

УДК 629.113

Ю.В. Шапкина, У.Ш. Вахидов, В.А. Шапкин

ОБОСНОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ «ИСТОЧНИК-ПУТЬ-ПОЛУЧАТЕЛЬ» ДЛЯ АНАЛИЗА СТРУКТУРНОЙ ВИБРАЦИИ АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена разработке подходов к анализу вибраций автомобиля. Проведена классификация вибраций и шумов автомобиля и дана их характеристика. Рассмотрена структурная вибрация (*Structure-Borne Vibration*), относящаяся к разделу внутреннего виброакустического анализа *NVH* (*Noise-Vibration-Harshness*).

Ключевые слова: вибрация, виброакустические характеристики автомобиля, внутренний *NVH*-анализ, структурный *NVH*-анализ, модальный метод.

Анализ виброакустических характеристик подразделяется на внешний и внутренний (рис. 1.). Внутренний *NVH*-анализ (*Noise-Vibration-Harshness*) относится к шумовым и вибрационным явлениям, с которыми сталкиваются пассажиры транспортных средств, в то время как внешний *NVH*-анализ предназначен для исследования шумов, излучаемых автомобилем, и его влиянием на человека и окружающую среду снаружи транспортного средства.



Рис. 1. Структура внутреннего *NVH* -анализа автомобиля

Вибрация возникает вследствие несовершенства конструкции, неправильной эксплуатации, внешних условий, например, рельеф дорожного полотна, а также возможна специально генерируемая вибрация. Причиной усиления вибрации может быть резонанс.

Вибрации оказывают влияние на долговечность, прочность и точность работы.

В связи с этим возникает необходимость расчета, измерения и нормирования виброакустических характеристик. Расчет осуществляется в следующих целях:

- 1) оценки вибрации и шума конкретного механизма;
- 2) исследования зависимости вибрации от основных конструктивных и технологических факторов;
- 3) обоснования требований к конструктивным и технологическим параметрам для обеспечения заданного уровня вибрации;
- 4) использования данных расчета вибрации для диагностики технического состояния.

Вибрация как колебательный процесс может быть охарактеризована амплитудой, частотой и фазой вибро смещения, виброскорости или виброускорения. Для оценки вибрации рассчитывают и измеряют амплитудно-частотный спектр и общий уровень вибрации. Амплитудно-частотный спектр представляет собой зависимость амплитуд вибрации от частоты [1].

Таблица 1

Классификация вибраций и шумов автомобиля

Описание	Способ передачи	Частотный диапазон
Низкочастотные	Производимые структурой (<i>Structure-Born</i>)	0-150 Гц
Среднечастотные	Порождаемые структурой и воздухом (<i>Structure and Air born</i>)	150-1000 Гц
Высокочастотные	Порождаемые воздухом (<i>Air born</i>)	Более 1000 Гц

Вибрации и шумы автомобиля классифицируются на три раздела, базирясь на способе их передачи (восприятия) и частотном диапазоне (табл. 1). Это разделение может быть отнесено к тому факту, что виброакустическое поведение структуры транспортного средства различно на этих трех частотных диапазонах.

Данная статья - это часть исследований, целью которых является разработка новой методики в NVH-анализе компонентов автомобиля для исследования структурной вибрации и вызываемых ей шумов [2, 3].

Рассматриваемая структурная вибрация (*Structure-Borne Vibration*) относится к разделу внутреннего NVH-анализа. Структурный NVH-анализ применяется к механической структуре автомобиля (рис.2).

Вибрации, производимые компонентами автомобиля:

- 1) диапазон частот: до 1000 Гц;
- 2) передается через структурные пути;
- 3) "источник звука" является источником вибраций;
- 4) поверхности излучают звук в салон;
- 5) эффект низкого акустического поведения модальных частот.

В диапазоне низких частот виброакустический отклик системы может быть описан в терминах ограниченного числа мод. Динамические характеристики автомобиля довольно устойчивы к малым возмущениям в геометрии (размерах), характеристиках материала и условий окружающей среды. В этой области основные численные инструменты моделирования основаны на методе конечных элементов, который дискретизирует континуум доменов или их граничные поверхности на мелкие элементы. Эти методы являются детерминированными, следовательно, они предоставляют прогнозы в отдельных местах и на дискретных частотах при традиционном проектировании автомобилей (рис. 3).

Подход модального решения является косвенным подходом, основанным на так называемых модальных параметрах: собственные значения и собственные моды, полученные из

математического моделирования (расчета), и коэффициенты затухания, как правило, полученные из экспериментальных данных. Так называемый модальный метод суперпозиции используется для создания малогабаритной системы представления, которая может быть решена очень эффективно на множестве дискретных частот [3].

