

На базе Казанского моторостроительного производственного объединения (КМПО) совместно с кафедрой технологии производства двигателей создан учебно– производственный центр (УНПЦ). Учебный процесс на пятом курсе осуществляется сочетая теоретическое обучение в лабораториях УНПЦ и производственную деятельность на КМПО. В рамках УНПЦ производственное объединение представляет современную базу для производственных и преддипломной практик, позволяет деятельно знакомить студентов со всеми этапами изучаемых технологических процессов, ведущие специалисты предприятия преподавая дисциплины специализации с использованием своего богатого производственного опыта формируют более компетентных инженеров, в учебный процесс вовлекается уникальное технологическое оборудование, современные контрольно – измерительные комплексы и т.д., обеспечивается успешная и ускоренная адаптация выпускников на производстве.

Таким образом, только системный подход в улучшении всех аспектов учебно – образовательного процесса позволяет на данном этапе обеспечивать качество подготовки специалистов – технологов, отвечающее требованиям и запросам современного производства.

ОПТИМИЗАЦИЯ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ГАЗОВЫХ ТУРБИН ПО ВИБРАЦИОННЫМ ПАРАМЕТРАМ

Марков А.М., Мозейко Б.Ю.

ООО НТЦ «Самараинжиниринг», ООО «Самаратрансгаз», г. Самара

Современные ГТ представляют собой сложную систему, состоящую из множества узлов, деталей и присоединенных агрегатов, которые имеют как жесткие, так и упругие связи. Все эти детали даже условно не могут быть определены как точечные источники вибрации, т.к. они не работают отдельно и нет возможности использовать метод последовательного исключения источника вибрации.

Простое сопоставление реальных спектров практически не позволяет выявить источники вибрации, так как спектры вибрации обычно находятся в одном частотном диапазоне и основные их частотные составляющие совпадают, а результирующий спектр является наложением этих спектров. Необходимо также учитывать, что при распространении вибрации по валопроводам, корпусным деталям и фундаментам вследствие диссипации и прохождения вибрации через стыки сопрягаемых деталей происходит существенное изменение спектров. Общее вибрационное воздействие отдельных элементов ГТ в силу целого ряда причин носит случайный характер. Необходимо также принимать во внимание существенную взаимосвязь

механизмов как источников колебательной энергии и их значительную протяженность.

Наиболее существенным и простым методом локализации источников вибрации, а также определения доли вибрационной энергии, передаваемой от источника в точку замера, является метод корреляционного анализа.

Для определения количественной меры тесноты спектральной связи величину модуля взаимного спектра нормируют: получают функцию когерентности (квадрат функции когерентности) двух процессов $\gamma_{x,y}^2$.

Когерентность по аналогии с коэффициентом корреляции несет информацию о степени корреляции, т.е. о степени линейной взаимосвязи двух процессов, но только в частотной области. Если колебательные процессы статистически независимы, то при всех значениях частоты $\gamma_{xy}^2 \equiv 0$.

Если $\gamma_{xy}^2(f) \equiv 1$, то процессы $x(t)$ и $y(t)$ полностью когерентны. При этом каждому значению частоты значение функции когерентности можно рассматривать как возведенное в квадрат значение коэффициента корреляции, отображающего степень линейной зависимости между двумя процессами – с учетом того, что оценки собственных спектров соответствуют вариации переменных величин, а оценка взаимного спектра соответствует ковариации этих величин. Если функция когерентности отлична от нуля, но меньше единицы, то это может означать следующее:

- присутствие некоррелированного шума в сигнале $x(t)$ и (или) $y(t)$;
- нелинейность связи между процессами $x(t)$ и $y(t)$;
- утечку, обусловленную недостаточным разрешением и (или) применением неоптимальной весовой функции;
- соизмеримость временной задержки между сигналами $x(t)$ и $y(t)$ с длительностью реализации.

Установка акселерометров на двух опорах одного ротора в одном направлении (рис.1) обуславливает высокий уровень частотных составляющих функции когерентности ($\gamma^2 \geq 0,95$) всех процессов, возбуждаемых данным ротором (рис.2). Некоррелированный шум практически отсутствует.

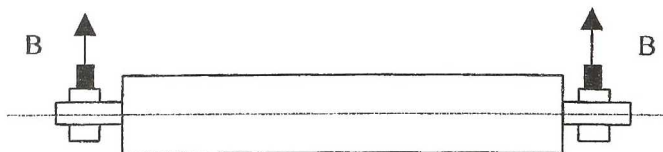


Рис.1. Схема установки акселерометров на опорах ротора
В – вертикальное направление

