

На правах рукописи



Копытин Денис Валерьевич

**РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО
СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСОВ ГЛУБОКОЙ РАЗРАБОТКИ
УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ НА РАЗРЕЗАХ КУЗБАССА**

Специальность 05.05.06 – «Горные машины»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Кемерово 2022

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

Научный руководитель: **Тациенко Виктор Прокопьевич**,
доктор технических наук, директор института
промышленной и экологической безопасности

Официальные оппоненты: **Андреева Людмила Ивановна**,
доктор технических наук, руководитель отдела
эксплуатации и ремонта горно-шахтного
оборудования ООО «Научно-исследовательский
институт эффективности и безопасности горного
производства (г. Челябинск)

Федорин Валерий Александрович,
доктор технических наук, главный научный
сотрудник лаборатории эффективных технологий
разработки угольных месторождений ИУ ФИЦ
УУХ СО РАН (г. Кемерово)

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Сибирский федеральный
университет» (г. Красноярск)

Защита состоится «25» марта 2022 г. в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.102.01 на базе 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) 68-23-23, e-mail: haa.omit@kuzstu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачёва» и на сайте <http://science.kuzstu.ru/wp-content/docs/OAD/Soresearchers/2021/kop/Dissertation.pdf>

Автореферат разослан « » _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Непша
Федор Сергеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и степень проработанности темы исследования.

Уголь в современной экономике играет одну из ключевых ролей. В структуре потребления энергетических ресурсов он занимает лидирующие позиции наряду с нефтью и газом. По мере отработки угольных месторождений действующими разрезами происходит ухудшение горно-геологических условий эксплуатации, которое выражается в склонности к неустойчивости вмещающего горного массива, более сложной горно-геологической обстановке, включая обводненность и газоносность пластов. При разработке новых участков необходимо учесть, что нетронутые угольные месторождения, как правило, располагаются в местах с неразвитой инфраструктурой, что ведет к удорожанию процессов добычи (эксплуатационные потери могут составлять 40-50%), переработки и доставки полезного ископаемого потребителю. В таких условиях возникает необходимость применять альтернативные технологии отработки существующих запасов полезного ископаемого.

Анализ горно-геологических условий пологопадающих угольных месторождений Кузнецкого, Минусинского, Иркутского и других бассейнов, где ведут открытую разработку угля, показывает, что в ряде случаев можно и целесообразно вести отработку доли запасов из бортов открытых горных выработок, что позволит извлечь часть запасов, относящихся к забалансовым.

Одними из технических устройств, позволяющих вести такую отработку запасов, являются комплексы глубокой разработки пластов КГРП, от технического состояния которых зависят не только экономические показатели предприятия, но и безопасность работы обслуживающего персонала.

Многолетний опыт эксплуатации различного горного оборудования показывает, что в зимний период увеличение параметра потока отказов составляет 30-40% от общего числа отказов. Одними из направлений решения этой проблемы является применение своевременной диагностики технического состояния машин с учетом:

- совершенствования системы ремонта и технического обслуживания (ТО);
- повышения качества ремонта и технического обслуживания;
- повышения профессионализма обслуживающего персонала.

В связи с тем, что опыт эксплуатации комплексов КГРП незначителен, исключительно важное значение приобретают первые два из указанных направлений при обеспечении высокой технологичности ремонта. Решение данной задачи вызвана еще и тем, что в ремонтной службе ощущается недостаток плановых поставок заводами-изготовителями ремонтной документации, оснастки, приспособлений для диагностики и специального оборудования.

Следует отметить, что исследования по оценке работоспособности КГРП на предприятиях до настоящего времени не производились, методика сбора и обработки статистической информации отсутствует. Поэтому можно

утверждать, что обоснование и разработка методики мониторинга технического состояния КГРП на горных предприятиях является актуальной научной задачей.

Степень разработанности. Вопросами, связанными с обоснованием возможности и необходимости использования КГРП для извлечения забалансовых запасов угля, у нас в стране занимались Альтшулер В.М., Богатырев В.П., Бонецкий В.А., Виницкий К.Е., Грицко Г.И., Дранников С.А., Закутская З.Д., Качнова Ю.А., Киржнер Ф.М., Коковин В.А., Колесников В.Ф., Корякин А.И., Крючков В.В., Ламбров В.В., Лось И.Н., Михеев О.В., Нецветаев А.Г., Попков М.П., Пучков Л.А., Рагозин С.Л., Резников Л.М., Томаков П.И., Федорин В.А. и др., а вопросами диагностики горного оборудования и повышения его эксплуатационной надежности – Андреева Л.И., Герике Б.Л., Гетопанов В.Н., Гилев А.В., Демченко И.И., Ефременков А.Б., Кантович Л.И., Квагинидзе В.С., Кох П.И., Рахутин М.Г., Солод В.И., Тациенко В.П., Хорешок А.А. и др. Исследования, проведенные этими учеными, заложили технологические основы применения подобных комплексов для прибортовой добычи угля, и создали предпосылки по определению фактического технического состояния горного оборудования. Однако оценке технического состояния таких сложных изделий, как КГРП, не было посвящено ни одной публикации.

Цель работы. Разработать методику мониторинга технического состояния комплексов глубокой разработки пластов для обеспечения эффективной их эксплуатации в условиях низких температур.

Идея работы заключается в использовании анализа механических колебаний для разработки методических основ мониторинга технического состояния узлов и агрегатов КГРП, что позволит повысить эффективность их эксплуатации в условиях низких температур.

Объект исследований: комплекс глубокой разработки пластов КГРП.

Задачи исследований:

1. Провести анализ отказов оборудования КГРП и причин их возникновения при эксплуатации на угольных разрезах.
2. Определить допустимые значения уровня вибрации в основных узлах и агрегатах КГРП и частотные диапазоны спектральных масок для организации мониторинга технического состояния.
3. Оценить особенности эксплуатации КГРП в условиях низких температур, предложить решения, направленные на снижение уровня отказов гидравлической системы КГРП.
4. Разработать методику диагностирования основных агрегатов КГРП в процессе их эксплуатации на угольных разрезах и провести ее промышленную апробацию.

Методы исследований:

- анализ и обобщение литературных источников по проблематике исследований;
- методы теоретической теплофизики и прикладной гидромеханики при изучении теплообменных процессов в гидромеханической системе приводов;

– методы математического моделирования и математической статистики при изучении процессов возникновения и распространения механических колебаний в узлах и агрегатах комплексе типа КГРП и построении прогностических моделей их деградации;

– пассивные методы экспериментальных исследований при мониторинге и построении прогноза изменчивости технического состояния узлов и агрегатов КГРП.

