

УДК 629.7.03.018

П.В. МАКАРОВ

ФГУП "ММП "Салют", Москва, Россия

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ТЕНЗОМЕТРИРОВАНИЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ WINПОС

Показана необходимость автоматизации процесса обработки данных тензометрирования при увеличении числа измерительных каналов для более корректного исследования разрабатываемых конструкций. Сформулирована методика для создания модуля автоматизированной обработки данных тензометрирования. Для реализации предложенной методики выбран пакет обработки сигналов WinПОС, предназначенный для обработки измерительной информации с помощью стандартных математических и статистических алгоритмов, графического представления данных и документирования.

Ключевые слова: тензометрирование, огибающая, алгоритм, экстремум, амплитуда, частота.

Введение

Для получения полной спектральной картины динамического поведения деталей ГТД после проведения тензометрирования требуется провести большой комплекс "ручной" обработки. Постоянное увеличение числа измерительных каналов, для более корректного исследования разрабатываемых конструкций, усугубляет оперативную оценку результатов тензометрирования. В связи с этим, ставится задача автоматизации процесса обработки данных тензометрирования.

В настоящее время существует множество программ, позволяющих проводить спектральную обработку сигнала. Они выпускаются известными разработчиками измерительных систем, испытательного оборудования и специализированного программного обеспечения, такими как LMS, National Instruments, Brüel & Kjaer, НПП "Мера".

Для реализации модуля автоматизированной обработки данных тензометрирования был выбран пакет обработки сигналов WinПОС отечественной фирмы НПП "Мера", г. Мытищи. Данный пакет предназначен для обработки измерительной информации с помощью стандартных математических и статистических алгоритмов [1], графического представления данных и документирования, а также он высоко себя зарекомендовал в ведущих двигателестроительных фирмах и отраслевом институте ФГУП "ЦИАМ им. П.И. Баранова".

1. Формулировка поставленной задачи

Ставится задача о разработке методики для создания модуля автоматизированной обработки данных тензометрирования в пакете обработки сиг-

налов WinПОС на базе имеющихся в составе данного пакета алгоритмов обработки сигналов [2], а именно:

- огибающая (преобразование Гильберта);
- расчет АФЧХ (амплитуда гармоник);
- параметрический график;
- порядковый анализ 3D.

2. Описание предлагаемой методики

Все последующие действия выполняются для центрированных сигналов отфильтрованных от случайных выбросов и помех, влияющих на конечный результат.

Порядок выполнения алгоритмов:

1. Огибающая (преобразование Гильберта).

Рассчитывается огибающая процесса по времени.

Данный метод основан на преобразовании Гильберта, устанавливающим во временной и частотной областях связь между вещественной и мнимой частями одностороннего сигнала (равного нулю при $t < 0$).

Для получения трансформанты Гильберта над входным сигналом выполняется прямое преобразование Фурье:

$$F(k) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{n=0}^{N-1} f(n) \cdot \exp \left\{ -j \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot n}{N} \right\}. \quad (1)$$

Полученный спектр преобразуется к виду:

$$Z(k) = \begin{cases} 2 \cdot F(k), & \text{для } k = 1, \dots, N/2 - 1; \\ F(k), & \text{для } k = 0; \\ 0, & \text{для } k = N/2, \dots, N - 1 \end{cases} \quad (2)$$

Путем обратного преобразования Фурье спектра $Z(k)$ получается аналитический сигнал:

$$z(n) = f(n) + j \cdot \tilde{f}(n), \quad (3)$$

где $\tilde{f}(n)$ есть трансформанта Гильберта входного сигнала $f(n)$.

Описанные операции повторяются для каждого блока данных и результаты сводятся в один результирующий сигнал. Для уменьшения краевых эффектов блоки берутся с перекрытием в 25% от их размера.

Огибающая сигнала определяется выражением:

$$|z(n)| = \sqrt{f^2 + \tilde{f}^2(n)}, \quad (4)$$

где $\tilde{f}^2(n)$ – сопряженный по Гильберту сигнал.

Требуется задать размер блока БПФ и количество блоков.

2. Расчет АФЧХ (амплитуда гармоники). Рассчитывается функция изменения частоты вращения (амплитуда 1-ой гармоники тахосигнала) от времени. Преобразование размерности частоты вращения из Гц в % или об/мин производится посредством изменения "Множителя" в настройках "Тахо".

3. Параметрический график. Строится график зависимости значений огибающей (ось Y) от частоты вращения (ось X – Гц, об/мин, %). Результаты сохраняются для каждого сигнала в папке "Результаты" в дереве сигналов.

