

отно-импульсного модулятора 7, обращая основное внимание на обеспечение требуемой чувствительности.

Задаваясь допустимыми значениями статистической методической погрешности и характеристиками входных сигналов из формулы (7), можно выбрать параметры устройства.

Рассматриваемое устройство значительно проще известных, позволяет, используя выход непосредственно широтно-импульсного модулятора 7, легко получить цифровой выход результатов, обладает высокой точностью. Кроме указанных областей применения при добавлении соответствующих фильтров оно может быть использовано для определения соотношения мощностей основной гармоник анализируемого сигнала и паразитных гармоник, соотношения мощностей составляющих сигнала, лежащих в разных полосах частот.

До сих пор переключатель находился в положении I. Если перевести его в положение II, а широтно-импульсный модулятор 7 выполнить выдающим положительные однополярные импульсы, то устройство приобретет способность оценки отношения дисперсии анализируемых сигналов со свойствами, близкими к формулам (6), (7). При этом используется свойство равенства сформированного сигнала с широтно-импульсного модулятора 7 его квадрату.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мирский Г. Я. Аппаратурное определение характеристик случайных процессов. М., «Энергия», 1972.
2. Жилинских Р. П. Измерители отношения. М., «Советское радио», 1975.
3. Чернецкий В. И. Анализ точности нелинейных систем управления. М., «Машиностроение», 1968.

УДК 621.317.757

Ю. В. КИСЕЛЕВ

О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДА ВЗАИМНЫХ СПЕКТРОВ К ЗАДАЧАМ ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ГТД

В настоящее время для виброакустической диагностики ГТД обычно используют информацию о спектрах вибрации и шума при различных оборотах и режимах работающих изделий.

Однако простым спектральным анализом не решаются вопросы идентификации источников шума и вибрации ГТД (в случае перекрывающихся спектров), определения степени преобразования входного возмущения при распространении по конструкции, определения связности колебаний различных точек изделия. Под идентификацией источника шире будет пониматься определение доли колебательной энергии, вкладываемой отдельным источником в уровень колебательной энергии контрольной точки на данной частоте или в данной полосе частот. Эти проблемы в линейной постановке могут быть решены путем определения спектральных и взаимоспектральных характеристик на входах и выходах многомерной системы, в виде которой могут быть представлены отдельные узлы и целиком ГТД [2]. Многомерной системой будем называть систему, имеющую множество входов и выходов. Под входом системы понимается точка приложения возмущения (для механической системы это точка приложения механической силы или момента, для акустической — точка возникновения акустических возмущений). Под выходом будем понимать место установки контрольного датчика.

В настоящей работе сделан обзор метода взаимных спектров с целью оценки возможности применения этого метода в виброакустической диагностике для определения динамических характеристик ГТД и идентификации источников шума и вибрации в условиях нормальной работы изделия.

Рассмотрим общую схему преобразования входного возмущения $x(t)$ при прохождении через линейную стационарную систему (рис. 1).

Математически преобразование входного возмущения $x(t)$ в выходное $y(t)$ описывается следующим образом:

$$y(t) = A[x(t)],$$

где $A[]$ — оператор системы.

Для одномерной системы (один вход и один выход) (рис. 2) и задания входного и выходного сигналов в спектральной форме связь между спектром входного процесса $G_x(f)$, спектром выходного сигнала $G_y(f)$ и взаимным спектром $G_{xy}(f)$ определяется следующими выражениями:

$$G_y(f) = |H(f)|^2 G_x(f); \quad (1)$$

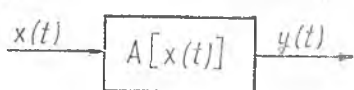


Рис. 1. Общая схема линейной стационарной системы

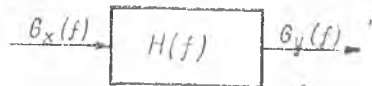


Рис. 2. Схема одномерной системы

$$G_{xy}(f) = H(f)G_x(f), \quad (2)$$

где $H(f)$ — комплексная частотная характеристика системы.

