

К ВОПРОСУ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛАЗЕРНОЙ ВИБРО- МЕТРИИ

д.т.н., проф. Г.Н. Доля, А.Н. Пастушенко

Приводится один из возможных вариантов модернизации алгоритма цифровой обработки результатов лазерного вибродиагностического контроля.

Постановка задачи в общем виде. В настоящее время все большее внимание уделяется дистанционным методам контроля и бесконтактной диагностики различного оборудования и техники. Особо актуальными эти вопросы становятся при наличии агрессивных сред, плазмы, радиации и т.д. В этих условиях размещение традиционных средств контроля и диагностики требует разработки специальных защитных средств. Последнее не только осложняет получение информации, но и существенно повышает их стоимость, а также снижает срок их эксплуатации.

Поэтому все чаще исследователи и конструкторы обращают внимание на лазерные устройства, которые могут эффективно использоваться как средства дистанционного контроля и бесконтактной диагностики. Об этом свидетельствуют работы [1, 3, 7], в которых рассмотрены различные варианты построения таких средств.

При этом проблема создания лазерных устройств контроля и диагностики включает комплексное решение двух важных задач:

- конструирование устройств получения информации на основе лазеров;
- синтез процедур автоматической обработки материалов регистрации в реальном масштабе времени.

Проведенные ранее исследования показали, что предпочтение целесообразно отдавать лазерным гомодинным виброметрам. Последние отличаются относительной простотой схемы устройства и повышенной чувствительностью к изменениям технических характеристик контролируемых средств.

Анализ последних исследований и публикаций. Задаче использования лазерных виброметров как средств дистанционного контроля и бесконтактной диагностики посвящен ряд работ [1, 2, 7]. При этом в работах [1, 2] рассмотрена возможность применения лазерного гомодинно-

го виброметра как основного инструмента бесконтактной диагностики технического состояния оборудования и техники. Принцип гомодинной виброметрии основан на наличии переменной составляющей фототока, спектр которой пропорционален спектру угловых колебаний анализируемой поверхности [3].

Задача автоматического обнаружения изменений свойств сигналов и динамических систем возникла в конце 50-х гг. прошлого столетия. Это одно из интенсивно развивающихся направлений математической статистики, которое находит применение в таких областях, как техническая и медицинская диагностика, контроль технологических процессов, обработка сигналов и т.д. Сейчас особый интерес исследователей привлекают “неклассические” задачи анализа вибраций в машиностроении, сейсмограмм в геофизике, электрокардиограмм в медицине [4]. К последним относят и задачу автоматической обработки данных гомодинной виброметрии.

Формулирование целей. Целью настоящей работы является синтез процедур обработки материалов регистрации лазерного гомодинного виброметра в реальном масштабе времени. Для этого целесообразно решить следующие важные задачи: определить временные требования к реализации процедур обработки регистрируемых данных, синтезировать решающее правило, которое будет удовлетворять предъявленным требованиям, и на этой основе разработать соответствующий алгоритм.

Изложение основного материала. В качестве основной процедуры обработки результатов лазерной виброметрии в работе [2] использовалось преобразование Фурье. Однако, описанная в [2] методика отличается значительными вычислительными затратами, что влечет за собою невозможность использования аппарата обработки в реальном масштабе времени. Поэтому в данной статье рассматривается задача упрощения существующего алгоритма, предъявляются требования к временным характеристикам процедур обработки информации, а также предлагается вариант повышения оперативности выявления изменений в функциональном состоянии исследуемого объекта на основе изменения собственных частот при возникновении дефектов в процессе эксплуатации.

Для определения временных требований к алгоритму обработки целесообразно рассмотреть время реакции системы обработки информации:

- используемого сигнала и его характеристик в нормальном режиме и при возникновении нештатных ситуаций t_{peak} .
- временем обработки информации и принятия решения ($t_{0\sigma}$).

Максимальное время реакции системы обработки ($t_{\text{реак}}$) будет являться суммой указанных составляющих

$$t_{\text{реак}} = t_{\text{сигн}} + t_{\text{об}}.$$

Допустимое время выявления изменений в лоцируемом объекте в значительной мере зависит от его предназначения. Одновременно с этим его числовое значение должно быть верхней границей для $t_{\text{реак}}$.

Известно, что переход от преобразования Фурье к БПФ при числе членов $N = 2^{13}$ исходной последовательности позволяет в 158 раз увеличить скорость вычислений, а значит во столько же раз сократить $t_{\text{об}}$ [6].

В связи с этим предлагается двухэтапная процедура обработки. На первом этапе необходимо с высокой вероятностью установить факт работы диагностируемого объекта в нормальном режиме. Для этого необходимо реализовать обработку во временной области, которая требует меньших вычислительных затрат, чем спектральная. Это достигается выделением огибающей, содержащей информационную составляющую, последующей оценкой свойств полезного сигнала и выполнением «прореживания» данных в соответствии с теоремой Котельникова. Необходимо отметить, что, во-первых, основным носителем полезного сигнала является амплитуда сигнала, а во-вторых, длительность полезного сигнала определяет время реакции системы в процессе оценки изменения свойств динамической системы.

При возникновении малейших подозрений в нормальном режиме работы в ходе выявления изменений свойств полезного сигнала на втором этапе предлагаемого алгоритма выдается сигнал тревоги для последующей остановки работы оборудования (техники), и включаются более «тонкие» процедуры спектральной обработки. Последующий анализ полезного сигнала посвящается принятию решения о текущем состоянии объекта, а также его дальнейшем функционировании.

