_p	300...10000	0,1...200 м/с ²	±6

Оценка технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия по результатам контрольных виброизмерений при отсутствии эксплуатационных норм, установленных заводом-изготовителем, осуществляется на основе рекомендаций (табл. 3).

Таблица 3

Эффективное значение виброскорости V_e в частотном диапазоне 10...1000 Гц, мм/с

Комбайн проходческий со стреловидным ИО	Оценка технического состояния					
	хорошо	допустимо после ремонта	допустимо	предупреждение	требуется принятие мер	недопустимо
электродвигатель	<1,8	1,8...2,8	2,8...4,5	4,5...6,3	6,3...7,1	>7,1
редуктор	<1,8	1,8...2,8	2,8...4,5	4,5...6,3	6,3...7,1	>7,1

В процессе эксплуатации периодичность проведения последующих контрольных измерений устанавливается собственником оборудования после оценки и прогнозирования технического состояния объекта диагностики. Максимальный интервал между этими измерениями, в зависимости от результатов последнего контрольного измерения, должен быть не более:

- требует принятия мер - 7 суток;
- предупреждение - 1 месяц;
- допустимо, допустимо после ремонта - 3 месяца.

Перед плановой остановкой на ремонт не более чем за 1 неделю провести полные контрольные измерения.

Для проведения эмиссионного спектрального анализа масла должна быть использована фотоэлектрическая установка МФС-7 с автоматическим управлением и автоматической обработкой выходных данных о спектральных линиях различных элементов в маслах.

Исследование спектра в установке осуществляется путем выделения полихроматором аналитических спектральных линий, регистрации и автоматической обработки сигналов этих линий с помощью фотоэлектронных приемников излучения, регистрирующего и вычислительного устройств.

При анализе масла определяются следующие параметры: вязкость, температура вспышки, капельная проба, содержание воды, механические примеси, содержание металлов. Основными металлами, применяемыми для диагностирования технического состояния редукторов, являются железо, медь, хром, никель и кремний.

Предельные значения содержания металлов в масле приведены в таблице 4.

Таблица 4

Предельные значения содержания металлов в масле

Металл	Содержание в масле редуктора режущей части проходческого комбайна СМ-130К, %
Железо	0,5
Медь	0,001
Хром	0,5
Кремний	0,5
Никель	0,5

Взятие проб масла выполнялось со следующей периодичностью:

- во время регулярных проверок при каждом ТО-1;
- перед сменой масла;
- более часто, если подозревался ненормативный износ.

По данным анализа строились графики, где наблюдался рост содержания механических примесей и различных металлов (рисунок 7).

