

Скворцов О.Б., Сташенко В.И.

Высокочастотная вибрация – диагностика и усталость

Аннотация: Рассмотрена возможность мониторинга сложного оборудования в условиях воздействия широкополосной вибрации. Отмечено, что эффективная противоаварийная защита такого оборудования для безопасной эксплуатации должна включать контроль вибрационного отклика как в характеристиках перемещения (деформации), так и действия динамических нагрузок, определяемых механическим ускорением.

Ключевые слова: надежность, циклическая усталость, вибрационная прочность, фреттинг, синергия, ускорение, динамические силы, деформация, мониторинг, противоаварийная защита

Введение

Механические удары и вибрации являются одной из наиболее распространенных причин повреждения сложного технического оборудования. Ударные воздействия часто имеют малую длительность, но при большой амплитуде они могут служить причиной зарождения механических дефектов. Такие дефекты затем развиваются под влиянием вибрации оборудования. Среди механизмов разрушения под влиянием вибрации многоцикловая и сверхмногоцикловая усталость, а также фреттинг коррозия [1, 2].

Вибрация сложного оборудования, например, роторных агрегатов вызвана множеством возможных причин и, как правило характеризуется сложным спектральным составом. Исследования разрушающего действия такой вибрации [3] показывает, что присутствие высокочастотных деформаций даже малой амплитуды сильно сказывается на прочностных характеристиках конструкционных материалов. Учесть влияние сложной аддитивной вибрации на процессы повреждения возможно в этих случаях только при условии контроля вибрационного воздействия, связанного как с процессами деформации, так и учета действующих динамических сил. Процессы деформации при вибрационном воздействии

определяются перемещением участков конструктивных элементов оборудования. Такие перемещения можно контролировать проксиметрами различного типа. Действие динамических сил может контролироваться акселерометрами, установленными на конструктивных элементах оборудования. Примеры аддитивных сигналов перемещения (деформации) d и ускорения a , представлены на рисунке 1.