Научные положения, выносимые на защиту:

– интегральным показателем технического состояния механогидравлического оборудования КГРП являются амплитудно-частотные характеристики виброакустических сигналов, параметры которых зависят от режимов работы комплекса, температуры окружающей среды и температуры рабочей жидкости, а также вида дефекта;

– выбор параметров и элементов гидравлической системы, обеспечивающих требуемые показатели кондиционирования рабочей жидкости механогидравлического оборудования комплекса КГРП в суровых климатических условиях, должен осуществляться с учетом разницы температур в нагнетательном и дренажном коллекторах в зависимости от температуры окружающей среды;

– мониторинг технического состояния опорных узлов агрегатов комплекса КГРП позволяет определять их состояние в текущий момент времени, а также на основе разработанной модели деградации прогнозировать, их остаточный ресурс с доверительной вероятностью $p \geq 80\%$.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена:

– корректной постановкой задач исследования;

– достаточным объемом экспериментальных исследований (обработан объем информации по работе 2-х комплексов глубокой разработки пластов на протяжении двух лет);

– использованием современных приборов и программного обеспечения при анализе механических колебаний;

– непротиворечивостью построенных моделей деградации механического оборудования основным постулатам теории надежности;

– положительными результатами применения технических решений, направленных на снижение уровня отказов гидравлической системы КГРП.

Научная новизна диссертации:

– в обосновании применения методов спектрального анализа механических колебаний для оценки технического состояния гидромеханического оборудования комплексов КГРП;

– в разработке методики мониторинга технического состояния комплексов КГРП по общему уровню интенсивности вибрации V_e и спектральным маскам;

– в разработке модели прогнозирования потери работоспособности отдельными узлами и агрегатами комплекса КГРП, базирующейся на теоретико-вероятностном подходе и обеспечивающей достоверность не менее 80%.

Практическая значимость работы:

- в создании системы нормирования параметров вибрации, которая позволяет для конкретной группы однотипного оборудования эффективно оценить степень опасности дефекта;
- в применении методов технической диагностики, как неотъемлемой части системы обслуживания по фактическому техническому состоянию, которая позволит повысить эффективность планирования и проведения ремонтов и технического обслуживания узлов и агрегатов КГРП;
- в модернизации гидравлической системы КГРП, позволившая исключить ее отказы при эксплуатации в условиях низких температур.

Научное значение работы заключается в разработке методики мониторинга фактического технического состояния комплексов глубокой разработки пластов на основе анализа механических колебаний, генерируемых в узлах и агрегатах, позволяющего объективно обнаруживать и фиксировать степень опасности различных видов неисправностей.

Личный вклад автора заключается:

- в проведении теоретических исследований, в обработке и анализе результатов диагностических исследований узлов и агрегатов КГРП, а также в обработке статистического материала, полученного в результате опытно-экспериментального опробования предложенных технических решений при эксплуатации КГРП на угольных разрезах;
- внедрение системы мониторинга механических колебаний в узлах КГРП.

Реализация выводов и рекомендаций работы.

Основные научные положения и рекомендации диссертации использованы при проведении экспериментов на разрезах «Южный» (г. Новокузнецк) и «Распадский» (г. Междуреченск)

Апробация работы.

Материалы диссертации докладывались и получили одобрение на кафедре горных машин и комплексов КузГТУ (Кемерово, 2008, 2009, 2020, 2021), на форуме «Наука и инновации – современные концепции» (Москва, 2020), на международной школе «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (Москва, 2020), на международной научно-практической конференции «Проектирование, создание и модернизация» (Санкт-Петербург, 2021), на международной конференции «Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов» (Новокузнецк, 2021); на международной научно-технической конференции «Машиностроение и техносфера XXI века» (Севастополь, 2021).

Публикации.

По результатам исследований опубликовано 16 научных работ, в том числе 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; получено 2 патента РФ.

Объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и двух приложений общим объемом 156 страниц, 12 таблиц и 56 рисунков, библиографического списка, включающего 139 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертационного исследования, характеризуется степень ее разработанности, определяются цели и задачи исследования, описывается теоретическая и практическая значимость исследования.

В первой главе дано описание конструкций и области применения КГРП, опыта применения данного типа оборудования по извлечению угля из бортов карьеров в России и за рубежом. Представлен анализ отказов оборудования и причин их возникновения.

Разработка и создание комплексов прибортовой добычи угля для зон отработанного разреза начались с 1977 года. Развитие основывалось на технологии шнекобуровой выемки с использованием подземных комплексов и агрегатов, коснулось разработок различных схем транспортировки угля на поверхность, обеспечивающих более высокие технико-экономические показатели по сравнению с шнекобуровыми машинами.

Известным комплексом является The Thin Seam Miner – «разработчик тонких пластов» (РТП) голландской фирмы «Dieseko» (1979). В основе комплекса стояла концепция – «бурение-извлечение». Базовая комплектация включала основные компоненты: рама, каркас системы с энергетическим модулем от дизельного привода, кабина оператора, два барабана с кабелями для подачи электроэнергии к двигателям режущего модуля (рис. 1).

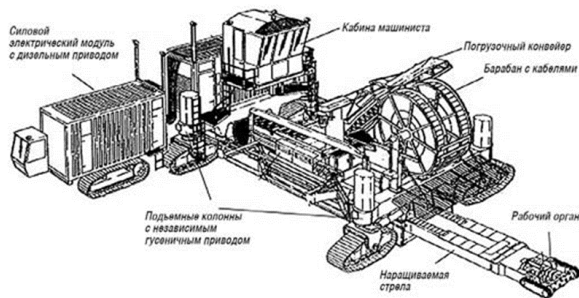


Рисунок 1 – Конструктивная схема комплекса The Thin Seam Miner компании «Dieseko»

Сопоставительный анализ существующих комплексов показал, что для работы на угольных месторождениях российских регионов, в том числе Кузбасса, наиболее приемлемы комплексы глубокой разработки пластов (КГРП) «Superior Highwall Miners».

Комплекс глубокой разработки пластов – автономная высокопроизводительная и экономичная система по добыче угля, позволяющая осуществлять полностью механизированное выбуривание угольных пластов выработками прямоугольного поперечного сечения без присутствия людей в очистном забое. КГРП устанавливается на открытой площадке, которая образуется в результате извлечения вскрышных пород и угля по контуру блока, предполагаемого к отработке с помощью данной системы. Минимально необходимая ширина рабочей площадки составляет от 25,8 до 27,5 м. Уголь от рабочего органа КГРП транспортируется по закрытым решткам с помощью расположенных в них шнеков.

На рис. 2 представлена схема комплекса глубокой разработки пластов Caterpillar Superior Highwall Miners, а в таблице 1 приведена его техническая характеристика.

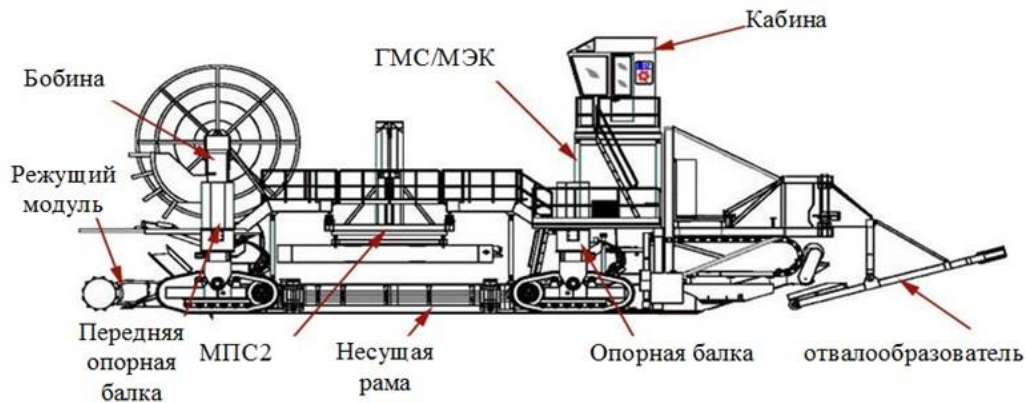


Рисунок 2 – Конструктивная схема комплекса SHM, модель 2002 г.

