

Строительные и дорожные машины

УДК 629.113

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

АНАЛИЗ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АВТОМОБИЛЯ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Статья посвящена проблемам комплексного анализа виброакустических характеристик автомобиля на основе компьютерного проектирования с использованием метода конечных элементов. Проведен обзор исследований виброакустических параметров автомобиля, на основании которого определены задачи по оптимизации параметров его конструкции. Решение рассматриваемой задачи возможно только в форме междисциплинарного инженерного анализа и виртуального моделирования.

Ключевые слова: уровни шума и вибрации, виброакустические характеристики автомобиля, NVH-анализ, метод конечных элементов (МКЭ).

Основными движущими факторами разработки компонентов современного автомобиля являются неуклонно растущие требования со стороны клиентов и конкурентный характер рынка. CAE (*Computer Aid Engineering*) – системы автоматического проектирования (САПР) играют важную роль в процессе создания автомобиля и его составных частей с развитием компьютерных технологий и систем численного анализа.

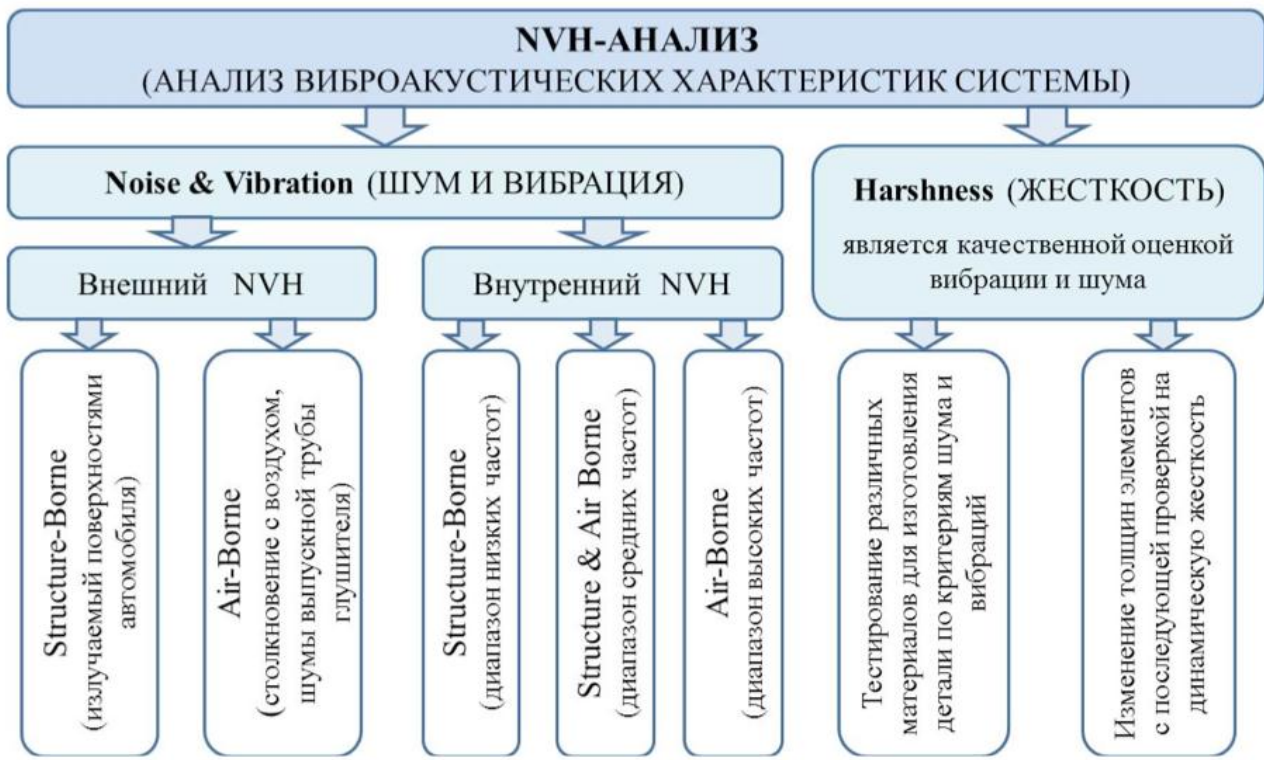


Рис. 1. Схема анализа шума, вибрации и жесткости

NVH (*Noise-Vibration-Harshness*, шум-вибрация-жесткость) – комплексный анализ виброакустических характеристик автомобиля является одним из наиболее важных атрибутов для разработок на автомобильном производстве.

Компьютерное проектирование с использованием метода конечных элементов позволило создать и виртуально испытать обобщенные *NVH* модели (рис. 1).

