

ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА

В.И.Бояринцев, В.А.Нагорнов, Н.А.Камынин

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВИБРАЦИИ  
С ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ СЖАТИЕМ МАСШТАБА  
ВРЕМЕНИ РЕАЛИЗАЦИИ

При экспериментальном изучении причин повышенной вибрации ГТД, как правило, необходим тонкий анализ ее частотной структуры. Во многих случаях такой анализ целесообразно проводить с постоянной относительной полосой пропускания фильтра

$$\sigma = \frac{\Delta f}{f} = const ,$$

где  $\Delta f$  - абсолютная ширина полосы фильтра,  $f$  - текущее значение анализируемой частоты.

Численное значение  $\sigma$  в зависимости от относительной ширины спектра исследуемых компонент вибрации выбирается в пределах 0,01-0,25 [1].

Аппаратурное определение спектра вибрации современных ГТД, выполняемое последовательным способом, при высокой разрешающей способности анализа требует продолжительного времени. Необходимость больших затрат времени связана, как известно, с ограничением скорости анализа  $V$ , выбираемой из условия получения заданной статистической ошибки  $\varepsilon$  при требуемой разрешающей способности  $\sigma$ :

$$V < 4 \varepsilon^2 \sigma^2 f^2 .$$

При этом время анализа

$$T_A = \frac{F}{V} ,$$

где  $F$  - ширина диапазона анализируемых частот.

Весьма эффективно задача ускорения спектрального анализа решается применением предварительного сжатия масштаба времени исследуемой реализации процесса [2].

Сжатие масштаба времени исследуемой реализации процесса осуществляется путем ее запоминания в течение времени  $T$  и последующего многократного воспроизведения. Длительность цикла воспроизведения

$$T_B = \frac{T}{k} \quad (k > 1).$$

Воспроизводимая реализация изменяется во времени в  $k$  раз быстрее исходной, поэтому частоты всех ее спектральных составляющих  $f_B$ , а также общая ширина спектра  $F_B$  возрастают в  $k$  раз:

$$f_B = kf, \quad F_B = kF.$$

Если на каждом цикле воспроизведения последовательно анализировать спектральный состав сигнала фильтром с шириной полосы пропускания  $k\Delta f$ , то при сохранении прежнего значения  $\mathcal{E}$  скорость анализа воспроизводимой реализации может быть выбрана в  $k^2$  раз больше;

$$V_B = 4\mathcal{E}^2 k^2 \sigma^2 f^2.$$

Последнее обстоятельство позволяет в  $k$  раз сократить время анализа:

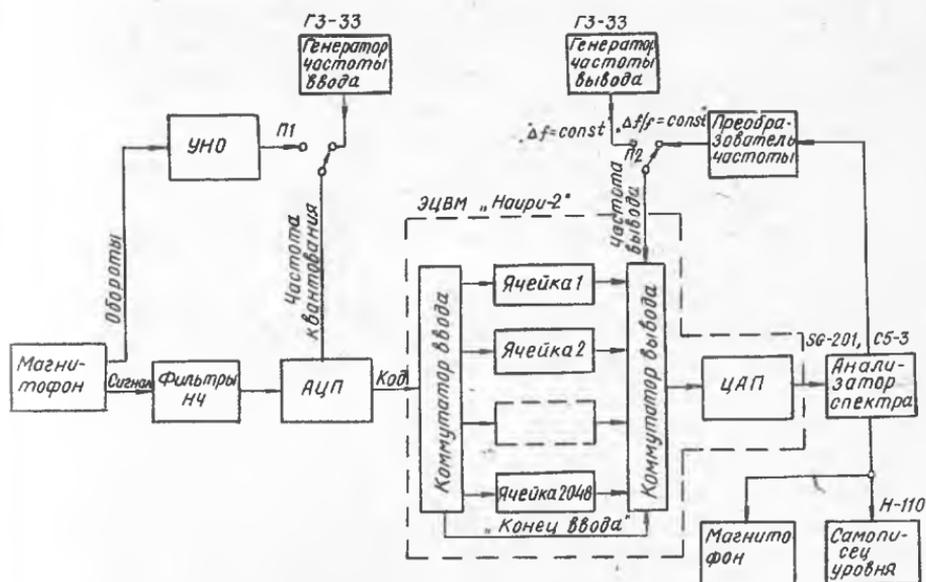
$$T_{AB} = \frac{F_B}{V_B} = \frac{T_A}{k}.$$

Для практической реализации устройств сжатия масштаба времени необходима разработка сложной специализированной аппаратуры, использующей быстродействующие элементы и узлы аналоговой и цифровой вычислительной техники для достижения достаточно больших значений  $k$ . Многие трудности технического характера отпадают, если в качестве устройства сжатия масштаба времени использовать малую ЦВМ, оснащенную каналами автоматизированного ввода и вывода информации из ее запоминающего устройства (ЗУ).

Блок-схема комплекса для спектрального анализа вибрации ГТД, построенного на базе малой ЦВМ "Наири-2", приведена на рисунке.

Работа комплекса происходит следующим образом.