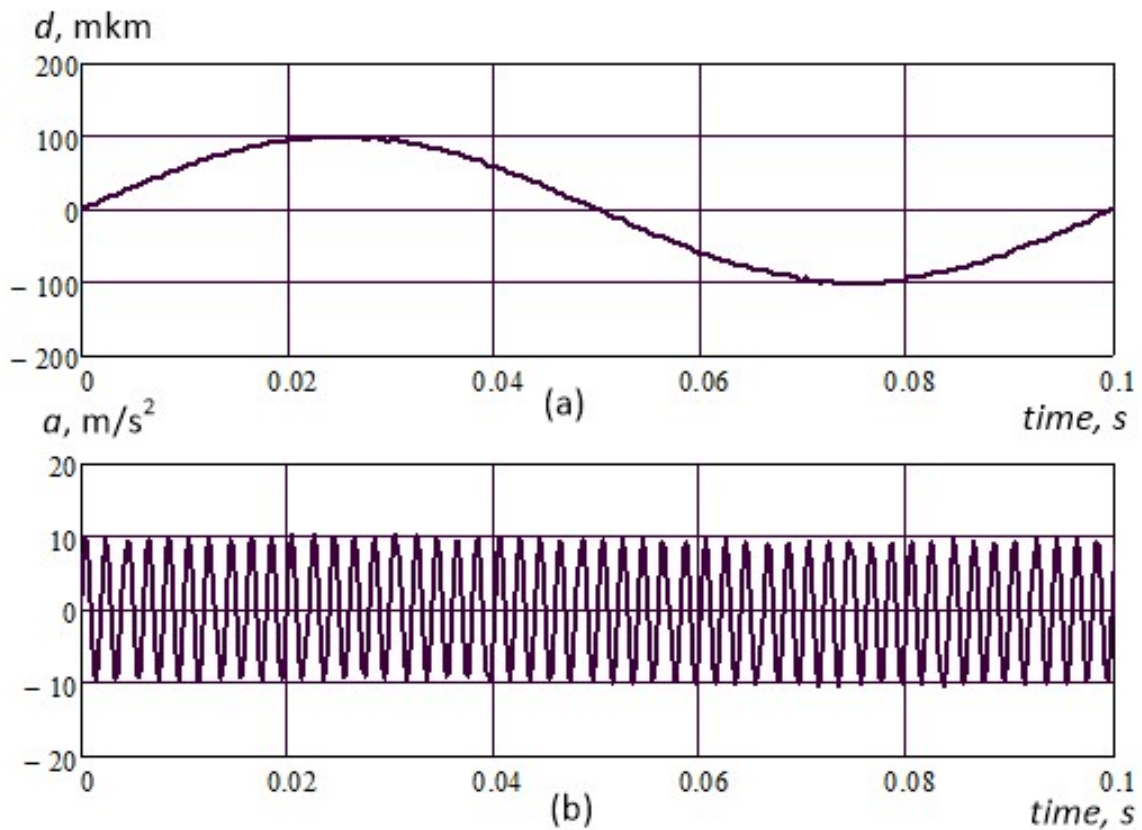


Рисунок 1 – Двухчастотная вибрация – сигналы перемещения и ускорения

Такая аддитивная смесь двух гармонических сигналов показывает, что такая вибрация в виде деформаций практически не зависит от вклада высокочастотной составляющей, а действующие динамические силы (ускорения) очень слабо реагируют на деформационные процессы низкочастотной вибрации. Такие особенности должны приниматься во внимание при создании алгоритмов работы систем вибрационного мониторинга, которыми оснащают современные сложные системы механического и электромеханического оборудования [4].

Такие особенности особенно существенны для оборудования с ограниченными усталостными прочностными характеристиками, например, электромеханического [5].

Указанные особенности относятся и к воздействию данных процессов. Пример сигнала от датчика ускорения в условиях воздействия удара и при наличии аддитивной высокочастотной вибрации приведен на рисунке 2. Особенностью ударных процессов является присущий им широкополосный ударный спектр в области повышенных частот. Сложное механическое оборудование, как правило, характеризуется наличием большого количества собственных резонансов.

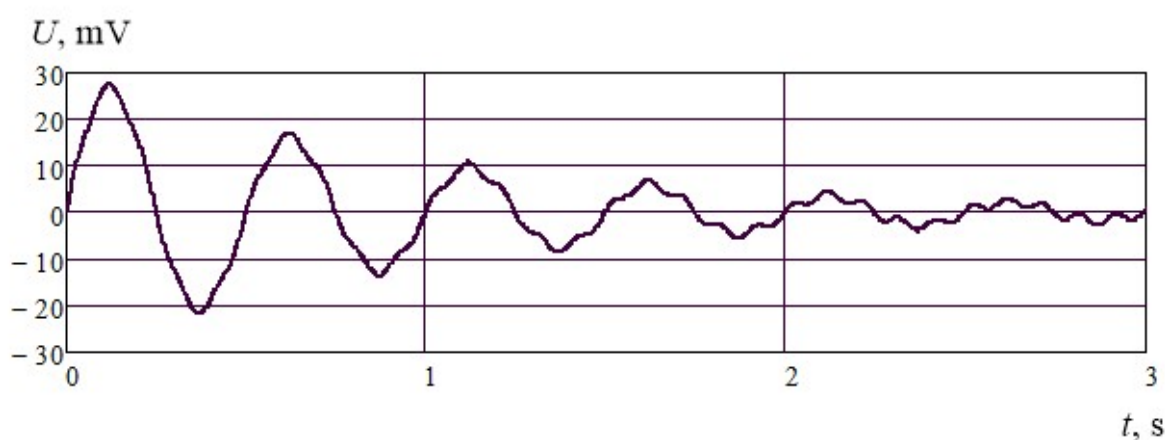


Рисунок 2 – Вибрационный сигнал с акселерометра в виде суммы оборотной вибрации и высокочастотных колебаний

Влияние резонансов может оказывать существенное влияние на снижение усталостной прочности. Это связано с тем, что широкополосный ударный вибрационный отклик возбуждает механические колебания конструкции на указанных резонансных частотах [6].

В этих условиях один и тот же вибрационный отклик по ускорению и перемещению имеет совершенно разный вид, как показано на рисунке 3. Перемещения (деформации), связанные с влиянием динамических сил, определяемых высокочастотной вибрацией, имеют малую величину по сравнению с низкочастотными деформационными процессами. При этом их вклад в снижение усталостной прочности материала может быть весьма значительным [3]. При контроле вибрационного отклика, как по перемещению, так и по ускорению получаем практически

независимые оценки, которые определяют возможности эксплуатации оборудования в условиях циклической усталости.