Таблица 1 – Техническая характеристика КГРП

Показатели	Значение
Общая установленная мощность, кВт	1200
Длина машины, м	16,81
Ширина машины в режиме добычи, м	10,2
Максимальный угол подачи в забое, град	25
Максимальное понижение отработки пласта (0-25 град), м	0-11
Диаметр барабана режущего органа, мм>	910
Ширина реза, мм	3510
Высота реза, мм	
– минимальная	1100
– максимальная	4800
Длина камеры отработки пласта, м	300
Давление режущей головки, кгс/см ²	
– среднее	400
– максимальное (для отдельных вкраплений)	700
Уровень автоматического срабатывания датчиков метана, %	2

При работе комплекса в тяжелых горно-геологических условиях наблюдались отказы узлов гидравлической системы, вызванные в холодный период повышением вязкости гидравлического масла, приводящие к длительным простоям. В таблице 2 приведены данные о причинах отказов и продолжительности простоев оборудования за рассмотренный период (2 года).

На рисунке 3 представлен график продолжительности простоев в зависимости от причин отказов или нештатных ситуаций.

Из анализа графика следует, что наибольшая продолжительность простоев связана не только с повышением вязкости гидравлического масла, но и с техническими поломками, происходящим в зимний период времени.

Таблица 2 – Статистика причин отказов в работе КГРП

№ п/п	Причины отказов и нештатных ситуаций при работе КГРП						
	Поломки подсоединений гидравлических шлангов к цилиндрам вруба и подборщика	Поломки цилиндров подборщика	Разрушение натяжных цилиндров траков (отказ, связанный с ходовой частью комплекса)	Выход из строя гидрораспределителей поворота хвостового конвейера и управления подъемом и поворотом заднего трака	Остановы хвостового конвейера на ходу при температуре ниже минус 32° С	Увеличивается цикл подачи става на рабочую платформу при температурах ниже минус 32° С	Замерзание гидравлического масла при температурах менее -32° С при длительном простое при отказах п/п 3-7
1	31 простой (2,5-6 ч. каждый)	4 случая (2/3 ч. каждый).	1 случай (8 ч.)	5 запусков в условиях низких температур (8 ч. каждый)	7 остановов (6 ч. каждый)	14 (3/4 ч. каждый)	186+2,67+8+40+42 = 278,67 ч.
2	19 простоев (2,5-6 ч. каждый)	3 случаев/ (2/3 ч. каждый).	1 случай (8 ч.)	5 запусков в условиях низких температур (8 ч. каждый)	3 останова (6 ч. каждый)	7 (3/4 ч. каждый)	114+2,33+8+40+18 = 182,33 ч.



Рисунок 3 – Продолжительность простоев КГРП, связанных с ликвидацией отказов

Представленные данные свидетельствуют о том, что вопросу поддержания постоянной регламентируемой температуры гидравлического масла от +40 до -55°С необходимо придавать особое внимание.

Во второй главе дано описание организации мониторинга технического состояния КГРП, определены допустимые значения вибрации в основных узлах и частотные диапазоны для построения спектральных масок.

Оценка технического состояния оборудования и его узлов – важнейший этап проведения контроля технического состояния, – проверка исправности всего агрегата при выводе его из монтажа или ремонта. Статистика показывает, что примерно в 20% случаев монтаж и ремонт производятся с нарушением

требований технических условий, что приводит к сокращению межремонтной наработки оборудования.

Безукоризненное соблюдение требований технических условий при монтаже и ремонте агрегата и исследование вибрации при выводе из ремонта могут значительно продлить последующий межремонтный интервал.

При мониторинге технического состояния оборудования используются многочисленные стандарты, в основе которых лежит нормирование вибрации в зависимости от конструкции исследуемого объекта. При разработке норм эксплуатационного контроля вибрации в качестве критерия используют один из кинематических параметров (виброускорение, виброскорость или виброперемещение), по которому оценивают техническое состояние агрегата.

На начальной стадии обследования узлов и агрегатов КГРП проводились в соответствии с требованиями стандартов ГОСТ ISO 10816-1-97 «Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях» и ГОСТ 12.1.012-94 «Классификация технического состояния механического оборудования», см. таблицу 3.

Таблица 3 – Классы оценок технического состояния

Уровень вибрации V_e , мм/с	Оценка технического состояния
< 1,8	Хорошо
1,8...4,5	Удовлетворительно
4,5... 11,2	Допустимо
$\geq 11,2$	Недопустимо

Недостатком оценки состояния оборудования по общему уровню вибрации является то, что он практически нечувствителен к изменениям сравнительно низкоэнергетических частотных составляющих вибросигнала, характерных, например, для ряда зарождающихся и развивающихся дефектов подшипников качения, зубчатых передач, электрических и ряда других дефектов. Отсюда следует вывод о низкой степени достоверности распознавания состояния агрегатов только по общему уровню вибрации.

Для устранения этого недостатка используется метод «спектральных масок», позволяющий нормировать амплитуды механических колебаний в узких частотных диапазонах, присущих различным дефектам.

Прежде всего выделим те частотные диапазоны, где могут проявиться те или иные дефекты отдельных узлов:

- $(0,5...2,5) \times f_r$ – для обнаружения дисбаланса и расцентровки;
- $(7,5...15,5) \times f_r$ – для обнаружения дефектов в подшипниках качения;
- $(2,5...10,5) \times f_r$ – для предупреждения о нарушениях жесткости;
- $(z \pm 1) \times f_r$ – для распознавания дефектов зубчатых муфт и зубчатых передач и т.д. Здесь f_r – частота вращения исследуемого объекта.

Для определения допустимого уровня вибрации в рассматриваемых частотных диапазонах необходимо воспользоваться понятием «нормального» состояния агрегатов КГРП – когда в качестве критериев «нормального» состояния принимаются среднестатистические величины контролируемых

параметров заведомо работоспособного агрегата, полученные при обработке результатов нескольких периодических измерений после его приработки (рисунок 4).