По существу на первом этапе имеем классическую задачу обнаружения изменения свойств сигнала, для которой можно воспользоваться известным методом максимального правдоподобия. При этом статистическая задача может быть сформулирована как обнаружение сигнала с неизвестной амплитудой в шуме с неизвестной интенсивностью.

Оптимальное решающее правило в этом случае сводится к отношению оценок дисперсии по двум конкурирующим гипотезам [8]:

$$\lambda(X_n | \alpha, \sigma_1, \sigma_2) = \left[\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \right]^{\frac{n}{2}} = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{\left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{E} \left(\sum_{i=1}^n x_i s_i \right)^2 \right]} \right\}^{\frac{n}{2}}. \quad (1)$$

Здесь α – оценка амплитуды полезного сигнала; σ_1 – оценка дисперсии по гипотезе отсутствия сигнала; σ_2 – оценка дисперсии по гипотезе наличия полезного сигнала; x_i – значения наблюдаемой выборки X_n объема n ; s_i – значения функции, задающей форму огибающей ожидаемого сигнала; $E = \sum_{i=1}^n s_i^2$ – энергия ожидаемого сигнала.

При этом n определяет количество дискрет “скользящего окна” и зависит от длительности полезного сигнала.

Анализ приведенного решающего правила показывает, что в числителе формулы (1) находятся квадраты значений наблюдаемой выборки, а в знаменателе те же значения за вычетом оценки энергии ожидаемого сигнала. Для реализации этого обнаружителя также требуются значительные вычислительные затраты. С целью повышения оперативности (сокращения величины $t_{об}$) принятия решения исследовался “квазиоптимальный” аналог решающего правила (1) следующего вида

$$\lambda = \sum_{i=1}^n x_i^2. \quad (2)$$

В формуле (2) при отсутствии шумов по существу рассчитывается

$$\lg \frac{|\omega - \omega_0|}{\omega_0}, \%$$

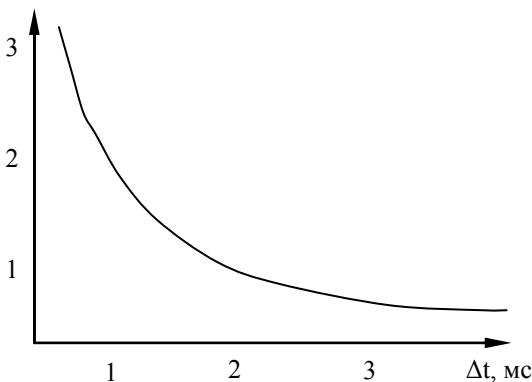


Рис. 1. Потенциальные характеристики «квазиоптимального» решающего правила

энергия ожидаемого сигнала. Возможности предложенного варианта обнаружителя исследовались методом статистического моделирования. При этом основное внимание было уделено исследованию его потенциальных возможностей по выявлению изменений частоты. График с потенциальными характеристиками приведен на рис. 1. Ми-

нимальное изменение частоты, которое позволяет выявлять предложенный вариант обнаружителя, составляет 0.05 % от ϖ_0 .

Выводы. В рассматриваемой работе для повышения оперативности обработки материалов регистрации лазерных гомодинных виброметров предложено использовать двухэтапную процедуру. При этом на первом этапе во временной области оперативно выявляется исправное функционирование исследуемого устройства, а второй этап предназначен для реализации “тонких” спектральных процедур выявления характера происшедших изменений в работе контролируемого изделия.

1. Для первого этапа разработан “квазиоптимальный” вариант обнаружителя. Методом статистического моделирования исследованы его потенциальные возможности.

2. Дальнейшие исследования целесообразно сосредоточить на разработке адаптивных алгоритмов для обработки материалов регистрации лазерных гомодинных виброметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доля Г.Н., Кочин А.В., Якименко С.Н., Гулак Р.В. Наблюдение комбинационных частот вибросигнала при импульсном лазерном зондировании объектов // *Збірник наукових праць*. – Х.: ХВУ. – 2000. – Вип. 4 (30). – С. 150 – 154.
2. Доля Г.Н., Пастушенко А.Н. Цифровая обработка результатов лазерного вибрационного контроля // *Збірник наукових праць*. – Х.: ХВУ. – 2002. – Вип. 3 (41). – С. 127 – 128.
3. Пресняков Ю.П., Щепинов В.П. Использование спекл-эффекта для анализа колебаний шероховатых поверхностей // *Журнал тех. физики*. – 1997. – № 8, Т. 67. – С. 71 – 75.
4. Обнаружение изменений свойств сигналов и динамических систем: Пер. с англ. / М. Бассвиль, А. Вилски, А. Банвенист и др.; Под ред. М. Бассвиль, А. Банвенист. – М.: Мир, 1989. – 346 с.
5. Шкаликов В.С. и др. Измерение параметров вибраций и удара. – М.: Издательство стандартов, 1980. – 188 с.
6. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – С. 367 – 368.
7. Мынцов А.А. Методика проведения измерений и диагностирования оборудования роторного типа. – <http://www.promservis.ru>.
8. Репин В.Г., Тартаковский Г.П. Статистический синтез при априорной неопределенности. – М.: Сов. радио, 1977. – 422 с.

Поступила 14.05.2003

*ДОЛЯ Григорий Михайлович, доктор технических наук, профессор, начальник
кафедры Харьковского военного университета.*

ПАСТУШЕНКО Александр Николаевич, курсант ХВУ.
