

Скворцов О.Б., Сташенко В.И.

Методы виброакустической диагностики оборудования

Аннотация: Рассмотрены вопросы виброакустического мониторинга сложного электромеханического оборудования, в которых пространственные вибрационные процессы связаны как с движением, например, роторных узлов, так и с вибрационными процессами электроиндукционной природы в проводящих шинах и контактных соединениях. Такие вибрации вызывают усталостные повреждения и повышенный износ в локальных областях малоподвижных соединений за счет процессов фреттинга. Процессы вибрации поверхностных слоев материала при этом могут сопровождаться как упрочнением материала и релаксацией остаточных механических напряжений, а также залечиванием микротрещин, так разупрочнением и активацией дислокационной трансформации.

Ключевые слова: усталость, вибрация, упрочнение, пластическая деформация, акустическое смягчение, поверхностные эффекты, фреттинг

Виброакустический мониторинг и диагностика силового электрического оборудования необходимы из-за высокой уязвимости такого оборудования и повышенной вероятности развития в нем повреждений. Это объясняется выбором конструкционных материалов для такого оборудования. В большинстве случаев в качестве таких материалов применяют металлы, выбираемые по лучшему набору их электротехнических свойств, а не по критериям механической прочности. Результатом такого выбора является низкая устойчивость к таким параметрам, как например, виброперегрузка. Допустимый уровень

виброперегрузки для такого оборудования согласно нормативной документации обычно не превышает одного g , а зачастую и меньше этого значения [1].

С другой стороны, в стороны для такого оборудования типично не только присутствие вибраций присущей механическому роторному оборудованию, но и специфическим вибрациям электрического происхождения [1-2]. Такие вибрации имеют более высокочастотные составляющие, а их действие приводит к ряду дополнительных негативных последствий: росту контактного электрического сопротивления и повышенному выделению тепла, развитию процессов электрохимической коррозии и фреттинг-износу. При этом использовать для снижения процессов трения традиционные средства в виде смазки, как правило, невозможно.

Повышенное присутствие высокочастотных вибраций в электромеханическом и энергетическом оборудовании отмечается при использовании режимов с импульсной модуляцией, работа с которой сопровождается формированием ударно-волновых механических колебаний на каждом из-фронтов электрических импульсов. При этом амплитуда виброперегрузок может существенно превышать допустимый уровень по ускорениям.

Использование виброакустического мониторинга для контроля состояния такого оборудования в процессе эксплуатации часто является наиболее эффективным средством оценки его состояния [3-4]. При таком мониторинге не требуется остановка оборудования, а получаемые данные позволяют прогнозировать возникновение повреждений и оценить остаточный ресурс.

Особенностями вибрационного мониторинга такого оборудования состоят в пространственном характере вибрации и, широком частотном диапазоне и отсутствии синхронности между низкочастотными вибрациями, привязанными к оборотной частоте, и вибрациями ударно-волнового вида, возникающим при воздействии электрических импульсных процессов. Пространственный характер вибрации связан с одновременным присутствием ортогональных компонент вибрации. Например, в области малоподвижного контактного соединения может быть нормальная к плоскости металла низкочастотная вибрация и высокочастотная вибрация в касательном направлении к этой плоскости. В этих условиях для такого места контакта типично

проявление фреттинг-коррозии. Для вибрационного мониторинга в такой области необходим не только трехкомпонентный вибрационный датчик, но и возможность одновременного контроля как низкочастотной, так и высокочастотной вибрации. Для этого необходимо одновременно одним таким датчиком контролировать такие параметры как ускорение и перемещение. Это можно реализовать с использованием схемы сбора вибрационных сигналов, показанной на рисунке 1.

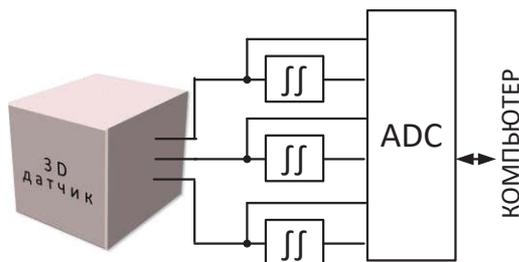


Рисунок 1 – Схема сбора данных о пространственном ускорении и пространственных перемещениях с использованием трехкомпонентного акселерометра

Формирование сигналов вибрационного перемещения реализуется с использованием звеньев двойного аналогового интегрирования. Такое решение позволяет учесть вклад низкочастотной вибрации, величина ускорений для которых обычно очень мала, а также высокочастотные вибрации, для которых характерно очень малое значение вибрационных перемещений. Бигармоническое нагружение при мониторинге обычными средствами виброконтроля показывает только одну действующую составляющую вибрации, но присутствие другой заметно сказывается на усталостной прочности в таких условиях.