Под входными процессами могут пониматься все физические процессы, протекающие в ГТД: переменные механические силы, пульсации давления, акустические шумы, вибрация узлов и т. п. Под выходными процессами, с точки зрения виброакустической диагностики, будем понимать вибрационные или акустические процессы.

В случае изучения акустических явлений входным и выходным процессами будут шумы ГТД, воспринимаемые микрофонами. Частотная характеристика является безразмерной величиной, указывающей, каким образом изменяется шум при распространении от источника к контрольной точке. Следует оговориться, что в отличие от случая, рассмотренного в работе [2], когда источником шума являлась целиком какая-либо машина (например, станок), при локализации шума ГТД источниками шума являются отдельные узлы ГТД (например, компрессор, сопловой аппарат, турбина и т. п.). В этом случае следует быть осторожным в выборе места установки датчика и оценке результатов. Датчик (микрофон) необходимо устанавливать таким образом, чтобы он оценивал шум источника в целом, а влияние других источников было как можно меньше. Поскольку расстояние между источниками мало и они связаны между собой не только акустической средой, но и вибропроводящими конструкциями, то взаимосвязь источников шума необходимо учитывать.

При исследовании процессов распространения вибрации по конструкции входными и выходными процессами будет вибрация различных узлов или участков корпуса ГТД. Частотная характеристика является безразмерной величиной, определяющей, каким образом изменяется вибрационный процесс при распространении по конструкции.

При исследовании связи сил и вибрации r частотная характеристика имеет размерность. Размерность ее определяет величину (энергия) вибрационного процесса, вызванного единичным силовым нагружением. Сама частотная характеристика определяет характер преобразования возмущающих сил в вибрационный процесс. В этом случае при использовании выражений (1), (2) необходимо точно определить место приложения силы и установить в этом месте датчик силы. Подобная процедура весьма сложна. Это обусловлено, во-первых, распределенным характером нагрузки (особенно от сил газо- и гидродинамического происхождения); во-вторых, трудностями, связанными с созданием датчиков, замеряющих необ-

ходимые усилия. Часто пользуются следующими упрощениями. Во-первых, считают, что целесообразно говорить о приведенных, локальных силах, которые являются равнодействующими распределенных нагрузок и воздействуют на конструкцию в некоторых точках (точках приведения). Во-вторых, вместо измерения сил производят измерение вибрации в точках действия равнодействующих сил (в точках приведения). При этом считают, что составляющие вибрации в этих точках определяются соответствующими составляющими сил.

Все вышесказанное относится и к многомерным системам (рис. 3). Однако в этом случае необходимо учитывать, что входные процессы могут быть коррелированы. Например, при исследовании распространения вибрации по конструкции необходимо учитывать связность входных процессов, поскольку датчики, регистрирующие входные вибрационные процессы, расположены на вибропроводящей конструкции.

Для многомерных систем с одним выходом $y(t)$ и n входами $x_i(t)$ (где $i = 1, 2, \dots, n$) выражения (1), (2) примут следующий вид:

$$G_y(f) = \sum_{i=1}^n G_i(f) |H_i(f)|^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n G_{ij}(f) H_i^*(f) H_j(f); \quad (3)$$

$$G_{iy}(f) = \sum_{j=1}^n G_{ij}(f) H_j(f), \quad (4)$$

где $H_i(f)$ — частотная характеристика между входом и выходом;

$H_i^*(f)$ — частотная характеристика, комплексно сопряженная с $H_i(f)$;

$G_{iy}(f)$ — взаимный спектр между процессами на i и j входах.

Используя выражения (3) — (4), можно по известным спектральным и взаимоспектральным характеристикам входных и выходных процессов определять частотные характеристики систем или по известным частотным характеристикам систем и спектрам входных процессов определять спектральные и взаимоспектральные характеристики выходного процесса.