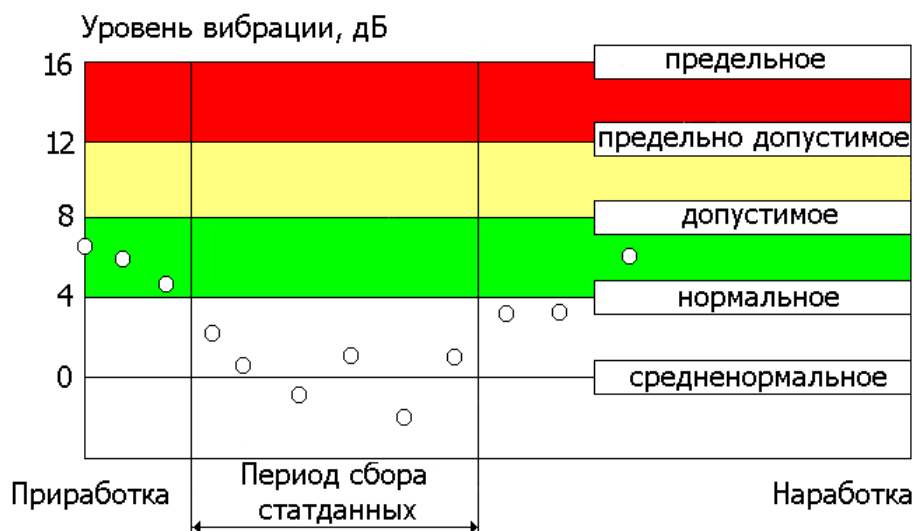


Рисунок 4 – Схема сбора данных для расчета средненормального уровня вибрации и допустимых значений вибрации различных состояний

Большинство стандартов, регламентирующих допустимые значения вибрации, основано на статистической обработке достаточно большого количества данных по самым разнообразным типам оборудования различными исследовательскими группами. При этом в них определена схожая градация по классам состояния на основе градации уровней на 4, 8, ... дБ (соответственно, примерно в 1,6; 2,5; ... раза). Эти относительные величины и принято использовать в качестве разделительных границ для оценок технического состояния оборудования по параметрам вибрации.

При анализе массива экспериментального материала было установлено, что статистические данные с 80% доверительной вероятностью подчиняются нормальному закону распределения. Для проверки однородности выборки, характеризующей достоверность статистических выводов, использовался *F*-критерий Фишера, а для исключения резко отличающихся данных – критерий Пирсона.

Вибрация анализировалась отдельно по каждому узлу и агрегату комплекса КГРП (электродвигатель, насос, мультипликатор, гидродвигатель, компрессор, вентилятор) и направлению измерения (вертикальному, поперечному и осевому).

При развертывании программы мониторинга технического состояния были использованы опорные спектральные маски, представленные в табл. 4.

В соответствии с таблицей 4 были построены опорные спектральные маски, характеризующие каждый тип агрегатов, используемых на комплексах КГРП.

На рисунке 5 приведены примеры опорных спектральных масок для гидродвигателя ленточного перегружателя.

Таблица 4 – Классы оценок технического состояния при мониторинге КГРП

Частотная полоса, Гц	Коэффициенты к среднеквадратическому значению V_e			
	Нормальное состояние	Допустимое состояние	Предельно допустимое состояние	Аварийное
10...1 000	0,25	0,40	0,63	1
2 (10)...1,5 $\times f_r$	0,20	0,32	0,50	0,75
2 $\times f_r$	0,12	0,20	0,32	0,50
(3...4) $\times f_r$	0,08	0,13	0,20	0,32
(5...20) $\times f_r$	0,13	0,16	0,25	0,40
(21...50) $\times f_r$	0,06	0,10	0,16	0,25
Пиковое значение виброускорения a , м/с ²				
10...10 000	5	10	20	40

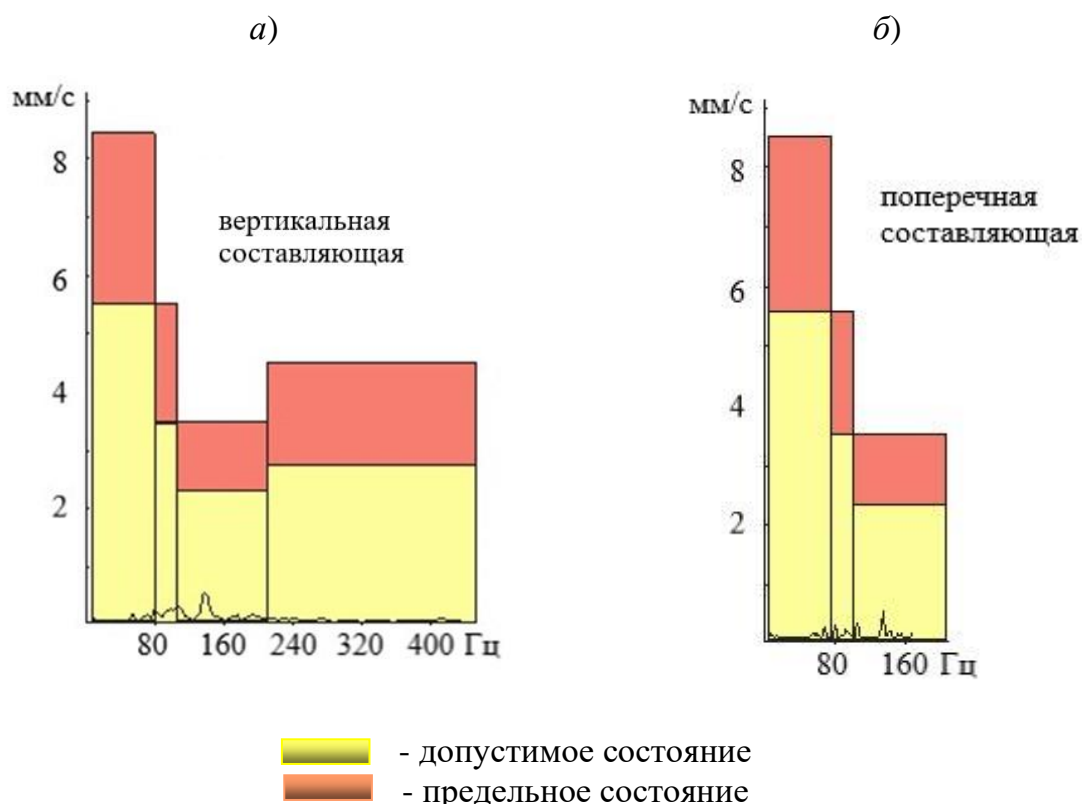


Рисунок 5. Опорные спектральные маски гидравлического двигателя ленточного перегружателя

Из анализа приведенного примера видно, что в исходном состоянии после монтажа гидродвигатель находится в зоне нормального состояния и имеет значительный запас работоспособности по параметрам механических колебаний.

В третьей главе приведены особенности эксплуатации КГРП в условиях низких температур, рассмотрены вопросы повышения безотказности их эксплуатации, определены гидравлические потери в гидросистеме КГРП и даны рекомендации по рациональным параметрам ее работы.

Работающие в России комплексы по своей конструкции и применяемым материалам не отличаются от стандартных машин, предназначенных для работы в зоне с умеренным климатом. Эксплуатация комплексов в условиях низких температур сопряжена с серьезными трудностями. С понижением температуры затрудняется пуск двигателя, резко увеличивается (вследствие загустения смазочных материалов) сопротивление движению, что требует для применения повышенной мощности, происходит интенсивное ухудшение эксплуатационных свойств рабочих жидкостей, смазочных материалов, резинотехнических изделий и конструкционных материалов.