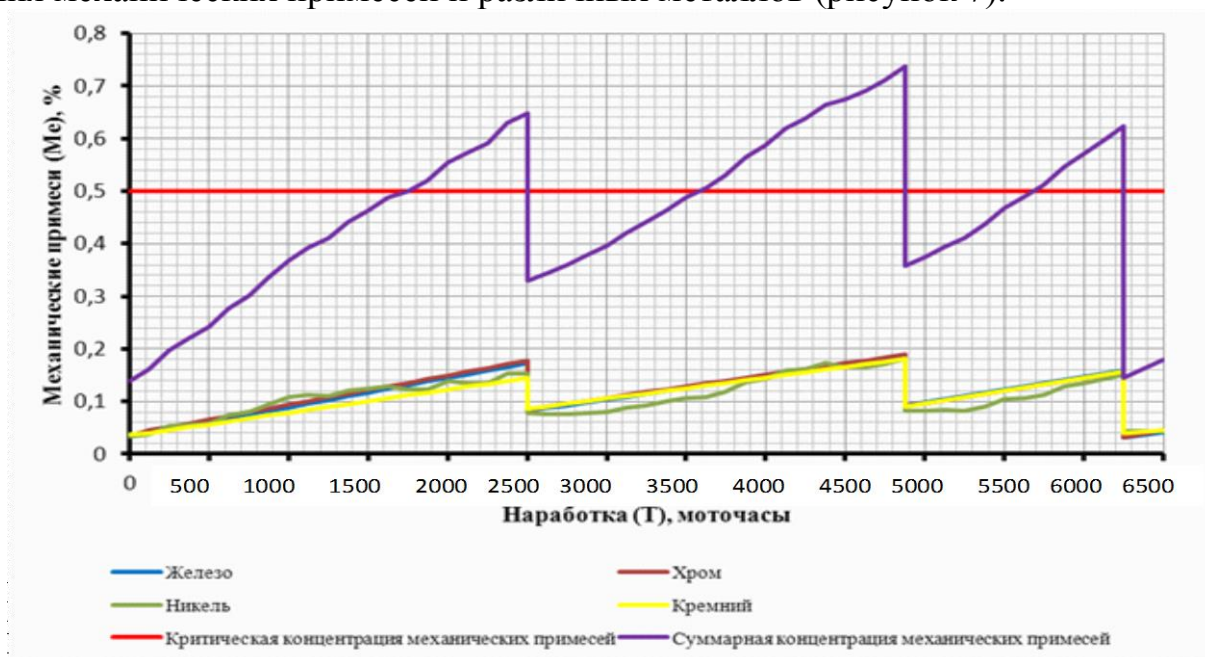


Рис. 7. Диаграмма зависимости содержания механических примесей в масле от наработки

По проведенным опытам и полученным результатам построены графики, отражающие характер изменения содержания механических примесей работающего масла в зависимости от наработки.

Данные проведенных экспериментов позволили выявить зависимость количества механических примесей от наработки (рис. 8).

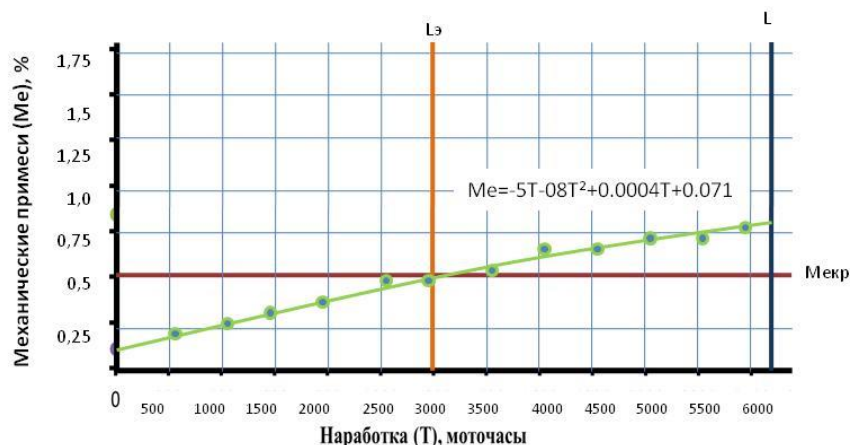


Рис. 8. Зависимость количества механических примесей в масле редуктора режущей части проходческого комбайна СМ-130 от наработки

На рисунке 8 приняты следующие условные обозначения: $t_{кр}$ – критическая температура масла; t – температура масла; Me – концентрация механических примесей; $Me_{кр}$ – критическая концентрация механических примесей; L – периодичность смены масла; $L_э$ – экспериментальная периодичность смены масла.

Проведенные исследования позволили выявить преимущества системы диагностирования по составу и количеству механических примесей в масле. Это позволяет с 99% доверительной вероятностью прогнозировать момент перехода в неисправное состояние, грозящее аварийным отказом узлов и агрегатов проходческих комбайнов избирательного действия и осуществлять эффективное планирование ремонтных работ, предупреждающих возникновение аварийных ситуаций.

На рисунке 9а приведены результаты контроля виброскорости на подшипниковых узлах электродвигателя привода резания проходческого комбайна СМ-130К в зависимости от его наработки.

На рисунке 9б приведены результаты диагностического обследования редуктора резания проходческого комбайна СМ-130, из анализа которых следует, что техническое состояние редуктора резания к концу периода наблюдений стало недопустимым, что требует проведения ремонта.

Сравнение виброактивности опор электродвигателя и редуктора показывает, что источником повышенной вибрации является редуктор.

Анализ спектров нагруженности опорных узлов редуктора резания показал, что наиболее вероятным дефектом является нарушение зубозацепления в волновой передаче, что вызывает повышенную вибрацию опорных подшипников.

Последующий визуальный осмотр и дефектация редуктора резания показали правильность поставленного диагноза (рисунок 10).

