**Практическое занятие №2:**

**Вибродиагностика. Цифровые методы обработки диагностических сигналов, понятие о спектрах.**

*Вибрационный метод контроля*

Вибрационный метод контроля состояния и работоспособности контролируемого объекта, основан на регистрации вибраций. Для исследования технического состояния элементов конструкции ВС вибрационным методом используют штатную аппаратуру измерения уровня вибрации двигателей. При усилении вибрации двигателя вначале проверяют правильность показаний штатной аппаратуры с использованием специальной аппаратуры (VM-3X), а также проводят дополнительные измерения.

Характерные дефекты, выявляемые этим методом с использованием штатной аппаратуры – это дисбаланс роторов двигателя в результате износа элементов конструкции и обрыва лопаток, нарушение газодинамических процессов, появление трещин и усталостных разрушений силовых элементов и, чаще, потеря жесткости амортизаторов крепления двигателей.

Износ, неисправности и трещины межвального подшипника двигателя Д-30КУ-154 фиксируется аппаратурой ИВУ-1М.

Принцип действия ИВУ-1М основан на сравнении показаний микроамперметра, встроенного в электронный блок, с нормированными значениями, соответствующими исправному состоянию. Показания прибора зависят от интенсивности колебаний, воспринимаемых вибродатчиком, закрепленным на штанге, помещенной внутрь вала турбины низкого давления определенным образом. Вибродатчик во время ручной прокрутки наружного вала прижимают к внутренней поверхности неподвижного внутреннего вала в месте расположения подшипника с помощью пружины с тросовым управлением и снимают показания с микроамперметра, прослушивая шумы от исследуемого подшипника через головные телефоны.

*Методы и средства диагностирования по виброакустическим параметрам*

Измерение вибрации осуществляется с использованием вибропреобразователей (ВП). В них механические колебания преобразуются в электрический сигнал. Применяются ВП пьезоэлектрического, индукционного и вихретокового типа.

На рис3.1. представлена схема ВП пьезоэлектрического типа и его частотная характеристика.

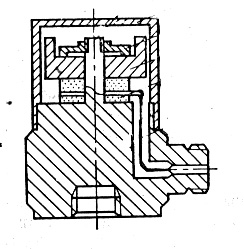
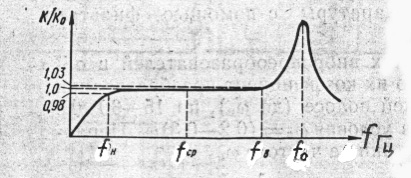


Рис.3.1 Вибропреобразователь и его частотная характеристика

Основной элемент такого ВП – кварцевый кристалл, который под действием сейсмической массы, прижатой пружиной к кристаллу, преобразует виброускорение массы в пропорциональное электрическое напряжение. Чувствительность ВП по заряду выражается в пКл/g, где g -ускорение свободного падения. Диапазон измерений располагается в линейной области частотной характеристики датчика. ВП используется с предусилителем, который помимо усиления сигнала выполняет роль согласующего устройства высокоомного выхода ВП с низкоомным входом измерительной аппаратуры.

Типовая схема серийного бортового и стендового измерительного тракта, обеспечивающая контроль параметров вибрации ГТД на роторных частотах, представлена на рис.3.2.

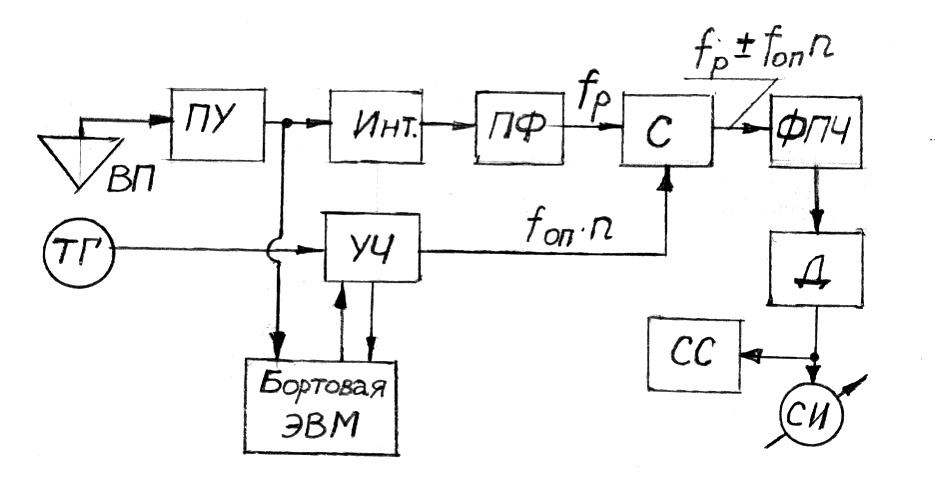


Рис.3.2 Схема виброизмерительного тракта:

ВП - вибропреобразователь (пьезоакселерометр); ПУ-предусилитель с согласующим устройством; Инт – интегратор; ПФ - полосовой фильтр; ТГ – тахогенератор; УЧ - умножитель частоты; С – смеситель; ФПЧ - фильтр промежуточной частоты; Д – детектор; СИ - стрелочный индикатор; СС - блок световой сигнализации.