Параметр потока отказов КГРП в зимние месяцы по сравнению с летними возрастает в 1,3...1,5 раза, что приводит к возрастанию длительности простоев и снижению технической производительности (рис. 6). Специфичность работы в зимний период заключается в суровом климате: комплексы используются при температуре окружающего воздуха до -45°C .

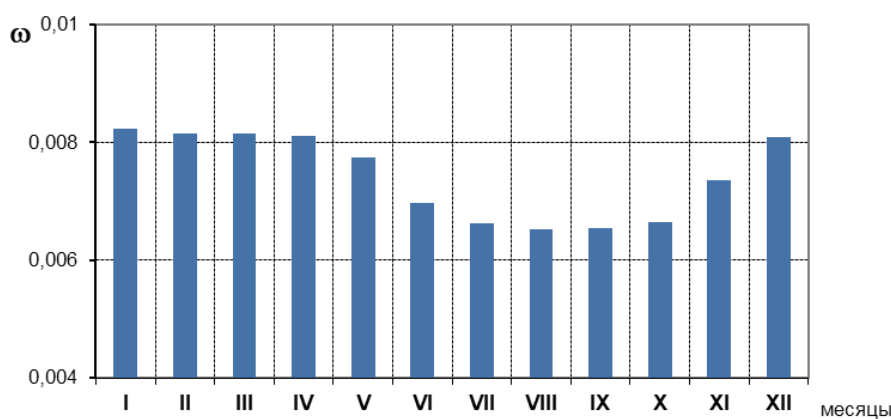


Рисунок 6 –
Изменение
параметра потока
отказов по месяцам
года

Значительно ухудшается всасывающая способность насосов. При длительных остановках машины в зимний период происходит конденсация влаги в баке, 1% содержания которой ускоряет образование пены. Наличие пены интенсивно окисляет масло и детали гидроаппаратов, а также ухудшает механические характеристики передачи. Применение специальных «зимних» масел с пологой вязкостно-температурной характеристикой может решить проблему лишь частично, т.к. их использование рационально только в момент пуска и прогрева.

Тяжёлые условия эксплуатации рабочей жидкости в жёстких погодноклиматических условиях заставляют серьёзно отнестись к вопросу о применяемых гидравлических маслах и их качественных показателях, которыми могут служить: температура вспышки, кинематическая вязкость при $+40^{\circ}\text{C}$, кинематическая вязкость при $+100^{\circ}\text{C}$, содержание механических примесей (частицы угля и кремния, металлов серого и жёлтого цветов).

Для установления изменения указанных свойств масел в процессе эксплуатации рассмотрена работа двух КГРП, эксплуатируемых на разрезе «Распадский», за двухлетний период. Период отбора проб из гидросистемы комплексов составлял полтора-два месяца. При возникновении аварийной ситуации масло на пробу отбиралось на следующий день. Полученные

результаты позволили установить типичные изменения характеристик нового масла в гидросистемах КГРП (рис. 7).

В таблице 5 приведены усреднённые показатели характеристик масла в гидросистемах рассматриваемых комплексов КГРП №28 и КГРП №29 (приведены худшие показатели за весь период эксплуатации).

Анализ результатов, приведенных в таблице 5, изменения качественных показателей масел в гидравлической системе КГРП показал, что существуют отклонения от заявляемых норм.

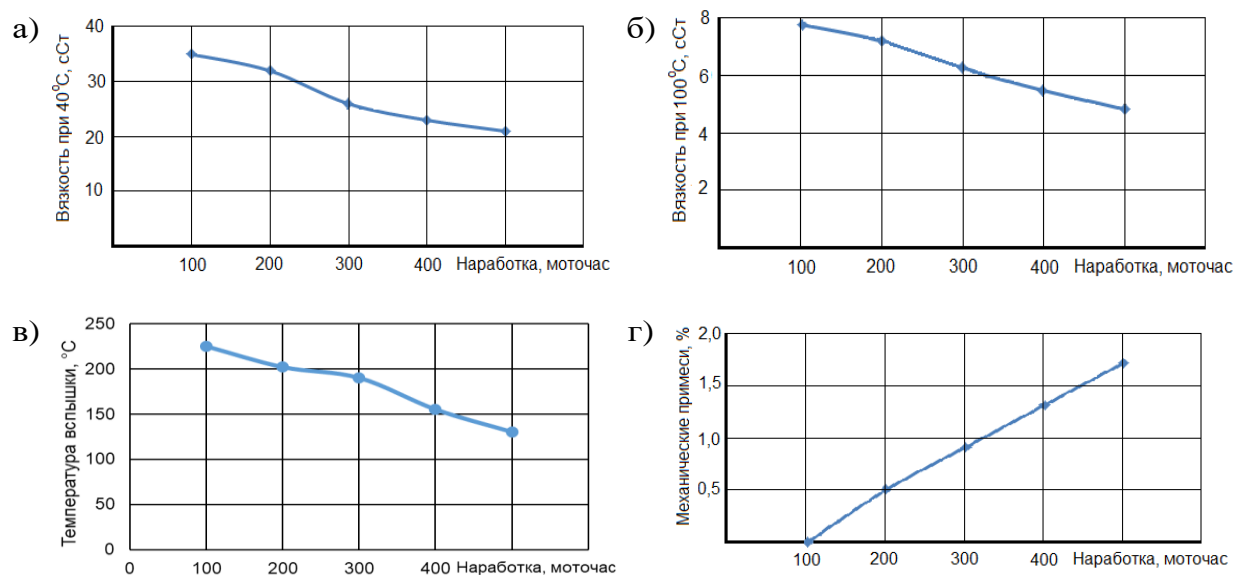


Рисунок 7 – Изменение качественных показателей масла во времени по худшему результату

Таблица 5 – Качественные показатели масла в гидросистемах

Объекты	Показатели			
	Температура вспышки, °C	Кинематическая вязкость при температуре 40°C, сСт	Кинематическая вязкость при температуре 100°C, сСт	Механические примеси, %
КГРП №28	128	21,1	5,1	0,85
КГРП №29	137	24,5	4,9	1,64
Норма	220	30...35	7,6	0,01
Отклонение от нормы, %				
КГРП №28	42	40	33	8400
КГРП №29	38	30	36	16300

Основная проблема в зимний период — это замерзание гидравлического масла. На комплексе имеется достаточное количество теплоносителя (гидравлического масла) и возможность его увеличения по объему (ограниченную лишь емкостью главного резервуара, используемой в данный момент на 30-40%) и по теплонасыщенности (подогрев масла электрообогревателями и циркуляцией через малые каналы). Более того, предусмотренная система охлаждения масла дает возможность перенастройки на тепловой режим, экономнее расходующий энергию теплоносителя.

