

УДК 620.9

МЕТОДЫ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ СОСТОЯНИЯ ГИДРОАГРЕГАТОВ

Каримов С. К.

магистрант гр. МЭЭ-22н/2 НАО

«Торайгыров университет», г. Павлодар

Научный руководитель МАРКОВСКИЙ В. П., к.т.н, профессор, зав. кафедрой
«Электроэнергетика», НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар

Актуальность исследования: В условиях постоянного роста потребления электроэнергии и стремительного развития энергетического сектора, гидроэнергетика остается важным источником стабильного и экологически чистого электроснабжения. Гидроагрегаты, являясь ключевыми элементами гидроэлектростанций, подвержены воздействию различных факторов, таких как износ, нагрузочные колебания, и изменения в эксплуатационных режимах. Это делает вопросы мониторинга и диагностики их состояния актуальными и стратегически важными для обеспечения долгосрочной эффективной работы гидроэнергетических установок.

Цель исследования: Цель настоящего исследования заключается в комплексном анализе и оценке методов мониторинга и диагностики состояния гидроагрегатов. Основное внимание уделяется разработке практически применимых стратегий, направленных на повышение надежности, снижение рисков преждевременных отказов и улучшение общей производительности гидроэлектростанций.

Значимость исследования: Эффективная эксплуатация гидроагрегатов напрямую влияет на стабильность энергосистемы и обеспечивает энергетическую безопасность региона. Современные методы мониторинга и диагностики предоставляют уникальные возможности для оперативного выявления потенциальных проблем, что способствует минимизации времени простоя и затрат на ремонтные работы. Исследование также ориентировано на создание новых подходов к анализу данных, внедрение современных технологий и инновационных методов диагностики.

Вибрационный мониторинг [1, 2, 3]

Описание: Вибрационный мониторинг представляет собой систематическое измерение колебаний гидроагрегата для оценки состояния его механических компонентов. Этот метод основан на предположении, что изменения в вибрации связаны с различными неисправностями, такими как дисбаланс, износ подшипников, трение и другие механические проблемы.

Цель мониторинга:

- Выявление возможных неисправностей на ранних стадиях;

- Предотвращение поломок и неплановых остановок;
- Оптимизация обслуживания и ремонта.

Методы измерения:

- **Установка датчиков вибрации:** Датчики устанавливаются на ключевых компонентах, таких как лопасти турбины, вал и подшипники;
- **Спектральный анализ:** Собранные данные анализируются в частотной области, что позволяет выделить характерные частоты, связанные с конкретными неисправностями;
- **Континуальный мониторинг:** Системы в реальном времени позволяют постоянно отслеживать изменения в вибрации и оперативно реагировать на аномалии.

Пример: Рассмотрим пример с установкой датчиков вибрации на лопастях турбины гидроагрегата. При нормальном состоянии лопастей амплитуда вибрации остается в пределах 0.1 - 0.5 мм/с. Если датчики регистрируют внезапное увеличение до 1.0 мм/с, это может свидетельствовать о дисбалансе или износе, требующих дополнительного внимания. Формула амплитуды вибрации представлена ниже:

$$V = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (v_i - \bar{v})^2} \quad (1)$$

где:

V – амплитуда вибрации;

n – количество измерений;

v_i – каждое измерение;

\bar{v} – среднее значение измерений.

Таблица 1 – Диагностика вибрационного мониторинга:

Амплитуда Вибрации (мм/с)	Состояние
0.1 - 0.5	Нормальное состояние
0.6 - 1.0	Предупреждение о возможных проблемах
>1.0	Требуется немедленное вмешательство

В данном примере таблица 1 предоставляет рекомендации по состоянию лопастей турбины в зависимости от измеренной амплитуды вибрации.

Вибрационный мониторинг представляет собой важный инструмент для оценки механического состояния гидроагрегата. Регулярное измерение колебаний на различных компонентах, таких как лопасти турбины и подшипники, позволяет оперативно выявлять дисбалансы, износ, и другие механические неисправности. Применение формулы амплитуды вибрации позволяет не только выявлять проблемы, но и предсказывать их возможное развитие.

Температурный мониторинг [4, 5, 6]

Описание: Температурный мониторинг включает в себя систематическое измерение температуры различных компонентов гидроагрегата. Этот метод направлен на выявление перегревов, трения и других аномалий, которые могут привести к повреждению механических элементов.

Цель мониторинга:

- Определение тепловых аномалий на ранних стадиях;
- Предотвращение повреждений от перегрева;
- Оптимизация процесса обслуживания и ремонта;

Методы измерения:

- **Установка термодатчиков:** Термодатчики устанавливаются на ключевых узлах гидроагрегата, таких как подшипники, лопасти турбины и другие тепловые точки;
- **Континуальный мониторинг:** Системы мониторинга в реальном времени предоставляют постоянные данные о температуре, позволяя оперативно реагировать на изменения.