Метод конечных элементов (МКЭ - *FEM*) является наиболее популярным методом детерминированного предсказания, который дискретизирует предметную область в большое, но конечное число мелких элементов. В этих элементах переменные поля (структурные перемещения, акустическое давление и т.д.) описаны в терминах простых, полиномиальных функций формы. Для типичных проблем это приближение, только в определенных академических случаях эти функции формы будут точными решениями дифференциальных уравнений. Поэтому необходимы очень точные сетки дискретизации, чтобы получить достаточную точность прогноза. МКЭ - *FEM* на сегодня является доминирующим методом модального анализа и прогнозов внутренней акустики.

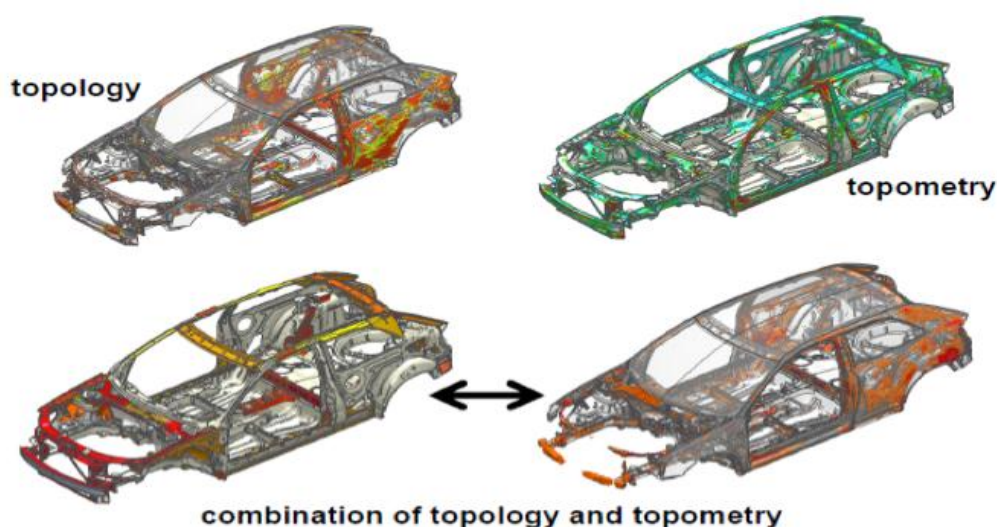


Рис. 2. Концепция *NVH* исследований Audi A3 на этапе разработки конструкции кузова

Метод конечных элементов наиболее оптимален для получения отклика структуры в области низких частот, интересной с точки зрения исследования вибрации автомобилей.

Первый крупный прорыв в компьютерном проектировании произошел с введением полностью цифровой среды разработки. Начиная с 1970-х годов прошлого века автоматизированное проектирование (*CAD*) заменило традиционные чертежные подходы. *CAD* охватывает этапы “*form-and-fit*” процесса проектирования автомобиля в виртуальном пространстве дизайна. *CAD* используется в основном для рабочего проектирования *2D*-чертежей и *3D*-моделей физических компонентов. Это требует полный и подробный набор данных, чтобы все поверхности, кривизны, фланцы и допуски были точно смоделированы (рис. 2).

Вторым крупным прорывом стало появление компьютерного моделирования (*CAE*), которое началось в те же годы с созданием первых программных пакетов методов конечных элементов (МКЭ). В настоящее время *CAE*-методы используются все больше, чтобы предопределить различные функциональные атрибуты и адаптировать дизайн, основываясь на результатах виртуального моделирования. Это было огромным шагом вперед по сравнению с традиционным подходом “*Test, Analyze & Fix*”, при котором для оценки эффективности использовались физические прототипы.

Различают три фазы в процессе проектирования деталей автомобиля:

- концептуальная фаза (до того как становятся доступными подробные *CAD*-данные);
- детальная инженерная фаза (одновременно с *CAD*-дизайном);

- уточняющая инженерная фаза (после завершения CAD-дизайна).

NVH-анализ относится к детальной инженерной фазе. *NVH*-анализ представляет собой два глобальных этапа (рис. 1), подразделяющихся на различные этапы: моделирование жесткости и моделирование вибрации и шумов.