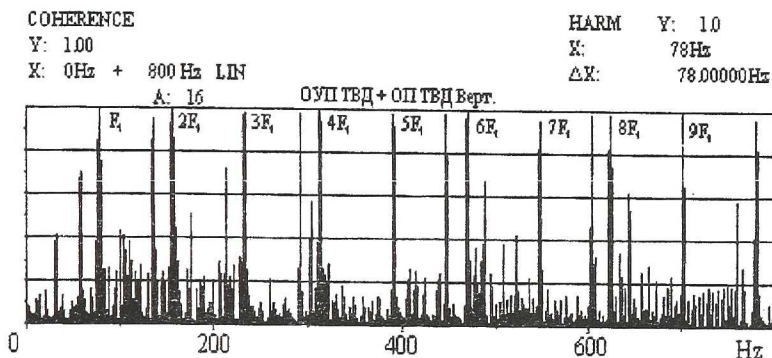


Рис.2. Спектр функции когерентности, полученный на опорах ротора ТВД ГТК-10-4 в вертикальных направлениях

Все вибрационные процессы, возбуждаемые ротором ТВД, имеют высокие значения частотных составляющих функции когерентности $\gamma^2 \geq 0,95$. Все остальные частотные составляющие – некогерентные (некоррелированные) – возбуждаются не ротором ТВД, а передаются на опоры ротора по корпусным деталям, валопроводам, по аэрогазодинамическим трактам или другими путями.

Нелинейные связи между процессами, возбуждаемые данным ротором, отсутствуют. Они возникают только при совместном анализе вибрации двух различных деталей машины, к которым относятся, например, взаимные колебания двух роторов, ротора и опоры, ротора и корпуса и т.д.

При взаимном анализе применяется весовая функция Ханнинга, которая представляет собой наиболее оптимальный вариант в разрешении по частоте и энергии просачивания в боковые лепестки.

Проведены исследования влияния количества независимых осреднений по совокупности для исследуемых спектров на уровень частотных составляющих функции когерентности. Исследования показали, что при $A=16$ разброс уровня составляет не более 0,02%, а при $A=10$ – 0,04%. Принято – для частотного диапазона $F_1 = 0 \dots 1000$ Гц число независимых осреднений $A=10$, для диапазонов с частотами больше 1000 Гц и режимов расширения частотного диапазона (ZOOM) – $A=16$.

Значения функции когерентности уменьшаются по мере удаления точки измерения от места возбуждения вибрации. Данное свойство используется для локализации источника вибрации, т.к. вибрационный процесс, возбуждаемый в одной детали, некогерентен при измерении вибрационных процессов на другой детали.

Частотный диапазон составляет $F=10 \dots 1000$ Гц. Перемещением акселерометра добиваются максимальных значений первых десяти роторных

гармоник в спектре функции когерентности. Эти значения должны быть не меньше $\gamma^2 \geq 0,95$. После этого осуществляется установка акселерометра в этом месте на резьбовую шпильку, и выполняется повторный контроль значений функции когерентности. Парному анализу подвергаются вибрационные сигналы с двух подшипников в одноименных направлениях.

Синхронно по двум каналам формируется БПФ с установленным усреднением для данного частотного диапазона исследования, и по полученному взаимному спектру находится спектр функции когерентности. В спектре когерентной выходной мощности анализу подвергаются только частотные составляющие, имеющие $\gamma^2 \geq 0,95$. Остальные частотные составляющие отфильтровываются. Алгоритм обработки вибрационных сигналов, полученных с двух акселерометров, установленных на двух подшипниковых опорах одного ротора, предусматривает следующие действия:

В синхронном режиме с двух акселерометров в одноименных направлениях получают два автоспектра $|G_{1B}(f)|^2$, $|G_{2B}(f)|^2$. Динамический диапазон устанавливается единым по максимальному значению уровня виброскорости наибольшей частотной составляющей двух автоспектров. Частотный диапазон устанавливается для двух каналов и составляет $F_1 = 0 \dots 1000$ Гц, с разрешающей способностью $\Delta f = 1.0$ Гц;

По двум автоспектрам получаем односторонний взаимный спектр $G_{1B}^*(f) \cdot G_{2B}(f)$. Взаимный спектр можно получить по двум мгновенным спектрам, но для стационарных случайных сигналов или кратковременных сигналов с наложенным шумом более состоятельная оценка взаимного спектра получается путем усреднения по ансамблю определенного числа реализаций этих сигналов во временной области (автоспектры). Оценка взаимных спектров сигналов на входах и выходах линейных систем не имеет систематической погрешности при условии достаточного разрешения при анализе.

По взаимному спектру определяется спектр функции когерентности $\gamma_{1,2}^2(f) = \frac{|G_{1,2}(f)|^2}{G_1(f) \cdot G_2(f)}$. Динамический диапазон функции когерентности постоянный и составляет $y = 0 \dots 1$. Частотный диапазон и разрешение по частоте сохраняются от исследуемых спектров. Все частотные составляющие спектра функции когерентности имеют значения от 0 до 1. Учитывая, что анализу подлежат частотные составляющие автоспектра, имеющие очень сильную взаимосвязь ($\gamma^2 \geq 0,95$), проводим цифровую фильтрацию.

