

УДК 622.684

МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РМК КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

Балыбин Е.В., студент гр. АТсиэ-241, II курс, Кудреватых Д.А., ученик
(МБОУ «Лицей №23»)

Научный руководитель Кудреватых А.В., к.т.н., доцент
Кузбасский государственный технический университет имени
Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

Тепловизионный контроль (инфракрасная термография) относится к методам неразрушающего контроля и позволяет оценить техническое состояние без его разборки и остановки технологического процесса.

В основе технологии лежит фиксация интенсивности теплового (инфракрасного) излучения, исходящего от корпуса редуктора (рис.1). Любой механический дефект — будь то избыточное трение, выработка ресурса или нарушение соосности валов — неминуемо вызывает аномальный нагрев. Тепловизионное оборудование улавливает это излучение и преобразует его в наглядную графическую схему распределения температур — термограмму (рис.2).

Применение тепловизора позволяет выявить:

- Износ подшипников;
- Нарушение режима смазки;
- Ошибки зацепления;
- Нарушение соосности в области соединительных муфт и валов.



Рисунок 1 – Тепловизор

Порядок проведения исследования

- Визуализацию поверхности корпуса с различных углов обзора;
- Сопоставление полученных данных с регламентированными паспортными показателями или результатами замеров;

- Мониторинг тепловых трендов (отслеживание изменений температурных режимов в долгосрочной перспективе).

Применение данного метода обосновано следующими факторами:

- Безопасность труда: бесконтактный характер измерений исключает риск травмирования сотрудников вращающимися элементами;
- Экономическая эффективность;
- Высокая информативность.



Рисунок 3 - Изменение термограммы на тепловизоре

Метод тепловизионного контроля эффективен лишь в тех случаях, когда неисправность сопровождается ощутимым тепловыделением:

- Интенсивное солнечное излучение (паразитный нагрев);
- Активная конвекция (воздушные потоки, обдув);
- Состояние поверхности (например, наличие масляной пленки или загрязнений, меняющих коэффициент излучения).

Акустический (виброакустический) анализ представляет собой высокоинформативную технологию неразрушающего контроля. Его ключевое преимущество — способность идентифицировать скрытые дефекты на стадии зарождения, когда визуальные признаки еще отсутствуют.

В основе лежит фиксация и последующая расшифровка параметров вибрационных процессов и акустической эмиссии. В качестве аппаратной базы используются прецизионные датчики (акселерометры, микрофоны, сенсоры).

Ключевые аналитические направления:

- Вибродиагностика (НЧ и СЧ диапазоны);
- Метод ударных импульсов (SPM);
- Высокочастотная акустическая эмиссия: фиксация упругих волн.
- Спектральный анализ (FFT).

Спектр идентифицируемых неисправностей:

- Повреждения передачи искривление валов: выкрашивание, износ профиля, усталостные трещины в основании зубьев.
- Дефекты подшипниковых опор: выработка дорожек качения, разрушение сепараторов, повреждение шариков или роликов.

- Режим смазки: переход к сухому трению или наличие абразива в масле (распознается по изменению ВЧ-спектра).

Преимущества подхода:

- Точная локализация

Вибрационный мониторинг является фундаментальным методом оценки технического состояния редукторных узлов. Анализ колебательных процессов в корпусе и на валах позволяет идентифицировать практически любые механические дефекты на стадии их зарождения. Производится при помощи прибора — виброметра (рис.3).



Рисунок 3 - Прибор для проведения вибродиагностики

В процессе эксплуатации вращающиеся шестерни генерируют вибрации со специфическим частотным профилем. Возникновение любой аномалии — мгновенно трансформирует общую вибрационную картину. (рис.4).



Рисунок 4 - Расположение прибора на объекте измерения

Для комплексного анализа состояния агрегата используются три ключевых параметра, каждый из которых отвечает за свой частотный диапазон:

- Виброперемещение (мкм): наиболее показательно в низкочастотной области (до 50 Гц).
- Виброскорость (мм/с): универсальный показатель для мониторинга в среднем диапазоне частот (10–1000 Гц).
- Виброускорение (м/с^2): обладает максимальной чувствительностью к высокочастотным вибрациям (свыше 1000 Гц).

Методы обработки сигнала

- Спектральный анализ (БПФ): разложение сигнала на частотные компоненты с помощью быстрого преобразования Фурье.
- Кепстральный анализ: метод «спектра от спектра».
- Анализ огибающей: выделение низкочастотных модуляций в высокочастотных колебаниях.

Методы ультразвуковой диагностики (УЗД) и регистрации акустической эмиссии (АЭ) относятся к наиболее чувствительным инструментам неразрушающего контроля. Они позволяют фиксировать деструктивные процессы в редуторе на микроскопическом уровне.

Технология базируется на регистрации высокочастотных акустических волн (обычно в диапазоне выше 20 кГц), возникающих вследствие трения, микроударов или структурной деформации кристаллической решетки металла.