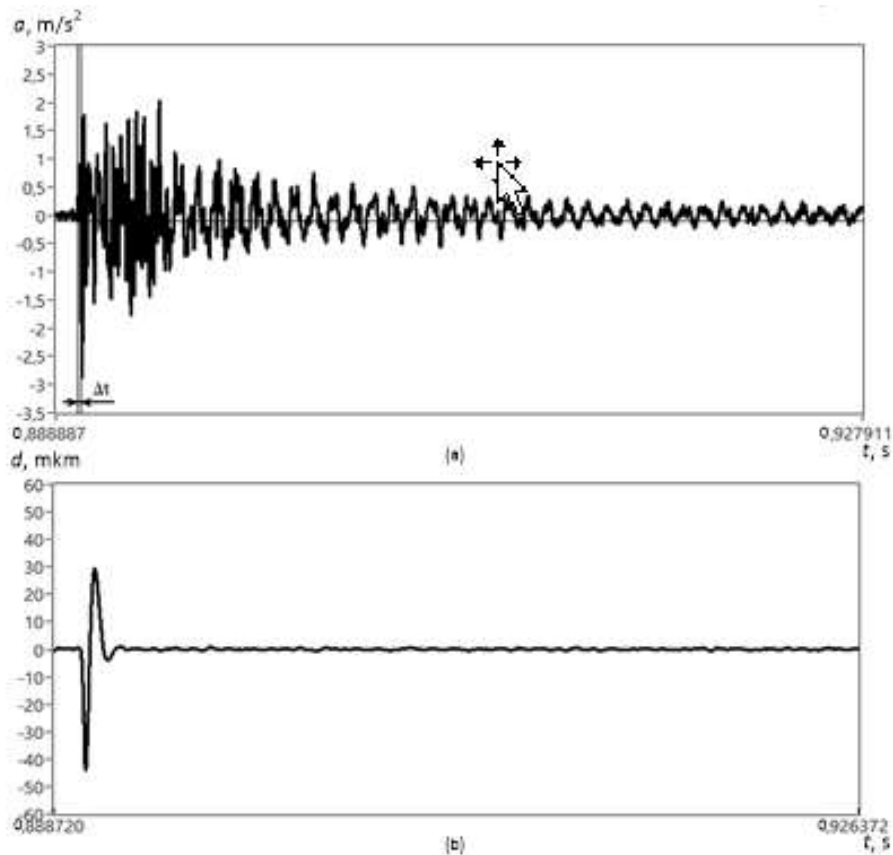


Рисунок 3 – Вибрационный отклик образца на ударное воздействие (элемент обмотки электродвигателя)

Влияние аддитивных составляющих при этом сказывается на получаемых оценках амплитуды и фазы механических колебаний, как показано на рисунке 4. Приведенные зависимости соответствуют влиянию затухающих резонансных процессов роторного агрегата при измерении параметров обратной вибрации. Такие оценки важны при оценке дисбаланса практически любого роторного оборудования. На рисунке 4 показаны относительные погрешности оценок амплитуды (а), абсолютные погрешности оценок фазы (б) обратной вибрации. Зависимости приведены для амплитуд этой составляющей при отсутствии (1) и наличии (2) аддитивных затухающих колебаний на частоте резонанса.

Рассмотренные особенности определяют требования к структурным решениям систем мониторинга вибрационного состояния сложного оборудования, которые необходимы для

обеспечения безопасности эксплуатации сложного технического оборудования. Такие особенности, к сожалению, пока не учитываются в нормативных документах, где перечислены требования к их техническим характеристикам [7].