Предлагается использовать данный теплоноситель для обогрева машины посредством постоянной циркуляции через временно неиспользуемые исполнительные механизмы или, при невозможности применения данной схемы (например, на гидравлических цилиндрах и моторах, чье фиксированное положение имеет принципиальное значение для работы комплекса) созданием обогрева для последних. Теоретически, идеальным решением было бы использование всего тепла, отдаваемого в атмосферу системой охлаждения масла, на обогрев комплексов при работе в условиях низких температур, для чего предлагается изготовить на баках дополнительную «рубашку» (рис. 8), заполненную гидравлическим маслом и подключенную к циркуляционному потоку системы охлаждения. Для большей эффективности подобного подогрева необходима дополнительно наружная теплоизоляция баков (например, полиуретановой пеной). Схема включения «рубашки» в гидравлическую систему комплекса представлена на рис. 9.

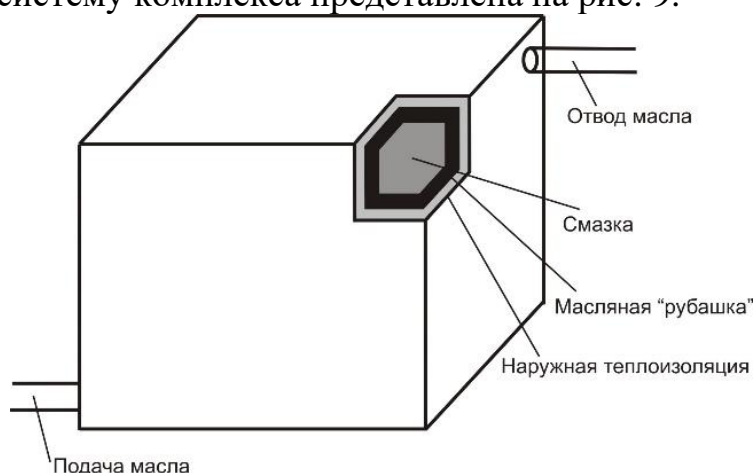


Рисунок 8 – Бак для жидкой и густой смазки

Изменения, внесенные в схему, позволили в зимний период избежать остановок от замерзания (зафиксированы рабочие температуры воздуха до -42°C), что позволяет сделать вывод об их работоспособности. Проблемы, связанные с низкими температурами на модифицированных узлах, не возникали.

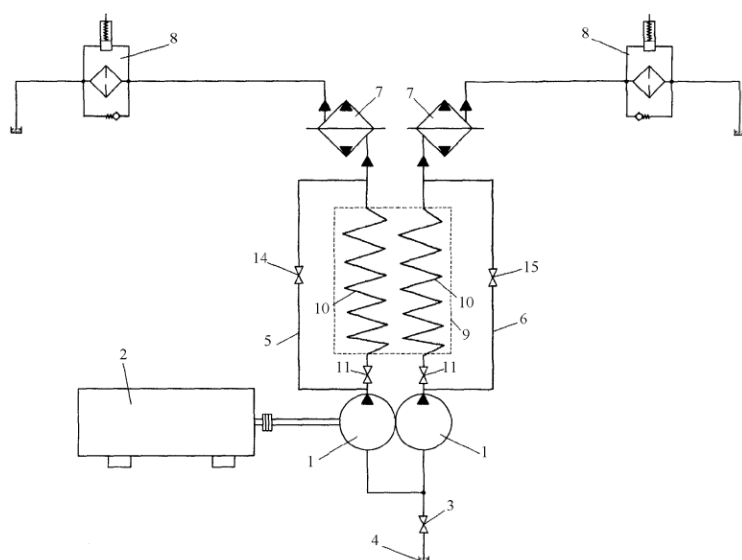


Рисунок 9 – Схема включения бака с густой и жидкой смазками в гидравлическую систему комплекса

1 – пневмонасос, 2 – привод пневмонасоса, 3,11,14,15 – кран-отсекатель, 4 – бак для гидравлического масла, 5,6 – гидравлические рукава, 7 – радиатор охлаждения масла, 8 – фильтр тонкой очистки масла, 9 – бак с пластичной смазкой, 10 – «рубашки» подогрева бака.

В четвертой главе разработана математическая модель прогнозирования работоспособности агрегатов КГРП, дан анализ результатов диагностического обследования на основе разработанной методики вибрационного контроля, рекомендации по оценке остаточного ресурса и внедрению системы технического обслуживания по результатам мониторинга технического состояния. Описана методика вибродиагностики главных приводов КГРП. Приведены результаты внедрения разработанной методики.

Разработанная «Методика вибродиагностики основных узлов и агрегатов комплексов глубокой разработки пластов» устанавливает порядок определения технического состояния узлов и агрегатов комплекса виброакустическим методом, позволяющим определить техническое состояние, выявить причины отказов на самых ранних стадиях их возникновения и прогнозировать их развитие.

Работа по диагностированию КГРП выполнялась в соответствии с требованиями стандарта ГОСТ ISO 10816-1-97 «Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях», ГОСТ 12.1.012-94 «Вибрационная безопасность» на протяжении двух лет. Измерения и анализ параметров вибрации производились с использованием коллектора/анализатора Кварц СУ-060 №15 и программного обеспечения Диамант 2.04.

Как показал анализ полученных результатов за период наблюдений, все агрегаты комплекса КГРП находятся в удовлетворительном техническом состоянии, кроме двух – привода ленточного перегружателя и привода скребкового конвейера.

Для оценки степени развития дефекта и прогнозирования остаточного ресурса по информативным критериям технического состояния возможно применение прогностических моделей, использующих статистические данные, называемые предысторией. Для построения прогностической модели необходимо выполнение ряда условий:

- прогностическая модель адекватна для однотипного оборудования;
- критерием оценки состояния служит наиболее информативный параметр, в нашем случае это СКЗ виброскорости V_e ;
- достаточное количество объективной информации.

Для гидравлического двигателя ленточного перегружателя, как было определено ранее во 2 главе, недопустимое техническое состояние возникает при величине $V_e > 8,4 \pm 1,34$ мм/с (доверительная вероятность $p=0,8$).

Результаты построения прогностической модели по диагностическим данным измерения виброскорости V_e , описывающей деградацию привода, приведены на рис. 10.

По общему уровню интенсивности вибрации техническое состояние к концу эксплуатационного периода оценивается как недопустимое. Максимальная величина интенсивности вибрации зафиксирована в переднем подшипнике выходного вала редуктора.

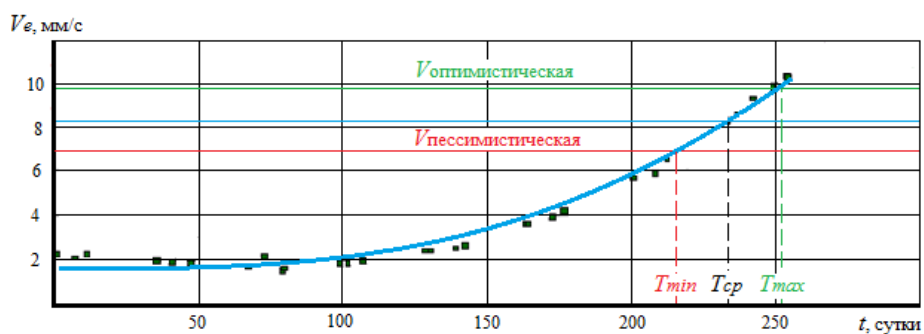


Рисунок 10 –
Изменение СКЗ
виброскорости во
времени при
дисбалансе
ротора
гидродвигателя

Эффективное значение виброскорости в контрольной точке составило $V_e \approx 21$ мм/с (рис. 11).