Основные направления ультразвукового анализа:

- Ультразвуковая дефектоскопия;
- Ультразвуковая толщинометрия;
- Ультразвуковая структуроскопия.

Для качественного обследования необходим прямой доступ к поверхности диагностируемых элементов или специфическим участкам корпуса, обеспечивающим прохождение УЗ-волн к шестерням.

Ключевые области практического применения:

- Мониторинг подшипниковых узлов: идентификация высокочастотных акустических аномалий, вызванных дефицитом смазочного материала.
- Анализ зубчатых зацеплений: обнаружение сколов, трещин у основания и износа профиля зубьев через технологически доступные зоны корпуса.
- Дистанционный метод: бесконтактное сканирование узлов.

В процессе износа или повреждения шестерен в масло вымываются продукты износа — металлические микрочастицы, изучение которых помогает установить тип и скорость протекания негативных процессов (рис.5).

Тип частиц износа	Характеристики	Возможные причины
Режущие частицы	Тонкие частицы с острыми краями	Абразивный износ
Усталостные частицы	Плоские частицы неправильной формы	Усталостный износ поверхности
Сферические частицы	Гладкие сферические формы	Кавитация, усталость при качении
Крупные частицы	Частицы размером >50 мкм	Интенсивный износ, разрушение

Рисунок 5 - Частицы влияющие на износ

Ни один из описанных подходов не является исчерпывающим, так как каждый обладает уникальными достоинствами и специфическими рамками применения. Достижение максимальной достоверности результатов возможно лишь при интегрированном подходе, сочетающем несколько измерительных методик одновременно (рис.6).

Метод диагностики	Преимущества	Ограничения	Эффективность выявления дефектов
Вибродиагностика	Неинвазивность, возможность онлайн-мониторинга, высокая чувствительность к механическим дефектам	Сложность интерпретации результатов, влияние шумов от других источников	Высокая для большинства механических дефектов
Акустическая диагностика	Выявление дефектов на ранних стадиях, чувствительность к трещинам и дефектам	Чувствительность к окружающему шуму, необходимость близкого доступа	Высокая для начинающих повреждений и пластической деформации
Спектральный анализ масла	Информация о скорости и характере износа, возможность лабораторного анализа	Временная задержка между возникновением дефекта и его обнаруживанием, необходимость отбора проб	Высока для износа и коррозии
Тепловизионная диагностика	Бесконечность, наглядность и скорость исполнения	Влияние внешних факторов, а также выявление дефектов на основе лишь только тепловыделения	Умеренная для большинства дефектов, высокая для дефектов с трением
Ультразвуковая диагностика	Выявление внутренних дефектов, высокая точность	Необходимость доступа к поверхности или специальной подготовки, сложность применения для работающего оборудования	Высока для внутренних дефектов и трещин

Рисунок 6 - Сравнение методов

Рассмотренные диагностические инструменты характеризуются набором уникальных преимуществ и ограничений. Именно поэтому для достижения максимальной достоверности и глубины анализа наиболее рационально применять их в едином комплексе.

Список литературы:

1. Увеличение ходимости редукторов мотор-колес карьерных самосвалов методом внедрения контроля фактического технического состояния / А. А. Хорешок, А. В. Кудреватых, А. С. Ащеулов [и др.] // Горные науки и

технологии. – 2021. – Т. 6, № 4. – С. 267-276. – DOI 10.17073/2500-0632-2021-4- 267-276. – EDN НОКСJD.

2. Методы диагностирования фактического технического состояния редуктора мотор-колеса БелАЗ / А. В. Кудреватых, А. С. Фурман, А. С. Ащеулов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 2(144). – С. 23-28. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-2-23-28. – EDN DLJVZM.

3. Кудреватых, А. В. Методы диагностирования редуктора моторколеса // Россия молодая: Сборник конференции, 2021. – С. 523251-523254. – EDN SUISGY;

4. Методы диагностирования фактического технического состояния редуктора мотор-колеса БелАЗ / А. В. Кудреватых, А. С. Фурман, А. С. Ащеулов [и др.] // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 2(144). – С. 23-28. – DOI 10.26730/1999-4125-2021-2-23-28. – EDN DLJVZM.

5. Кудреватых А.В. Метод определения фактического технического состояния поворотного редуктора карьерных экскаваторов // Вестник Кузбасского Государственного Технического Университета. – 2019. - № 3. – С. 24 – 29.;

6. Козлов В.К., Гарифуллин М.Ш. Методы оптической спектроскопии в диагностике состоянии изоляции маслonaполненного электрооборудования / В.К. Козлов, М.Ш. Гарифуллин. Казань: Казан.гос. энерг. ун-т, 2013. 192 с.

7. Туранова О.А., Вандюков А.Е., Козлов В.К., Туранов А.Н. Оптика и спектроскопия. 2013. Т. 114. С. 628–631.