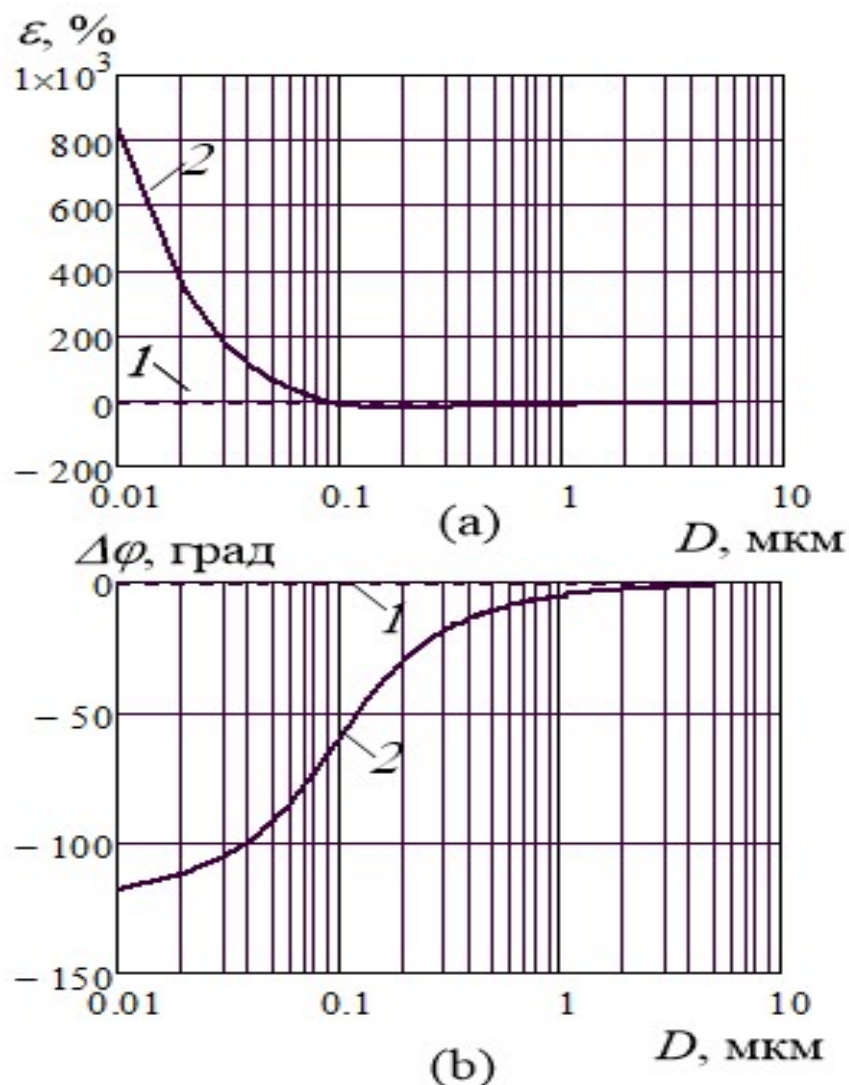


Рисунок 4 – Оценки погрешности измерения оборотной вибрации роторного оборудования

Заклучение

При создании систем вибрационного мониторинга, диагностики и противоаварийной защиты сложного механического и электромеханического оборудования необходимо обеспечить параллельный синхронный контроль параметров деформационных и динамических силовых воздействий на конструкционные элементы такого оборудования, поскольку такие оценки характеризуют

различные физические изменения, влияющие на усталость материалов.

Литература:

1. *Скворцов О.Б.* Вибрационный мониторинг и прочность конструкционных элементов с учетом инерционных свойств материалов при воздействии широкополосной вибрации // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2020. – № 6. – С. 1-17. – URL: <http://engjournal.ru/articles/1986/1986.pdf> (дата обращения 20.10.2022).

2. *Skvorcov O.B.* Selection of Vibration Norms and Systems Structures When Designing Means of Monitoring Units with Gear Transmissions / *New Approaches to Gear Design and Production.* – Springer, 2020. – P. 495-511.

3. *Махутов Н.А., Гаденин М.М., Резников Д.О., Неганов Д.А.* Анализ напряженно-деформированных и предельных состояний в экстремально нагруженных зонах машин и конструкций // Чебышевский сборник. – 2017. – Т.18. №3(63). – С. 390-412. DOI: 10.22405/2226-8383-2017-18-3-390-412

4. *Скворцов О.Б.* Вибрационный мониторинг энергетического оборудования и IoT технологии / Четвертый междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии» (Москва, 27-30 ноября 2018 г.) Сборник материалов. Т. 1. – М: ООО «Буки Веди», 2018. – С. 804-809.

5. *Stashenko V.I, Skvorcov O.B., Troickij O.A.* Design of mechanical properties of structural materials for power plant equipment / 17th International School-Conference "New Materials: Advanced Technologies", IOP Publishing. – IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2020. – 1005. – 012021. – P.7.

6. *Скворцов О.Б.* Влияние резонансных процессов на оценку параметров оборотной вибрации роторных узлов / Сборник докладов конференции «Инновационные технологии в электронике и приборостроении» Физико-технологического института РТУ МИРЭА. Том 1. – М.: РТУ МИРЭА, 2021. – С. 444-449.

7. *Скворцов О.Б.* Стандартизация и нормирование вибрационной усталости механизмов и машин / Проблемы управления безопасностью сложных систем. Материалы XXIX Международной научной конференции (15 декабря 2021 г., Москва). – М.: ИПУ РАН, 2021. – С. 528-533.