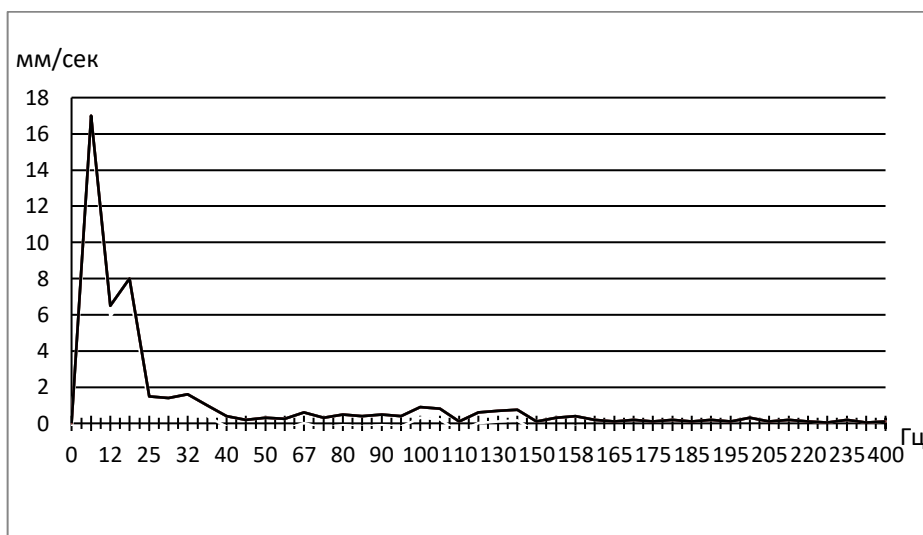


Рисунок 11 –
Интенсивность
вибрации
редуктора
ленточного
перегрузателя

Спектральный анализ механических колебаний указывает на недопустимый дисбаланс выходного вала редуктора (а, следовательно, приводного барабана перегружателя). На основании данных результатов рекомендуется балансировка выходного вала редуктора и приводного барабана.

Аналогичная картина наблюдается и в приводе скребкового конвейера, техническое состояние которого оценивается как недопустимое. Максимальная величина интенсивности вибрации зафиксирована в заднем подшипнике двигателя, см. рис. 12.

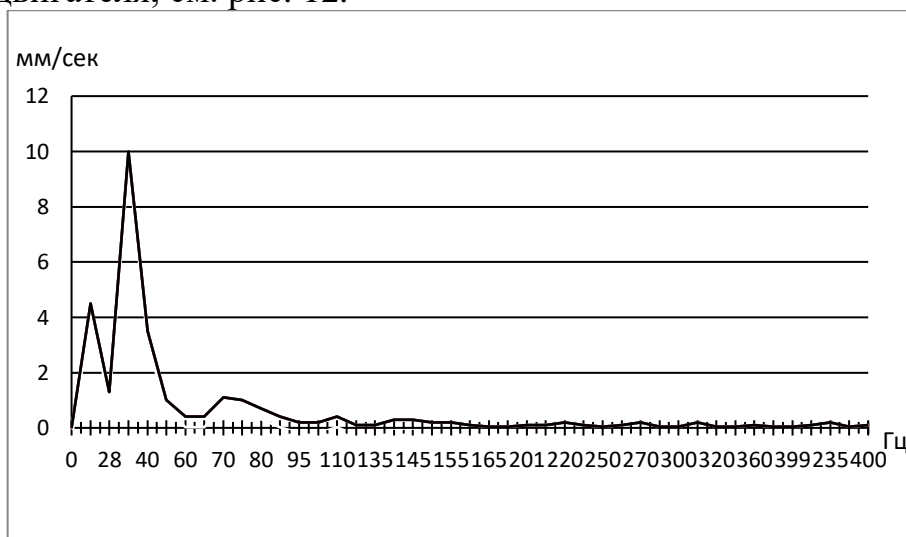


Рисунок 12 –
Интенсивность
вибрации заднего
подшипника
двигателя
скребкового
конвейера

Спектральный анализ механических колебаний указывает на недопустимую расцентровку валопровода «ротор электродвигателя – входной вал редуктора». Техническое состояние редуктора – допустимое (в спектре механических колебаний отмечаются зубцовые частоты).

Промышленная апробация разработанной «Методики в производственных условиях на разрезе «Распадский» и разрезе «Южный» показала ее работоспособность, а использование «Методики» на предприятиях угольной промышленности позволит внедрить систему профилактического обслуживания КГРП, базирующуюся на результатах вибродиагностического обследования их технического состояния.

Как показали результаты хронометражных наблюдений за работой КГРП №29 до и после внедрения разработанных мероприятий по климатической адаптации гидросистемы комплекса, а также «Методики» сократились аварийные простои комплекса и время восстановления работоспособности его агрегатов. Коэффициент технического использования увеличился примерно в 1,3 раза с $K_{ТИ} = 0,6$ до $K_{ТИ} = 0,8$.

Применение разработанной методики позволило снизить удельные годовые затраты на ремонт и увеличить время производительной работы комплекса КГРП, и соответственно дополнительно увеличить добычу на 33% (141,1 тысяч тонн в среднегодовом выражении) при условии проведения качественного мониторинга и освоения предложенных решений по модернизации, при этом упущенная выгода без внедрения разработанной методики составляет 19 668 долларов ежемесячно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены научно-обоснованные технические решения по климатической адаптации гидросистемы комплекса глубокой разработки пластов и оценке фактического технического состояния его агрегатов методами вибрационной диагностики, а также прогнозированию его работоспособности, позволяющие осуществлять эксплуатацию КГРП при низких температурах, и вносящие существенный вклад в развитие горного машиностроения.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы заключаются в следующем:

1. Выявлены причины отказов комплексов типа КГРП, затрат времени на восстановление их работоспособности, которые свидетельствуют о низкой эксплуатационной надежности гидромеханического оборудования. Так коэффициент технического использования КГРП снижается в 2 раза с $K_{ТИ} = 0,6$ (июнь месяц) до величины $K_{ТИ} = 0,3$ (среднегодовое значение).

2. Для диагностики технического состояния узлов и агрегатов гидромеханического оборудования комплексов КГРП предложены оценки на основе спектральных масок, позволяющие выявлять возможные дефекты с доверительной вероятностью не менее 80%. На основе результатов опытной эксплуатации комплекса КГРП построены спектральные маски для всех узлов и

агрегатов гидромеханического оборудования (привод режущей части, привод погрузчика рабочего органа, привод ленточного перегружателя, привод скребкового конвейера, привод шнекового конвейера, маслостанция, насос для антифриза, насос системы охлаждения), позволяющие различать 4 состояния оборудования – нормальное, допустимое, предельно допустимое и аварийное.