Цифровая фильтрация предусматривает только два значения частот-

ных составляющих автоспектра $\left\{ \begin{aligned} (\gamma_{1,2}^2(f) \geq 0,95) &= 1 \\ (\gamma_{1,2}^2(f) < 0,95) &= 0 \end{aligned} \right.$. Иными словами, создается маска для преобразования спектра когерентной выходной мощности, в которой остаются частотные составляющие только с высоким уровнем функции когерентности, а остальные частотные составляющие отфильтровываются. Берется спектр когерентной выходной мощности (COP) $\gamma_{1,2}^2(f) \cdot \overline{G_{2,2}(f)}$. В данном спектре (рис.3) присутствуют спектральные составляющие, которые возбуждаются только ротором турбокомпрессора ГТД НК-12.

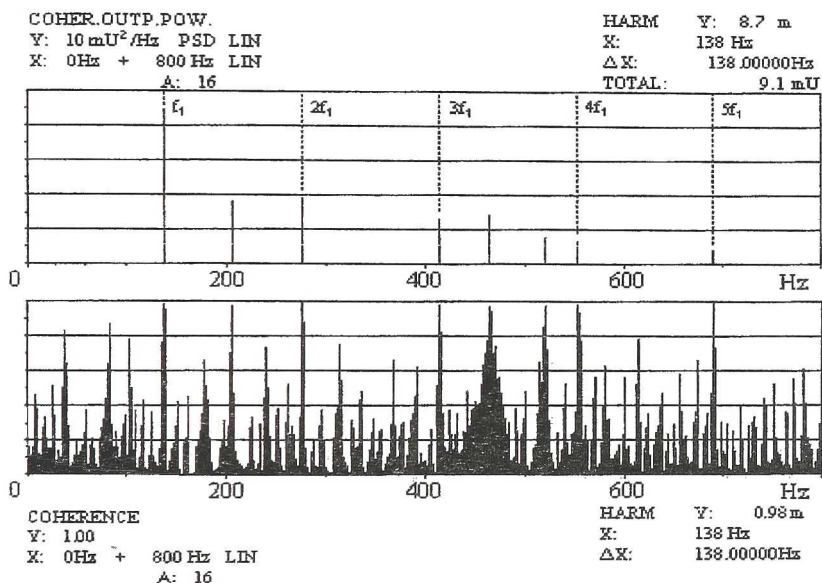


Рис.3. Спектры COP и функции когерентности ГТД НК-12 (Передняя и средняя опоры, вертикальное направление)

Вынужденные колебания механической системы происходят одновременно на различных частотах действия мощных источников детерминированных возмущений и в окрестности собственных частот колебаний конструкции – вследствие избирательных свойств резонансной системы при действии на входе плотного случайного спектра от большого числа источников колебаний. При этом колебания, вызванные источниками девиации частоты, проявляются в спектрах в виде острых пиков на основных частотах возбуждения и кратных гармониках, а колебания на собственных частотах характеризуются наличием широких и пологих максимумов спек-

тральной плотности.

Ширина горизонтального участка спектра функции когерентности определяется величиной декремента колебания и разрешающей способностью спектрального анализа

$$\frac{\Delta f_c}{\Delta f_r} = \delta \frac{f_0}{f_d}.$$

В предлагаемой программе обработки вибрационных процессов установлено: $f_d > 2f_0$; $N \geq 1024$; $\#A=10$ (16). При этом $\Delta f_c / \Delta f_r \approx 100\delta$, из чего следует, что при значениях декремента колебания, типичных для условий рассеяния энергии колебаний в стыках конструкции ($\delta \geq 0,1$), ширина горизонтального участка спектра функции когерентности на собственной частоте всегда на порядок больше ширины пика гармонического процесса.

На основании изложенного можно сделать вывод, что статистическая взаимосвязь колебательных процессов, измеренных в различных точках конструкции, вызывает появление непрерывного горизонтального участка частотных составляющих в спектре функции когерентности на частотах собственных колебаний системы – в отличие от острых пиков на частотах действия гармонического возбуждения.

Присутствие горизонтального участка частотных составляющих в отфильтрованном спектре когерентной выходной мощности ($\gamma^2 \geq 0,95$) характеризует наличие резонансных колебаний в детали (узле), на которой проводится анализ вибрационных процессов.

РАСЧЕТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ЛОПАТОЧНОМ ВЕНЦЕ СОПЛОВОГО АППАРАТА С ПОМОЩЬЮ ТРЕХМЕРНОЙ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ

Батурин О.В., Матвеев В.Н.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

Основной целью внедрения программ численного моделирования течения газа в процесс проектирования ГТД является повышение достоверности результатов расчета и снижение потребного для доводки двигателя количества испытаний, что обеспечивает снижение затрат на создание нового изделия.

Для определения целесообразности внедрения того или иного расчетного метода в процесс проектирования необходимо провести сравнение результатов газодинамического расчета с экспериментальными данными и результатами, полученными с помощью других, уже отработанных, мето-