Термин *NVH* включает 3 взаимосвязанные понятия: шум, вибрация и жесткость. Для *NVH* инженеров на основании Стандарта *SAEJ670e* Комитета динамики транспортных средств сформулированы следующие определения:

- шум - определяется как любой неприятный или неожиданный звук, создаваемый вибрирующим объектом. Акустические вибрации характеризуются ощущением давления через уши;
- вибрация - определяется как любое нежелательное повторяющиеся движения объекта, вперед-назад или вверх-вниз. Воспринимается тактильно (на точках контакта пассажиров и водителя транспортного средства - рулевая колонка, сидения и т.д.);
- жесткость - определяется как агрессивное ощущение подвески или отсутствие отдачи в ответ на единичное воздействие. Относится к преходящему характеру вибрации и шума, связанной с резким переходом в движение транспортного средства. Это может быть воспринято как тактильно, так и на слух. Термин жесткость (*Harshness*) в *NVH* является спорным моментом и трактуется каждым автопроизводителем по-разному. Он может относиться к субъективному восприятию шума и являться критерием количественной оценки резкости поведения элементов автомобиля в процессе эксплуатации. Другая трактовка - рассматривать жесткость (*Harshness*) как прочность элементов конструкции.

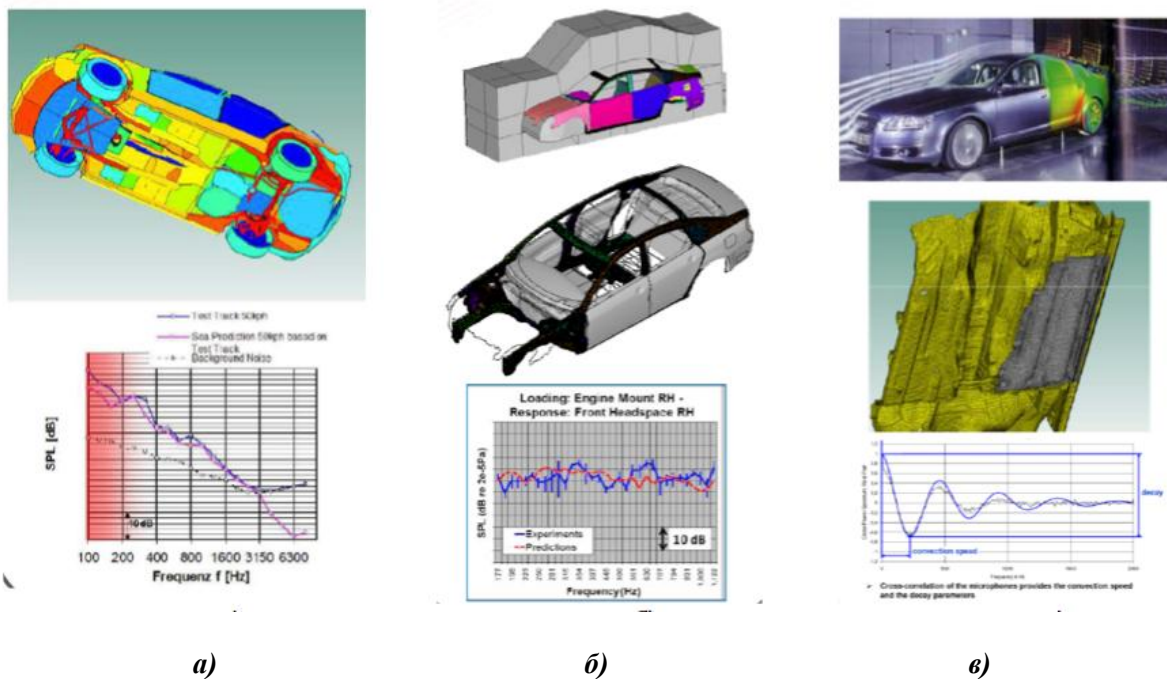


Рис. 3. а) внутренний шум автомобиля, б) пути передачи корпусных шумов, в) расчет воздушно-акустического потока в днище автомобиля [4]

Задача подраздела жесткость (*Harshness*) *NVH*-анализа - добиться оптимального соотношения веса кузова и его прочности. Вес автомобиля прямо влияет на расход топлива, а следовательно и на выбросы в окружающую среду.

Вместе они (шум, вибрация и жесткость) определяют показатель *NVH* качества автомобиля. *NVH*-анализ относится к области инженерной механики, которая направлена на измерение и оптимизацию шумовых и вибрационных характеристик механических конструкций [1].

Современные тенденции NVH-анализа в конструкции автомобиля можно резюмировать следующим образом:

- повышение роли виртуальных прототипов элементов автомобиля для сокращения цикла разработки и сокращения затрат при сохранении качества;
- массовое использование большого числа вариантов автомобилей, разработанных на небольшом количестве «автомобильных платформ».
- NVH приобретает особое значение ввиду следующих требований, предъявляемых к автопроизводителям потребителями и обществом:
- клиенты стали более требовательны в отношении виброакустических характеристик транспортного средства;
- требования по экономии топлива вынуждают разрабатывать более легкие автомобили, что приводит к тому, что проблемы шума и вибраций становятся более очевидными и критическими;
- шумовое загрязнение регламентируется законодательством многих государств (в том числе и России), так как это является нагрузкой на окружающую среду и вызывает проблемы со здоровьем граждан.