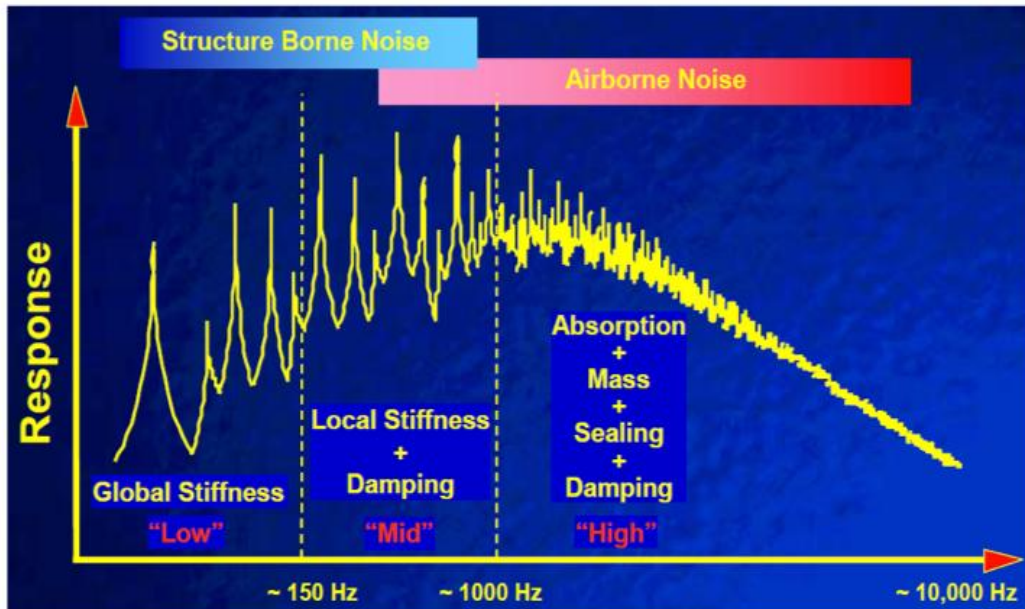


Рис. 2. Автомобильный NVH - анализ. Частотный диапазон. 2011 SAE NVC Structure Borne Noise Workshop

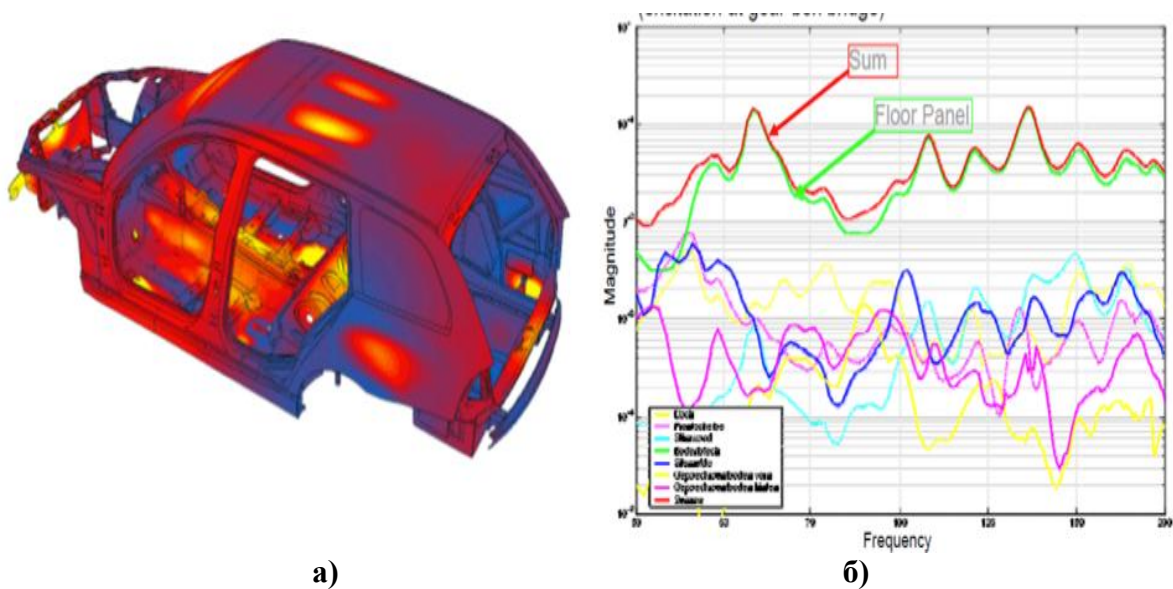


Рис. 3. а) виброперемещения панелей при 60 Гц, б) пример «слабых точек» в панелях пола, при источнике вибрации – коробке передач

Вибрирующий объект обычно производит звук, и звук может быть раздражающим шумом. В случае, когда колеблющееся тело является прямым источником шума - например, при сжигании топлива вибрирующее тело или источник легко найти.

Эта небольшая вибрация может привести к большей вибрации и шумам из-за контакта

вибрирующего тела с другими частями. Когда это произойдет, внимание фокусируется на том, где происходит большая вибрация или шум, в то время как реальный источник часто ускользает от внимания.