4. Из точек параметрического графика необходимо выбрать экстремумы, лежащие выше задаваемого пользователем порога $Ogib > \alpha$ в интересующем интервале частоты вращения $\beta_1 \leq$ Частота вращения $\leq \beta_2$ (например, от малого газа до максимала, рис. 1).

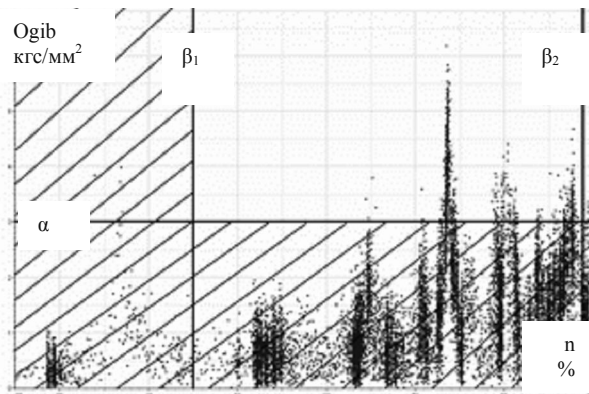


Рис. 1. График зависимости значений огибающей вибронпряжений от частоты вращения

5. Отбор максимальных значений из экстремумов по п. 4 в окрестности задаваемого интервала частоты вращения $\pm\Delta$ (Гц, об/мин, %). Начиная от левой заданной границы β_1 к абсциссе каждого из экстремумов прибавляется и вычитается Δ :

$$X_{ЭКСТР.i} - \Delta; X_{ЭКСТР.i} + \Delta. \quad (5)$$

Из экстремумов, попавших в первый интервал, выбирается максимум, а экстремумы, лежащие сле-

ва от него исключаются из дальнейшего отбора. Далее берется первый экстремум справа от интервала задаваемого 1-м максимальным экстремумом $+\Delta$ и соответственно от него рассматриваются экстремумы и определяется 2-ой максимальный экстремум в интервале $\pm\Delta$. И так далее до правой заданной границы β_2 . Если значения нескольких экстремумов попадающих в один интервал равны с заданной точностью определения напряжений (к примеру, округлённых до десятых), то все они отбираются с соответствующими каждому значению интервалами частоты вращения $\pm\Delta$.

Таблица 1

Пример отбора максимумов ($Ogib > 2, \pm\Delta = 1\%$, при точности округления частоты вращения и напряжений = 0,01)

№ канала	частота вращ., %	Ogib, кгс/мм ²	№ интервала	отобр. экстрем.	получ. интервал для поиска амплитуды
2 к.	49,63	2,32	1		
2 к.	49,69	2,79	1	max	48,69...50,69
2 к.	58,10	2,91	3	max	57,10...59,10
2 к.	59,41	2,79	4		
2 к.	59,57	3,02	4	max	58,47...60,57
2 к.	59,58	2,91	4		
2 к.	60,24	2,09	4,5	max	59,24...61,24
2 к.	60,67	2,08	5,6		
2 к.	61,26	2,07	5,6		
2 к.	61,68	2,21	6	max	60,68...62,68
2 к.	62,10	2,21	6	max	61,10...63,10

6. Построение 3D диаграммы Кемпбелла с помощью алгоритма "Порядковый анализ 3D". Для соответствия вида диаграммы общепринятому, необходимо чтобы по оси X откладывалась частота вращения, а по оси Z – частота колебаний.

В настройках "Шага по частоте" необходимо выбрать параметр "Макс.". Рекомендуется, чтобы величина "Размера блока" соответствовала задаваемой в п.1. Преобразование размерности частоты вращения из Гц в % или об/мин производится посредством изменения "Множителя" в настройках "Тахо". Результаты сохраняются для каждого сигнала в папке "Результаты" в дереве сигналов.

7. Определение максимальной амплитуды и соответствующих ей параметров (частоты вращения, частота колебаний, кратность*, время)** по данным 3D диаграммы Кемпбелла для каждого значения экстремума в соответствующих интервалах $\pm\Delta$ частоты вращения по п. 5.

* – кратность частоты колебаний рассчитывается от соответствующего по времени значения частоты вращения (1-ой гармоники тахосигнала, Гц). Если в п. 2 и п. 6 осуществлялось преобразование размерности частоты вращения из Гц в % или об/мин по средством изменения "Множителя" в настройках "Тахо", тогда необходим ввод корректирующего коэффициента:

$$k = \frac{K_{\text{корр.}} \cdot f}{f_{\text{Тахо}}} ; \quad (6)$$

** – определение значения времени процесса необходимо для подробной обработки сигнала с целью определения характера колебаний.

