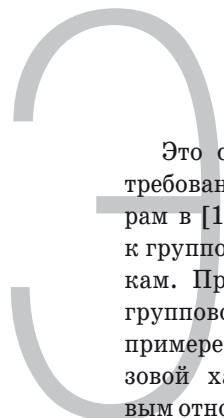


Измерение спектров переходных процессов

при определении
виброакустических
характеристик
машин и оборудования



С 01 июля 2012 г. в России введен в действие стандарт [1], устанавливающий требования к фильтрам полосовым октавным и на доли октавы. Новый документ гармонизирован с международным стандартом МЭК 61260:95 и является серьезным фактором развития отечественной измерительной техники. Тем не менее в ряде технических приложений даже эти новые требования оказываются недостаточными для обеспечения точности. Например, в п. 1.4 [1] прямо говорится следующее: “При измерениях нестационарных сигналов различные реализации фильтров, удовлетворяющих требованиям настоящего стандарта, могут давать различные результаты”.



Это связано с тем, что среди требований к полосовым фильтрам в [1] отсутствуют требования к групповым временным задержкам. Проще всего понять смысл групповой задержки можно на примере фильтров с линейной фазовой характеристикой (к такому относятся все цифровые фильтры с симметричной импульсной характеристикой). Если на такой фильтр подать сигнал, энергия которого находится в полосе пропускания, то на выходе будет наблюдаться аналогичный по форме сигнал, но задержанный во времени на некоторую величину. Эта величина и называется групповой задержкой. При подаче нестационарных сигналов время “реакции”

А.Н. Вишняков,

кандидат технических наук

ООО “НПФ ЭлектронДизайн”,
Москва

Ю.В. Куриленко,

кандидат физ.-мат. наук

ООО “ПКФ Цифровые приборы”,
Москва

Ключевые слова: полосовые фильтры; стандарт; групповая задержка; шумовые характеристики оборудования; сертификация воздушных судов по шуму; измерительная система; измерения уровней звукового давления; GPS; запись акустического сигнала

фильтров, построенных на разных алгоритмах, скорее всего, будет различным. Более того, даже в пределах единого набора фильтров наблюдается различие временных задержек. Все, кто когда-либо наблюдал формирование спектра на октавном анализаторе, видел, что при подаче сигнала реакция фильтров идёт от верхних частот к нижним в виде “бегущей волны”. Высокочастотные фильтры с более высоким спадом амплитудно-частотной характеристики имеют меньшую групповую задержку по сравнению с низкочастотными. Поэтому для нестационарных и переходных процессов текущие среднеквадратичные значения в разных полосовых фильтрах одного набора будут соответствовать разным моментам времени. Ошибка ещё более усугубится, если использовать полученные спектральные величины для оценки общих энергетических характеристик исходного сигнала, таких как скорректированные уровни звука на частотной характеристике А или эффективный уровень воспринимаемого шума EPNL.

Эта проблема очень серьёзна, т.к. в ряде отраслей народного хозяйства шумовые характеристики оборудования устанавливаются в виде спектров (октавных либо третьоктавных) переходных процессов. Наиболее яркие примеры тому – нормирование внешнего шума средств железнодорожного [2] и воздушного [3] транспорта. Пренебрежение групповой задержкой фильтров может привести к абсурдным результатам: существует вероятность, что реакция низкочастотных фильтров наступит, когда самолёт уже улетел. И любые попытки увязать уровни шума, воспринимаемого на земле, с положением воздушного судна или иного

транспортного средства будут заведомо обречены на провал.

Проблема ещё значительнее обостряется при исследовании переходных и импульсных процессов в инфразвуковой области частот. Здесь групповые задержки октавных и 1/п-октавных фильтров колоссальны.

В предлагаемой статье описан возможный вариант урегулирования этой проблемы на примере проведения сертификационных испытаний воздушных судов на соответствие стандартам по шуму. Поставленная задача удачно сочетает 2 фактора. Во-первых, эффект различия групповых временных задержек фильтров проявляется очень остро, поскольку при испытаниях необходимо “привязать” 1/3-октавный спектр звукового давления в диапазоне частот 50...10000 Гц к единому точному моменту времени. Во-вторых, имеются согласованные международные требования [3] к анализирующей системе, которые существенно дополняют стандартные требования к 1/3-октавным фильтрам. Дополнительные требования как раз посвящены нормированию реакции фильтров на переходные процессы и в основном совпадают с требованиями к временной

характеристике S по МЭК 60651 (ГОСТ 17187-81), МЭК 61672-1 (ГОСТ 17178-2010).