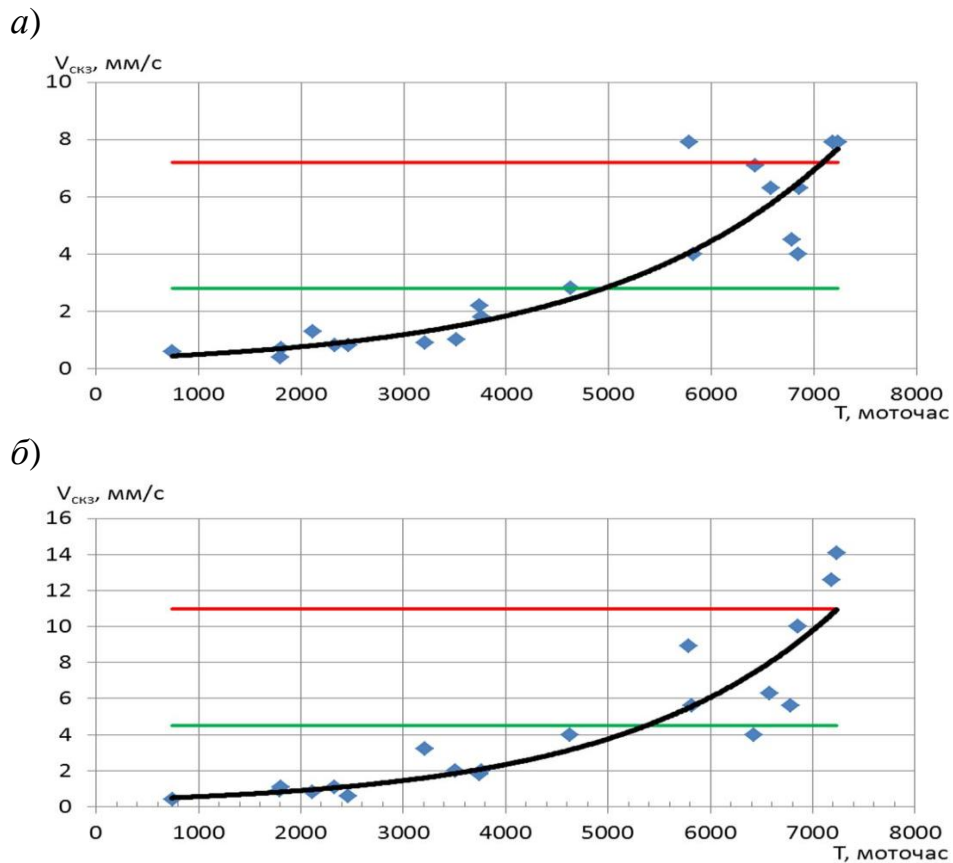


Рис. 9. Результаты виброобследования опорных подшипников электродвигателя (а) и редуктора привода резания (б) проходческого комбайна СМ-130



Рис. 10. Дефект зубчатой передачи в волновом редукторе резания комбайна СМ-130К

Таким образом, показано, что разработанная прогностическая модель, основанная на статистических результатах вибродиагностики и спектрального анализа примесей в работающем масле, позволяет с высокой вероятностью прогнозировать момент перехода в неисправное состояние, грозящее аварийным отказом узла или агрегата. В совокупности комплексное диагностирование по параметрам работающего масла и по параметрам механических колебаний позволяет повысить достоверность прогноза и осуществлять эффективное планирование ремонтных работ, предупреждающих возникновение аварийных ситуаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе дано новое решение актуальной научной задачи, состоящей в установлении взаимосвязи технического состояния отдельных узлов и агрегатов проходческих комбайнов избирательного действия и параметрами работающего масла и вибрационными характеристиками, необходимой для обоснования метода оценки их технического состояния и разработки прогностической модели, позволяющей повысить эффективность и безотказность использования проходческой техники.