Сигнал от ВП и ПУ через интегратор (Инт) поступает на вход полосового фильтра ПФ, где сигнал с частотой fр  предварительно фильтруется. Опорная частота fоп для настройки ФПЧ поступает с тахогенератора ТГ через умножитель частоты УЧ с коэффициентом умножения n. Сигналы с частотами fр  и fопn поступают на смеситель С.

Фильтр ФПЧ настроен на промежуточную частоту fпч= fр - fопn, амплитуда которой пропорциональна амплитуде виброускорения на частоте полезного сигнала fр . Далее сигнал детектируется и подается на стрелочный индикатор СИ для измерения, а также на блок световой сигнализации СС, который снабжен регулируемым пороговым устройством, срабатывающем при превышении допустимого уровня виброскорости. Некоторые системы имеют выход широкополосного сигнала по напряжению для регистрации на магнитографе.

На современных авиалайнерах, оборудованных бортовым компьютером, применяется система, сочетающая аналоговую и цифровую обработку как параметров рабочих процессов, так и виброакустических сигналов. Соответствующее программное обеспечение позволяет автоматически сравнивать уровни вибрации в заданных спектральных полосах с уровнями опасности (тревоги) нормального состояния; отображать тренды и спектры сигналов как на установившихся режимах работы, так и на переходных процессах. Примером является система VM-600 швейцарской фирмы “vibro-meter”, прменяемая на самолетах фирмы “Boing.”

Для наземного и стендового контроля вибрации ГТД и других агрегатов и механизмов применяются универсальные портативные микропроцессорные анализаторы «Кварц» фирмы «Диамех», ПР-200Еx НТЦ ПРИЗ, MIC-300D НПП «МЕРА».

*Представление диагностических сигналов в цифровом виде*

Как правило, первичными при диагностике машин и механизмов являются непрерывные (аналоговые) сигналы. Они могут быть разной физической природы, но обычно преобразуются в электрическое напряжение или ток. Будем, для простоты, рассматривать изменение амплитуды сигнала во времени U = U(t), выраженное в вольтах. Для цифровой обработки таких сигналов на ЭВМ используются аналого-цифровые преобразователи. Их основные функции: дискретизация во времени, квантование по уровню амплитуд и получение кодов чисел (оцифровка).

Дискретизация по времени означает, что сигнал представляется рядом своих отсчетов, взятых через равные промежутки времени. Например, когда мы говорим, что частота дискретизации F равна 20 кГц, то это значит, что сигнал измеряется 20000 в течение секунды. Значения отсчетов равны значениям непрерывного сигнала в эти моменты времени Un = U(nΔt). Число Δt называется интервалом (шагом) дискретизации, а число fд = 1/Δt - частотой дискретизации исходного сигнала. Если исследуется сигнал на промежутке времени [0,T], то последовательность содержит N = T/Δt отсчетов.

Ясно, что точность воспроизведения аналогового сигнала по последовательности его отсчетов зависит от величины интервала дискретизации. Чем он меньше, тем точнее воспроизводит последовательность отсчетов исходный непрерывный сигнал. С другой стороны, уменьшение Δt приводит к увеличению объема подлежащей обработке информации.

Оптимальный выбор интервала дикретизации устанавливается теоремой Котельникова. Она утверждает, что произвольный сигнал u(t), спектр которого ограничен частотой Fu, может быть однозначно восстановлен по последовательности своих отсчетных значений, следующих с интервалом времени

Δt = 1/(2Fu).

Обычно частота дискретизации берется несколько больше чем в два раза по сравнению с верхней анализируемой полосой частот. Интервал дискретизации Δt и частоту Fu называют соответственно интервалом и частотой Найквиста.

При заданной частоте дискретизации fд гармоники с частотой, превышающей частоту Найквиста fN = fд/2, будут интерпретироваться после дискретизации, как другие гармоники с частотой, меньшей частоты Найквиста. Это явление называется наложением частот и для борьбы с ним до АЦП устанавливается аналоговый фильтр нижних частот, подавляющих все частоты выше частоты Найквиста.