Реализован следующий способ решения поставленной задачи:

- с шагом 0,01 с проводится автоматическая запись третьоктавных спектров исследуемого переходного акустического события (например, пролёта воздушного судна) и (синхронно по 2-му каналу) спектров опорного технологического сигнала, который имеет вид последовательных импульсов, подаваемых от внешнего источника (1 импульс в секунду – PPS), синхронизованного с астрономическим временем;

- в ходе постобработки анализируются полученные хронограммы каждой спектральной компоненты, и производится маркировка метками точного времени точек хронограмм по периодическим всплескам в спектре технологического канала, соответствующим импульсам синхронизации;

- методом интерполяции рассчитываются спектры, приведённые к интересующим моментам времени. При выбранных параметрах автоматической записи погрешностями интерполяции можно пренебречь, если задаваться целью получить итоговые спектры с шагом $1...^{1/16}$ с.

Пренебрежение групповой задержкой фильтров может привести к абсурдным результатам: реакция низкочастотных фильтров может наступить, когда самолёт уже улетел. И любые попытки увязать уровни шума, воспринимаемого на земле, с положением воздушного судна или иного транспортного средства будут заведомо обречены на провал



ИЗМЕРЕНИЕ СПЕКТРОВ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ



Измерительная система (см. рисунок) включает в себя портативный 4-канальный многофункциональный акустический измеритель ЭКОФИЗИКА, всепогодный модуль GPS, блок управления GPS-DIN, измерительный микрофон ВМК206 с предусилителем Р200, соединительные кабели, штатив с комплектом адаптеров для крепления микрофона и модуля GPS, комплект аккумуляторов с зарядным устройством. Микрофон соединяется с акустическим входом измерителя ЭКОФИЗИКА с помощью кабеля и используется для измерения уровней звукового давления.

Модуль GPS соединяется с блоком управления GPS-DIN, который имеет 2 выхода: с одного из них на технологический вход измерителя подаются последовательные PPS-импульсы, синхронизированные с астрономическим временем. С другого выхода на цифровой порт прибора поступает информация о наличии связи со спутниками, дате и времени, географических координатах (опция). Для синхронизации данных и хронометрирования спектров используются функциональные возможности системы GPS. Такой подход автоматически решает вопрос о синхронизации измерений в нескольких измерительных позициях, которые могут быть разнесены на большие расстояния. Все результаты в итоге с высокой точностью приводятся к единому времени.

Измерения проводятся в режиме “Звук – GPS”. Постобработка спектральных данных и их приведение к точному времени выполняется на компьютере с помощью специализированного программного обеспечения.

При сертификации воздушных судов часто запрещается выполнять



Акустическая измерительная система на базе GPS

измерения спектров в натуральных условиях, при этом требуется осуществлять предварительную запись акустического сигнала на регистратор, а спектральный анализ выполнять методом постобработки этих записей. В приборе ЭКОФИЗИКА предусмотрен специальный режим двухканальной записи сигналов измерительного и технологического каналов в энергонезависимую память. В нужный момент записанные сигналы вызываются из памяти прибора в процессор и обрабатываются в режиме частотного анализа так, как будто они только поступают на вход

прибора. Полученные в результате такой обработки спектры могут быть записаны в ту же самую энергонезависимую память измерителя, но уже в отдельный файл. В тех случаях, когда режим регистратора не нужен, можно выполнять измерения и запись спектров непосредственно с первичных преобразователей в реальном времени.

Описанная система введена в эксплуатацию в российских испытательных центрах летательной техники и прошла успешную апробацию в ходе реальных испытаний воздушных судов.

Литература

1. ГОСТ Р 8.714-2010. Фильтры полосовые октавные и на доли октавы. Технические требования и методы испытаний.
2. ГОСТ Р 54061-2010 (ИСО 3095:2005). Подвижной состав. Акустика. Измерение внешнего шума.
3. Конвенция о международной гражданской авиации. Приложение 16: Охрана окружающей среды. Т. 1. Авиационный шум.