Выражения (3), (4) можно использовать для определения доли колебательной энергии, которую вносит отдельный источник в общий уровень колебательной энергии в контрольной точке

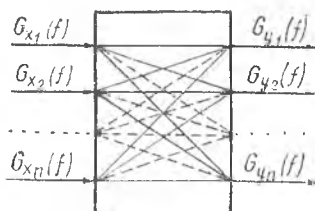


Рис. 3. Схема многомерной системы

(произвести локализацию источников). Количество колебательной энергии, которую вкладывает i входной процесс в выходной, определяется следующим выражением:

$$G_y^i(f) = G_i(f) \cdot |H_i(f)|^2 + \sum_{j=1}^n G_{ij}(f) H_i^*(f) \cdot H_j(f). \quad (5)$$

Доля колебательной энергии, вкладываемая i источником в суммарный колебательный процесс, определяется выражением

$$c^i(f) = \frac{G_i(f)}{G_y(f)} |H_i(f)|^2 + \sum_{j=1}^n \frac{G_{ij}(f)}{G_y(f)} H_i^*(f) H_j(f). \quad (6)$$

Таким образом, сравнительная оценка степени влияния отдельных источников на суммарный колебательный процесс сводится к оценке влияния отдельных произведений правой части уравнения (5) на их сумму. Уравнение (6) можно записать следующим образом:

$$c^i(f) = A_i(f) + \sum_{j=1}^n B_{ij}(f). \quad (7)$$

Коэффициенты $A_i(f)$ пропорциональны части суммарного колебательного процесса, обусловленной действием каждого из входных процессов при отсутствии между источниками корреляционной связи. Коэффициенты $B_{ij}(f)$ характеризуют степень влияния корреляционной связи между источниками на уровень суммарного колебательного процесса.

Использование спектральных и взаимоспектральных характеристик для изучения динамических свойств узлов ГТД и локализации источников шума и вибрации ГТД предъявляет определенные требования к точности измерения этих характеристик, а следовательно, и к метрологическим характеристикам анализаторов спектра и взаимного спектра [1]. Особенно повысятся требования к точности в случае многомерной системы с коррелированными входами, так как в этом случае необходимо определять взаимоспектральные характеристики для каждой пары входных процессов.

Из вышеизложенного следует, что при локализации источников шума и вибрации большое значение имеет правильное определение возмущающих (входных) процессов. Эту задачу необходимо решать как путем построения обоснованной модели системы действующих сил или обоснованной модели системы источников шума и вибрации (т. е. определение мест установки датчиков, измеряющих входные процессы), так и выбором датчика, который должен правильно отражать физическую сущность процесса (измерение сил, пульсаций давления и т. п.) или

измерять процесс, физически связанный с процессом, возбуждающим колебания (например, вместо силы измерять вибрацию в точке действия силы).

Рассмотренный подход можно использовать при решении задач виброакустической диагностики, например, для определения чувствительности датчика, установленного в контрольной точке, к вибрации какого-либо узла, который необходимо подвергнуть диагностике; для идентификации каких-либо участков спектра или составляющих с источниками (если это невозможно сделать обычным спектральным анализом). Сведения о спектральных и взаимоспектральных характеристиках можно использовать для получения частотных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков А. К. Корреляционные измерения в корабельной акустике. Л., «Судостроение», 1971.
2. Попков В. И. Виброакустическая диагностика и снижение виброактивности судовых механизмов. Л., «Судостроение», 1974.

УДК 534.1:539.433

В. И. КОСТИН, Е. В. СУНДУКОВ

К ВОПРОСУ ОБ ОЦЕНКАХ ИНТЕНСИВНОСТИ УЗКОПОЛОСНОЙ НЕГАРМОНИЧЕСКОЙ ВИБРАЦИИ

Повышение удельных параметров энергетических машин приводит к необходимости более строгого подхода к оценке интенсивности вибрации. Основная доля энергии опасных колебаний, как правило, концентрируется в нескольких относительно узких полосах. Поэтому оценка интенсивности вибрации сводится, в конечном счете, к оценке интенсивности узкополосной вибрации. В настоящее время отсутствует единый подход к этому вопросу.

Ниже приведены некоторые методы оценки интенсивности.

Согласно ГОСТ 12379-66 «Машины электрические. Методы оценки вибрации» интенсивность R в диапазоне до 500 Гц оце-