8. Представление полученных результатов по п. 1-7 для всех сигналов (например для однотипных т/р) осуществляется в виде обобщенного графика (рис. 2) и табл. 2.

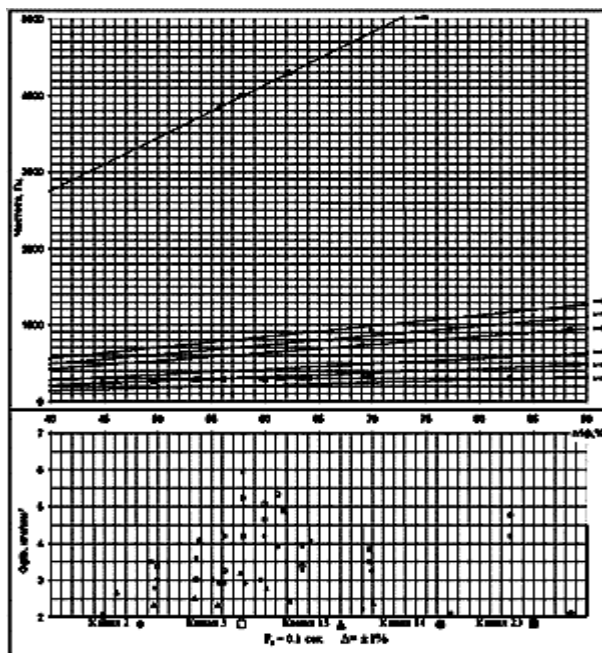


Рис. 2. Экспериментальная частотная диаграмма

Таблица 2

Пример таблицы-отчета автоматизированной обработки данных тензометрирования

№ канала	кратность	время, сек.	частота вращения, %	частота колебаний, Гц	Ogib, кгс/мм ²
к. 2	3,1	762	49,7	275	2,8
к. 2	2,9	1237	55,1	284	3,0
к.2	39,0	1273	58,1	4008	2,9
к. 3	2,8	1627	59,6	292	3,0
к. 3	2,7	2077	64,2	304	4,1
к. 3	6,1	2470	69,1	748	2,2

Заключение

Показано, что при увеличении числа измерительных каналов при тензометрировании, необходима оперативная оценка динамического состояния конструкции с помощью автоматизированной обработки данных тензометрирования. Предложена методика для создания модуля автоматизированной обработки данных тензометрирования в пакете обработки сигналов WinПОС на базе имеющихся в составе данного пакета алгоритмов обработки сигналов. В ближайшей перспективе планируется разработка соответствующего плагина в данном пакете.

Список литературы

1. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
2. WinПОС. Пакет обработки сигналов. Руководство пользователя. Редакция 3.0. НИИ "Мера". – Мытищи, 2010. – 198 с.

Поступила в редакцию 1.06.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Б.Б. Коровин, Федеральное государственное унитарное предприятие РФ «Летно-исследовательский институт им. М.М. Громова», Жуковский, Московская обл., Россия.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ОБРОБКИ ТЕНЗОМЕТРИЧНИХ ДАНИХ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ WINPOS

П.В. Макаров

Показана необхідність автоматизації процесу обробки даних тензометрування при збільшенні числа вимірювальних каналів для більш правильного дослідження розробленої конструкції. Розроблена методика для втворення модуля автоматичної обробки даних тензометрування. Для реалізації запропонованої методики вибраний пакет обробки сигналів WinПОС, який використовується для обробки мірної інформації за допомогою стандартних математичних і статистичних алгоритмів, графічного приведення даних і документування.

Ключові слова: тензометрування, огиальная, алгоритм, екстремум, амплітуда, частота.

AUTOMATIZATION OF STRAIN GAGE DATA POSTPROCESSING USING WINPOS SOFTWARE

P. V. Makarov

It is shown that authomatization of of strain gage data postprocessing is necessary at increase of data channel quantity for more correct study of the structures designed. The way of creation of module for automatic postprocessing of strain gage data. In order to realize this way, WinPos signal postprocessing software is chosen, this software is able to analyze measured data using standart mathematic and statistic alghorithms, graphic visualization and documentation.

Key words: strain gage data processing, envelope, algorithm, extremum, amplitude, frequency.

Макаров Павел Вячеславович – нач. группы ФГУП "ММПШ "Салют", Москва, Россия, e-mail: makarovpv@yandex.ru.