Пример: Рассмотрим случай установки термодатчиков на подшипниках вала гидроагрегата. Нормальная температура подшипников находится в пределах 35 - 45 °С. Если температура поднимается выше этого диапазона, это может свидетельствовать о возможном трении или износе, требующих внимания. **Формула температурного баланса представлена ниже:**

$$P_{\text{ввод}} = P_{\text{потери}} + P_{\text{вывод}} \quad (2)$$

где:

$P_{\text{ввод}}$ — мощность ввода,

$P_{\text{потери}}$ — мощность потерь,

$P_{\text{вывод}}$ — мощность вывода.

Таблица 2 – Диагностика температурного мониторинга:

Температура (°C)	Состояние
35 - 45	Нормальное состояние
45 - 60	Возможное трение или перегрев
>60	Требуется немедленное вмешательство

В таблице 2 представлены рекомендации по состоянию подшипников вала в зависимости от измеренной температуры.

Температурный мониторинг играет ключевую роль в поддержании надежности гидроагрегата. Постоянное измерение температуры на критических узлах, таких как подшипники и лопасти турбины, помогает выявлять потенциальные проблемы, связанные с трением, перегревом или неправильной смазкой. Применение формулы температурного баланса позволяет оценить энергетические процессы в гидроагрегате.

Мониторинг анализа масла [7, 8, 9]

Описание: Мониторинг анализа масла включает в себя регулярный анализ физико-химических и механических свойств смазочного масла, используемого в гидроагрегате. Этот метод предназначен для выявления износа деталей, загрязнений и химических изменений, которые могут влиять на работу механизмов.

Цель мониторинга:

- Оценка степени износа механических компонентов;
- Выявление загрязнений, которые могут привести к поломкам;
- Планирование замены масла и профилактического обслуживания.

Методы анализа:

- **Отбор проб масла:** Регулярный отбор проб масла для последующего анализа в лаборатории;
- **Физико-химический анализ:** Измерение параметров, таких как вязкость, кислотность, щелочность и др.;
- **Спектральный анализ:** Определение концентрации металлических частиц, указывающих на износ деталей;
- **Определение загрязнений:** Измерение уровня загрязнения масла частицами или другими веществами.

Пример: Рассмотрим пример анализа масла на содержание металлических частиц. Нормальный уровень металлических частиц составляет менее 5%. Если анализ выявляет увеличение до 10%, это может

свидетельствовать о возможных проблемах с износом деталей гидроагрегата.

Формула анализа загрязнений представлена ниже:

$$\text{Износ} = \frac{\text{Количество металлических частиц}}{\text{Общее количество частиц}} \times 100 \quad (3)$$

Таблица 3 – Диагностика мониторинга анализа масла:

Уровень Износа (%)	Состояние
<5	Нормальное состояние
5 - 10	Предупреждение о возможных проблемах
>10	Требуется замена масла и дополнительный анализ

Таблица 3 предоставляет рекомендации по состоянию масла в зависимости от уровня износа, выявленного анализом.

Мониторинг анализа масла является важной частью обслуживания гидроагрегата, направленной на раннее выявление износа и загрязнений. Физико-химический анализ, спектральный анализ и определение загрязнений позволяют определить состояние смазочного масла. Интеграция реальных данных, приведение к формулам анализа и помогает оперативно реагировать на изменения в свойствах масла и принимать соответствующие меры по замене и профилактике.

Выводы:

Общий подход к мониторингу состоит в систематическом сборе данных, их анализе с применением соответствующих методов, и оперативном принятии решений на основе полученной информации. Интеграция различных методов мониторинга обеспечивает комплексный подход к обслуживанию гидроагрегата и повышению его надежности.

Список литературы:

1. «Мониторинг состояния вращающихся электрических машин» Питер Тавнер, Ли Ран.
2. «Мониторинг вибрации, тестирование и контрольно-измерительные приборы Кларенс У. де Сильва.
3. «Вибрация машин и роторная динамика» Джон М. Вэнс, Фуад Ю. Зейдан.
4. «Анализ производительности тепловых электростанций» Жилберто Франсиско Марта де Соуз.

5. «Тепловой анализ силовых электронных устройств, используемых в системах возобновляемой энергетики» Альдо Боглиетти, Елена Ломонова.
6. «Мониторинг состояния топок котлов электростанций» Ришард Бартник.
7. «Руководство по смазке и трибологии: Том I. Применение и техническое обслуживание» Джордж Э. Тоттен, Стивен Р. Рудник, Раджеш Дж. Шах.
8. «Практическая смазка для промышленных объектов» Хайнц П. Блох, Кеннет Баннистер.
9. «Основы анализа нефти» Дэниела Л. Фитч.