3. Определены количественные характеристики изменения качественных показателей рабочей жидкости в зимний период, приводящие к замерзанию гидравлического масла и ухудшению работы гидроаппаратуры. Проанализированы причины отказов гидромеханического оборудования и предложены технические решения по устранению возникающих проблем (Патент № 69153 Российская Федерация. Устройство для регулирования температуры смазки комплекса глубокой разработки пластов, Патент № 67639 Российская Федерация. Гидропривод механизма подачи магистралей комплекса глубокой разработки пластов).

4. Результатами хронометражных наблюдений за работой КГРП №29 подтверждена эффективность разработанных мероприятий по климатической адаптации гидросистемы комплекса, сократились аварийные простои комплекса и время восстановления работоспособности агрегатов. Коэффициент технического использования увеличился в 1,3 раза с $K_{ТИ} = 0,6$ до $K_{ТИ} = 0,8$ (в более благоприятных климатических условиях), а в среднем составил $K_{ТИ} = 0,6$.

5. Разработана «Методика вибродиагностики главных приводов комплексов глубокой разработки пластов (КГРП)», принятая к внедрению на ЗАО «Разрез Распадский» и ООО «Разрез «Южный», апробация которой в производственных условиях позволила выявить дефекты приводов ленточного перегружателя и скребкового конвейера, а прогностическая модель деградации этих приводов позволила определить сроки проведения технического обслуживания с доверительной вероятностью не менее 80%.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.

Развитие системы оценки технического состояния гидромеханического оборудования комплексов КГРП на основе использования других методов функциональной диагностики – тепловизионного контроля и спектрально-эмиссионного анализа рабочих жидкостей.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих научных трудах:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Герике, Б.Л. Основные этапы развития техники, применяемой в системе HIGHWALL для выемки угля с уступа разреза / Б.Л. Герике, Д.В. Копытин, А.А. Рябцев // Вестник КузГТУ. – 2006. – № 1. – С. 44-48.

2. Герике, Б.Л. Опыт применения систем «HIGHWALL» для добычи угля в Кузбассе / Б.Л. Герике, Д.В. Копытин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 4. – С. 169-176.

3. Герике, Б.Л. Опыт использования цифровых технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов / Б.Л. Герике,

Д.В. Копытин, В.П. Тациенко // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности, №3. – Кемерово. – 2019. – С. 72-80.

4. Копытин, Д.В. Влияние окружающей среды на параметр потока отказов гидравлического оборудования комплексов глубокой разработки пластов. / Д.В. Копытин, Б.Л. Герике, К.А. Ананьев, А.Н. Ермаков // Горное оборудование и электромеханика. – 2019. – №4. – С. 21-25.

5. Герике, Б.Л. Опыт использования цифровых технологий в оценке технического состояния комплексов глубокой разработки пластов / Б.Л. Герике, Ю.В. Дрозденко, А.Н. Ермаков, П.В. Артамонов, Д.В. Копытин // Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №4. – С. 36-44.

Патенты РФ:

6. Патент № 69153 Российская Федерация, МПК E21C 41/00 (2006.01). Устройство для регулирования температуры смазки комплекса глубокой разработки пластов : № 2007126226/22 : заявл. 09.07.2007 : опубликовано 10.12.2007 / Герике Б.Л., Копытин Д.В. ; заявитель Копытин Д.В. - 6 с. : ил. - Текст : непосредственный.

7. Патент № 67639 Российская Федерация, МПК E21C 41/00 (2006.01). Гидропривод механизма подачи магистралей комплекса глубокой разработки пластов : № 2007126227/22 : заявл. 09.07.2007 : опубликовано 27.10.2007 / Герике Б.Л., Копытин Д.В. ; заявитель Копытин Д.В. - 5 с. : ил. - Текст : непосредственный.

Прочие публикации:

8. Герике, Б.Л. Опыт вибродиагностического обследования горнодобывающего комплекса «SUPERION HIGHWELL MINERS» / Б.Л. Герике, П.Б. Герике, И.Л. Абрамов, Д.В. Копытин // Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – 2005. – №3. – С. 19-22.

9. Герике, Б.Л. Анализ горнодобывающего оборудования для открыто-подземного способа добычи угля / Б.Л. Герике, Д.В. Копытин // Сборник научных статей по итогам работы Международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции» (г. Москва, 25 сентября 2020 г.). / отв. ред. Д.Р. Хисматуллин. – М.: Издательство Инфинити, 2020. – С. 193-200.

10. Герике, Б.Л. Распознавание технического состояния комплексов глубокой разработки пластов / Б.Л. Герике, Д.В. Копытин // Труды 4 конференции Международной научной школы академика К.Н. Трубецкого «Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр» (Москва, 16-20 ноября 2020 г.). – М.: Издательство ИПКОН, 2020. – С. 501-504.

11. Герике, Б.Л. Комплексы глубокой разработки пластов: обзор применения и изучения их технического состояния / Б.Л. Герике, Ю.В. Дрозденко, Д.В. Копытин // Техника и технология горного дела. – 2020. – №3. – С. 58-78.

12. Копытин, Д.В. Оценка технического состояния комплексов глубокой разработки угля методами вибрационной диагностики / Д.В. Копытин, Б.Л. Герике, Ю.В. Дрозденко // Неразрушающий контроль и диагностика: научный журнал. – 2020. – № 4. – С. 48-55.

13. Герике, Б.Л. Построение прогностических оценок работоспособности агрегатов комплексов глубокой разработки пластов / Б.Л. Герике, В.П. Тациенко, Д.В. Копытин // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2021. – №4. – С. 43-47.

14. Копытин, Д.В. Оценка технического состояния комплексов глубокой разработки угля методами вибрационной диагностики / Д.В. Копытин, В.П. Тациенко, Б.Л. Герике [и др.] // Научно-технические технологии разработки и использования минеральных ресурсов: науч. журнал. – 2021. – №7. – С. 135-141.

15. Герике Б.Л., Клишин В.И., Копытин Д.В. Мониторинг технического состояния комплексов глубокой разработки пластов./ Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13-19 сентября 2021 г. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – С. 115-119.

16. Герике Б.Л., Тациенко В.П., Копытин Д.В. Построение спектральных опорных масок для основных узлов и агрегатов комплексов глубокой разработки пластов SHM./ Машиностроение и техносфера XXI века // Сборник трудов XXVIII международной научно-технической конференции в г. Севастополе 13-19 сентября 2021 г. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – С. 120-123.

Личный вклад автора в работах, выполненных в соавторстве, заключается в следующем:

[1-2], [9], [11] – постановка задачи, проведение аналитического обзора;

[4] – выполнение экспериментальных исследований и выявление зависимости температуры окружающей среды на работоспособность гидравлического оборудования комплексов глубокой разработки пластов;

[3], [5], [8], [10], [12-14], [16] – выполнение основного объема экспериментальных исследований, обработка полученных результатов, формулировка выводов;

[6-7], [15] – разработка идеи технического решения и формулировка его сущности.

Подписано к печати __.__.2022 г.
Формат 60×84 1/6. Бумага офсетная. Отпечатано на ризографе.
печ. л. 1,0. Тираж 100 экз. Заказ № _____
КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28
Типография КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а