В качестве примера контроля за величиной виброперегрузки электропроводящего элемента при воздействии на него электрического импульса приведены записи сигналов виброперегрузки и магнитной индукции на рисунке 2. Величина магнитной индукции вблизи поверхности проводника пропорциональна величине тока в текущий момент времени.

Электрический импульс начинает действовать в момент t_0 и заканчивает в момент t_1 .

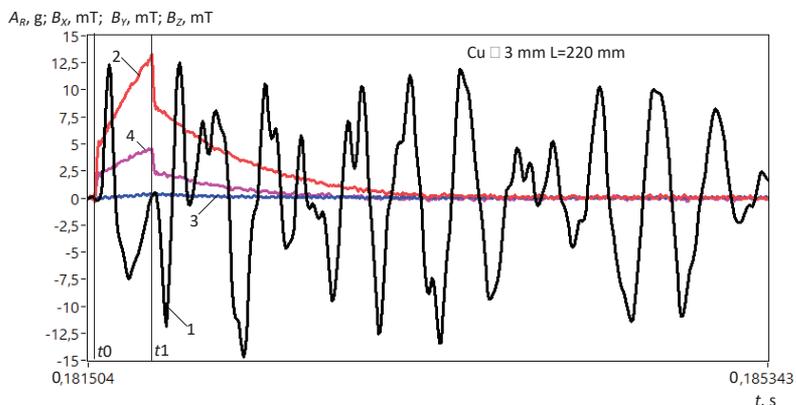


Рисунок 2 – Изменения виброперегрузки и магнитной индукции при пропусканнии электрического импульса через электропроводящую шину

Ударно-волновой отклик в металле проводящего элемента начинается с формирования механических ударов в начальные моменты фронтов электрического импульса. Такие механические ударные процессы имеют близкие амплитуды и длительности, но противоположны по знаку. После окончания действия электрического импульса в материале проводника наблюдаются затухающие гармонические колебания. Такие высокочастотные колебания сопровождают проявление электропластического эффекта и эффекта акустического смягчения и их наличие может приводить к повышенной пластической деформации металла и развитию усталостных повреждений. Выявление зарождения и развития таких повреждений является основной задачей диагностирования и мониторинга электромеханического оборудования. Выявление таких повреждений требует учета корреляционных связей и изменений в высокочастотных и низкочастотных пространственных составляющих вибрации по параметрам виброперегрузки и вибрационных перемещений систем непрерывного многоточечного мониторинга оборудования. Такой мониторинг удобно реализовать с использованием обучаемых

нейронных сетей в системах искусственного интеллекта. Такой подход особенно эффективен, поскольку сами системы мониторинга структурно близки к организации обучаемых нейронных сетей [5].

Литература:

1. *Скворцов О.Б., Сташенко В.И.* Вибрационная прочность и усталость электромеханического оборудования / Проблемы управления безопасностью сложных систем: материалы XXXI Международной научной конференции (13 декабря 2023 г.). – М.: ИПУ РАН, 2023. – С. 346-352.

2. *Мелехов К.А., Орехов А.Н.* Исследование состояния технического оборудования методами вибрационной диагностики / Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: Материалы III Международной молодежной научно-практической конференции, Архангельск, 26-28 апреля 2022 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 2022. – С. 484-487.

3. *Воронин А.* Непрерывный вибромониторинг оборудования. Решения для предотвращения незапланированных простоев // *Neftegaz.RU*. – 2020. – № 8(104). – С. 74-76.

4. *Митрофанов С.В., Сташкевич А.С.* Вибродиагностика энергетического оборудования. Перспективы развития и оптимизация вибродиагностической технологии / Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием), Оренбург, 30 января-01 февраля 2013 года. – Оренбург: Издательско-полиграфический комплекс «Университет», 2013. – С. 301-304.

5. *Skvorcov O.B. and Pravotorova E.A.* Vibration Monitoring Systems for Power Equipment as an Analogue of an Artificial Neural Network / *Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics*. – Springer, 2020. – P. 145-153.