Понимание происхождения шума и вибрации помогает в процессе устранения неполадок. Развитие малого шума в большой шум начинается, когда источник вибрации (непреодолимая сила) генерирует вибрацию. Резонанс усиливает вибрацию с другими частями транспортного средства. Колеблющееся тело (тело, производящее звук), получает передачу от усиленной вибрации.

Концепция «источник-путь-получатель» для виброакустического анализа автомобиля приведена на рис. 4.



Рис. 4. Концепция «источник-путь-приемник» для виброакустического анализа автомобиля

В первую очередь требуется классифицировать источники вибрации и шума, произвести их характеристику. Вибрация всех деталей и система автомобиля генерируется двумя основными источниками – дорожным полотном и силовым агрегатом (силовыми агрегатами) автомобиля.

Источники вибрации характеризуются свойствами собственных временных и частотных областей.

Различают главным образом периодические и случайные возмущения:

1. Периодические возмущения:

- происходят от силового агрегата, вспомогательных агрегатов или агрегатов трансмиссии,
- простая форма периодических гармонических возмущений.

Во временной области это представлено в виде синусоиды и в частотной области спектром в одну линию.

2. Случайные возмущения:

- воздействие дороги на колесо,
- возможно только статистическое представление,
- обычно представляются спектром мощности.

Структура с легким затуханием может производить высокие уровни вибрации от низ-

ко-уровневых источников, если частотные составляющие возмущения близки к одной из собственных частот системы. Это означает, что хорошо разработанные и изготовленные подсистемы, которые производят низкий уровень возмущающих сил, все еще могут создать проблемы при сборке в транспортном средстве.

Для того, чтобы избежать этих проблем, на стадии проектирования необходимо моделировать системы точно и анализировать их ответ на ожидаемые возмущения. Все массупругие системы имеют собственные частоты, для линейных систем эти частоты являются постоянными, связанными только с распределением массы и жесткости, нелинейные эффекты требуют специальной обработки [4].

На основании изложенного к анализу вибраций автомобиля рационально применить следующий подход:

- разработать математическую модель системы и сформулировать уравнения движения,
- проанализировать характеристики свободной вибрации (собственные частоты и режимы),
- проанализировать ответ на вынужденные колебания для предписанных возмущений,
- рассмотреть распространение вибраций в структуре деталей [3].

Библиографический список

1. **Жилин, П.А.** Прикладная механика. Основы теории оболочек: учеб. пособие / П.А. Жилин, СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 167 с.
2. **Шапкина, Ю.В.** Применение инновационной системы численного моделирования (FEM) для исследования виброакустических характеристик (NVH) деталей автомобиля / Ю.В. Шапкина, А.Г. Китов, У.Ш. Вахидов, В.А. Шапкин // Сетевое издание «Вестник Мининского университета» / НГПУ. Н. Новгород. 2013. № 1 (4). С. 374–385.
3. **Шапкина, Ю.В.** Применение инновационной техники structural intensity analysis для повышения вибрационной надежности и усовершенствования акустического дизайна рулевой колонки автомобиля/ Ю.В.Шапкина, Н.А. Кузьмин, В.А.Шапкин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород). 2013. № 1. С. 139–149
4. **Bianchini, B.** Active Vibration Control of Automotive Steering Wheels. In SAE Noise and Vibration Conference Proceedings, number 2005-01-2546, Traverse City, MI, USA, 2005.
5. **Hering, T.** Strukturintensitätsanalyse als Werkzeug der Maschinenakustik / T. Hering - TU Darmstadt, 2012.

*Дата поступления
в редакцию 30.11.2013*

J. V. Shapkina, U. Sh. Vachidov, V.A. Shapkin ,

THE CONCEPT "SOURCE-PATH-RECIVER" FOR THE VIBROACOUSTIC ANALYSIS OF THE CAR

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alexeev

Purpose: this article is a part of the research, which purpose is to develop the new technique in the NVH-analysis of car components for study of its structural vibration and noise.

Design/methodology/approach: Vibration as oscillatory process can be characterized by amplitude, frequency and a phase of vibration displacement, vibration velocity or vibration acceleration. For an assessment of vibration an amplitude-frequency range and the overall vibration are calculated and measured.

Findings: Classification of vibration and noise of vehicle and their characteristics. The considered structural vibration (Structure-Borne Vibration) related to the interior NVH.

Research limitations/simplifications: The application of the Structural Intensity technique together with visualization methods has improved the quality of structure-borne noise diagnostics. This method enables the investigation in the regions of high concentration of the vibration energy flow which consequently is exposed to the risk of damage or is propagating the sound waves to the environment.

Originality/value: On the basis of the above rational approach to the analysis of vibrations of the car is offered.

Key words: vibration, vibroacoustic characteristics of the car, interior NVH analysis, structural NVH, modal method.