В результате выполненных лично автором исследований получены следующие основные результаты:

1. Из всех существующих способов проходки подготовительных выработок с трудными горно-геологическими условиями месторождений предприятия «СУЭК-Кузбасс» в настоящее время наиболее приемлемым остается механический способ разрушения массива комбайнами избирательного действия.
2. Система технического обслуживания, основанная на диагностических методах контроля, позволяет не только увеличить срок эксплуатации проходческих комбайнов со стреловидным исполнительным органом в среднем на 10%, но и снизить стоимость ремонтных работ в 8-10 раз при вовремя обнаруженном дефекте.
3. Наиболее приемлемым и достоверным методом оценки технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия является комплексный метод диагностики, который должен базироваться, для получения наиболее достоверного заключения, на одновременном использовании нескольких диагностических подходов и результатах комплексного анализа всей имеющейся информации как о вибрационной активности опор узлов и агрегатов, так и о параметрах работающего масла.
4. Разработана методика комплексной оценки работоспособности проходческого комбайна по параметрам работающего масла и по параметрам механических колебаний, которая обеспечивает требуемую достоверность (95%), и проведена её промышленная апробация на шахте «Полысаевская» при проходке подготовительных выработок по пласту Толмачевский с использованием проходческих комбайнов СМ-130К.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих научных трудах:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Хорешок, А.А. Совершенствование конструкции продольно-осевых коронок проходческого комбайна избирательного действия /А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. Ю. Борисов, **С. Г. Мухортиков** // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – №5. – С. 2-6.
2. Герике, Б.Л. Опыт эксплуатации и оценка технического состояния проходческого комбайна избирательного действия по параметрам механиче-

- ских колебаний / Б.Л. Герике, А.А. Хорешок, **С.Г. Мухортиков** // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня: Промышленная безопасность и охрана труда. – М. – Изд-во «Горная книга». – 2012. – №ОВ 6. – С. 7-20.
3. Ковалев, В.А. Эксплуатация проходческих комбайнов на шахтах ОАО «СУЭК-Кузбасс» / В.А. Ковалев, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, В.В. Кузнецов, **С.Г. Мухортиков**, Ю.В. Дрозденко // Вестник КузГТУ. – 2013. – № 2. – С. 26-33.
 4. Ковалев, В.А. Диагностика технического состояния редукторов проходческого комбайна СМ-130К по результатам анализа работающего масла / В.А. Ковалев, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, **С.Г. Мухортиков** // Вестник КузГТУ. – 2014. – №1. – С. 6-10.

Патенты РФ:

5. Пат. 2455486 РФ: МПК Е 21 С 25/18, К 21 С 27/24 (2006.01). Исполнительный орган проходческого комбайна / Маметьев Л.Е., Хорешок А.А., Борисов А.Ю, **Мухортиков С.Г.** : патентообладатель Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т.Ф. Горбачева» (КузГТУ). - №2010141881/03; Заявл. 12.10.2010; опубл. 10.07.2012. Бюл. №19. – 14 с.

Прочие публикации:

6. Хорешок, А.А. Конструктивные подходы к расширению области применения исполнительных органов проходческих комбайнов / А.А. Хорешок, Л.Е. Маметьев, А.Ю. Борисов, **С.Г. Мухортиков** // Энергетическая безопасность России: Новые походы к развитию угольной промышленности: сб. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. – Кемерово: СО РАН, КемНЦ СО РАН, ИУУ СО РАН, Кузбас. гос. техн. ун-т, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2010. – С. 191-193.
7. Нестеров, В.И. Опыт эксплуатации проходческих комбайнов избирательного действия (на примере шахт ОАО «СУЭК-Кузбасс») / В.И. Нестеров, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, В.В. Кузнецов, Ю.В. Дрозденко, **С.Г. Мухортиков** // Горная техника: Каталог-справочник. Вып. 1 (9), 2012. С. 20 – 23.
8. Герике, Б.Л. Техническая диагностика проходческих комбайнов избирательного действия / Б.Л. Герике, А.А. Хорешок, **С.Г. Мухортиков** // Безопасность и живучесть технических систем: Труды IV Всероссийской конференции. В 2 томах. Т. 2 – Красноярск: Институт физики им. Кипренского, 2012. – С. 54-58.
9. Ковалев, В.А. Диагностика технического состояния редукторов по результатам спектрально-эмиссионного анализа работающего масла // В.А. Ковалев, А.А. Хорешок, Б.Л. Герике, **С.Г. Мухортиков** // Перспективы развития горно-транспортного оборудования: Материалы Международной научно-практической конференции. – М.: ИПО «У Никитских ворот», 2013. – С. 77-85.

Подписано к печати 22.10.2014 г.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.
Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ
ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный технический
университет им Т.Ф. Горбачева».
650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28.
Типография ФГБОУ ВПО «Кузбасский государственный
технический университет им Т.Ф. Горбачева».
650099, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а.