Длина выборки связана еще с минимальной анализируемой частотой. Например, если оборотная частота вала равна 0,5 Гц; то необходимо оцифровывать сигнал по крайней мере 2 секунды.

Для представления аналогового сигнала в виде дискретных отсчетов его предварительно квантуют по уровню напряжения. При этом весь диапазон возможных изменений амплитуд от 0 до Umax (или от -Umax до Umax) делится на определенное число равных частей. Величина каждой части ΔU называется шагом квантования. При оцифровке эти фиксированные уровни кодируются последовательными целыми числами в двоичной форме. Поэтому, если АЦП содержит k двоичных разрядов, то число уровней квантования будет равно 2k. Например, для трехразрядного АЦП число уровней квантования равно 8, а для 12-разрядного – 212 = 4096.

Значения сигнала в точках дискретизации по времени округляются до ближайшего значения уровня квантования. При этом возникают ошибки округления, которые приводят к погрешностям, называемым шумом квантования. Шум квантования можно рассматривать как случайную величину, равномерно распределенную в интервале [-ΔU/2, ΔU/2]. Поэтому он вносит большую относительную погрешность при преобразовании амплитуд близких к нижним уровням квантования. Стремление снизить шум квантования до уровня, обеспечивающего необходимую точность воспроизведения непрерывного сигнала, определяет требование к необходимому количеству разрядов АЦП, а также предварительному усилению сигнала.

*Анализ спектра сигнала*

В целом ряде задач вибродиагностики желательно иметь полное представление о колебательном процессе, то есть его спектр. Спектральный анализ исследует периодические модели вибрации. Цель анализа – разложить сложное колебание с циклическими компонентами, смешанными с широкополосным шумом, на несколько гармоник с определенными частотами, на которых сосредоточен максимум энергии колебаний.

При цифровой обработке сигналов анализируются дискретные спектры, содержащие конечное число гармонических составляющих, Обычно для спектрального анализа используется дискретное преобразование Фурье (ДПФ). Рассмотрим числовую последовательность xn *(n = 0, 1, … N-1).* Дискретным преобразованием Фурье этой последовательности называется последовательность *yn (n = 0, 1, … N-1),* определяемая формулой:

,

где *n, k* = *0, 1, … N-1*.

Основные свойства этого преобразования:

а) ДПФ линейно, т.е. сумма последовательностей переходит в сумму их ДПФ, а постоянный общий множитель членов последовательности можно вынести за знак преобразования.

б) Пусть промежуток дискретизации последовательности xn равен Δt, частота дискретизации fд = 1/Δt, время прохождения дискретизированного сигнала T = *N*Δt. Тогда дискретизированный гармонический сигнал, содержащий целое число периодов k на промежутке анализа, будет иметь в спектре одну ненулевую составляющую, стоящую на k-ом месте.

Таким образом, здесь имеется аналогия с рядом Фурье для периодической функции и результат ДПФ можно рассматривать как дискретный спектр разложения исходного сигнала по гармоническим составляющим с частотами, кратными минимальной частоте. fд/*N*. Эта частота называется разрешением спектра при использовании ДПФ. Например, если частота дискретизации равна 100 Гц, а число линий спектра равно 200, то разрешение спектра равно r = 100/200 = 0,5 Гц.

В линейных системах, с которыми мы обычно имеем дело, частота возмущающей силы совпадает с частотой реакции системы на эту силу. Этот факт позволяет идентифицировать источники вибрации, исследуя спектр виброакустического сигнала.

Надо иметь в виду, что гармонический сигнал, частота которого не кратна минимальной частоте fд/*N*, будет иметь в спектре больше одной составляющей (боковые лепестки). Частично подавить их удается, умножая исходный сигнал на гладкую временную функцию, стремящуюся к 0 на концах промежутка анализа. Такая функция называется временным окном. Широкое распространение в вибродиагностике получило окно Хемминга, описываемое выражением 0,54 + 0,46 cos(2πk/*N*).

Последовательность yn называют амплитудным спектром временной последовательности xn. Так как числа yn – комплексные, то yn= Reyn+iImyn. При этом (Reyn)2+(Imyn)2 является квадратом амплитуды, а ϕ = arctg(Imyn/Reyn) – фазой данной гармоники.

Для определения одного элемента ДПФ необходимо выполнить N умножений на комплексные числа и столько же сложений. Следовательно, для нахождения ДПФ требуется выполнить ~ *N*2 арифметических действий.

Более скоростное и эффективное вычисление спектра обеспечивает быстрое преобразование Фурье (БПФ). В основу его алгоритма положен принцип разбиения (прореживания) исходной последовательности на ряд промежуточных последовательностей. При этом объем вычислений составляет ~ *N* log2*N* арифметических действий, если *N*=2k.