Сигнал с выхода измерительного канала магнитофона ограничивается по частоте с помощью фильтров нижних частот (ФНЧ). Затем сигнал квантуется в аналого-цифровом преобразователе (АЦП) по времени и амплитуде, и полученный код с помощью коммутатора ввода поступает в ячейки оперативного ЗУ ЦВМ, начиная с первой. После заполнения всего ЗУ происходит автоматическое переключение ЦВМ в режим непрерывного



Р и с. 1. Блок-схема комплекса для спектрального анализа вибрации с предварительным сжатием масштаба времени исследуемой реализации

вывода накопленных данных с частотой, в  $k$  раз большей частоты вывода. Содержимое ячеек ЗУ через коммутатор вывода поступает на цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП), где вновь преобразуется в аналоговую форму, но частота этого аналогового сигнала находится в диапазоне 0-10 кГц независимо от выбранного для анализа поддиапазона. Выходной сигнал ЦАП анализируется гетеродинным анализатором спектра типа С5-3, работающим в режиме "широкая полоса". Перестройка анализатора производится от самописца типа Н-110, на ленте которого регистрируется спектр.

Регулировка ширины полосы пропускания анализирующей системы производится путем изменения частоты вывода информации из ЗУ.

Для получения постоянной относительной полосы пропускания системы частота вывода должна изменяться обратно пропорционально текущей анализируемой частоте. Необходимое при этом соотношение частоты вывода и текущей частоты обеспечивается с помощью специального преобразователя частоты (ПЧ). Выбор режима анализа ( $\Delta f = const$  или  $\frac{\Delta f}{f} = const$ ) производится с помощью переключателя  $\Pi_2$ .

Приближение к постоянной величине  $\sigma$  достигается выбором частот среза ФНЧ с таким расчетом, чтобы в промежутках между ними  $\sigma$  изменялась от 4% на нижнем конце промежутка до 2% на верхнем конце.

Технические данные комплекса:

диапазон исследуемых частот 25-12800 Гц;

число поддиапазонов - 8: 0-50 Гц, 0-100 Гц, 0-200 Гц, 0-400 Гц, 0-800 Гц, 0-1600 Гц, 0-3200 Гц, 0-6400 Гц, 0-12800 Гц;

величина  $k$  в поддиапазоне соответственно: 200; 100; 50; 25; 12,5; 6,25; 3,12; 1,56; 0,78;

крутизна среза ФНЧ - 36 дБ/окт;

количество запоминаемых ординат процесса - 2048;

код ординат - параллельный двоичный семиразрядный;

частота ввода  $f_{\text{вв}} = 3f_{\text{ФНЧ}}$ ;

максимальная частота вывода - 30 кГц;

время анализа поддиапазона - не более 1,5 мин;

максимальная скорость перестройки анализатора  $V = 1$  кГц/сек.

С помощью рассмотренного комплекса принципиально возможно выполнение следящего спектрального анализа вибрации как на установившихся, так и переходных режимах ГТД. Для осуществления такой возможности в состав комплекса необходимо ввести устройство нормировки оборотов (УНО). С его помощью производится изменение частоты квантования АЦП в соответствии с изменением оборотов ротора и, тем самым, нормализация частотной шкалы сигнала, вводимого в запоминающее устройство. Частоты спектральных составляющих, получаемые в результате анализа, должны в этом случае отсчитываться в единицах основной частоты вращения ротора.

Таким образом, использование предварительного сжатия масштаба времени исследуемой реализации позволяет существенно ускорить решение многих типичных для виброметрии ГТД задач спектрального анализа вибрации как на установившихся, так и на переходных режимах работы ГТД во всем рабочем диапазоне частот.

#### Л и т е р а т у р а

1. А в р а м е н к о А.А., К а н у н н и к о в И.П., С и д о р е н к о М.К. Обобщенная модель вибрации ГТД. Тезисы докладов III Всесоюзной научно-технической конференции "Конструкционная прочность двигателей". Куйбышев, 1974.

2. Черницер В.М., Кадук Б.Г. Преобразователи временного масштаба. М., "Советское радио", 1972.

П.П.Власов

### КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД СЛЕДЯЩЕГО АНАЛИЗА ВИБРАЦИЙ ГТД

Диагностические исследования газотурбинных двигателей (ГТД) по вибрационным параметрам в общем случае включают в себя 2 этапа: преобразование поступающей на вход диагностического анализатора суммы вибрационного шума и сигнала, соответствующего диагностируемому узлу двигателя, к виду, наилучшим образом обеспечивающему принятие решения; принятие решения о наличии или отсутствии полезного сигнала либо о значениях параметров сигнала. В соответствии с определенными правилами затем делается вывод о наличии или отсутствии неисправностей.

Второй этап решается методами распознавания образов и выходит за рамки данной работы. Ограничимся рассмотрением методов, которыми решаются задачи первого этапа.

Спектральный анализ в настоящее время является основным методом при решении задач выделения полезного сигнала. В то же время практика вибрационных исследований в ряде случаев показывает неоптимальность этого метода обработки и неадекватность его структуре вибрационного сигнала. Для пояснения данного положения рассмотрим кратко суть оптимальной и адекватной фильтрации.

В наиболее общей форме вопросы оптимальной обработки сигналов рассматриваются статистической теорией обнаружения сигналов [1]. Ограничимся тем случаем, когда форма полезного сигнала в основном заранее известна, а информация заключена в априорно неизвестных, в общем случае случайных параметрах этого сигнала. Такой вид сигнала характерен для вибрации ГТД, так как модель смеси частотно-модулированной синусоиды с вибрационным шумом во многих случаях ближе к реальным компонентам вибрационного сигнала, чем представление их в виде чисто случайного узкополосного процесса.

Для таких сигналов удобно разграничить два вида задач. К первому относятся задачи обнаружения сигналов. Методы решения этих задач находят применение в диагностике технического состояния ГТД для обнару-