Важность вибрационной и акустической безопасности подтверждает наличие большого количества требований по виброакустике. Общая и локальная вибрация нормируется предписаниями 34 международных стандартов ИСО (ISO), шестью европейскими нормами (EN), шум – восемью правилами ЕЭК ООН «О единообразных технических предписаниях для колесных транспортных средств». Основными из них являются требования к общей и локальной вибрации и внешнему шуму [3].

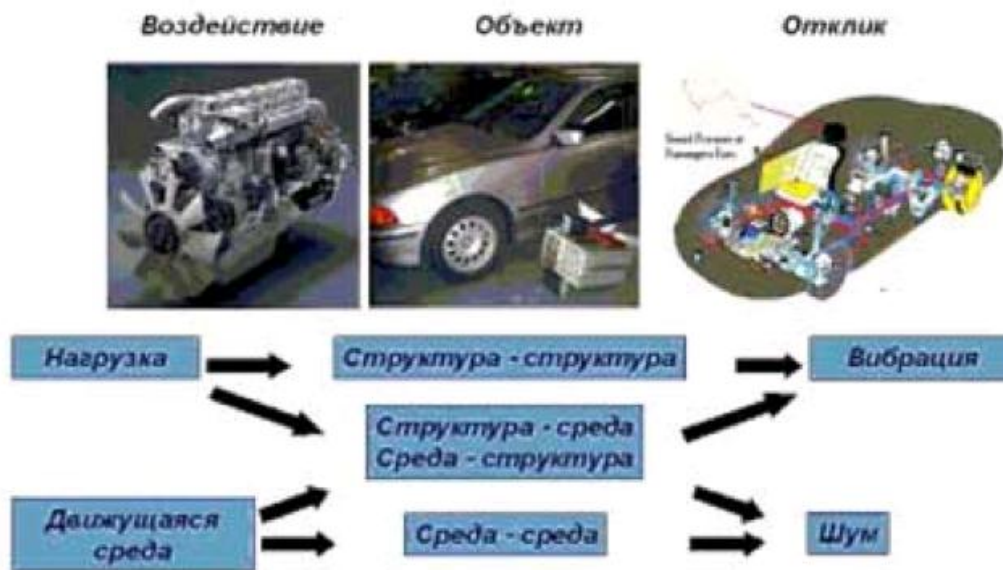


Рис. 4. Возникновение вибрации и шума в автомобиле

Проведение расчётного анализа вибрации и шума [2], а тем более оптимизация параметров конструкции требует решения широкого спектра задач по исследованию разнородных по своей природе физических явлений в различной постановке:

- кинематический и динамический анализ механизмов, входящих в проектируемое – изделие;
- определение упругодемпфирующих характеристик виброизолирующих компонентов конструкции;
- моделирование напряжённо-деформированного состояния сложных пространственных конструкций (кузова, фюзеляжа, корпуса и т.п.);

- моделирование взаимодействия конструктивных элементов изделия с акустическими объемами и распространения в них звука (рис. 3).

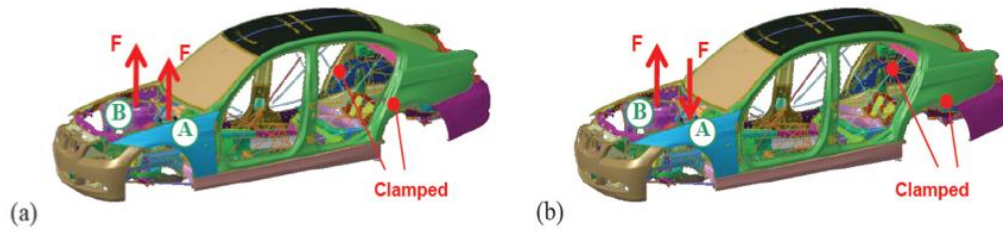


Рис. 5. Примеры статического нагружения, установленные для оценки жесткости черного варианта (а) кручение и (б) изгиб

Комплекс проводимых исследований кузова по уменьшению шума и вибронгруженности автомобилей включает в себя, во-первых, борьбу с шумом и вибрациями в источнике и, во-вторых, на путях их распространения. При этом необходимо учесть, что колебательные процессы имеют различный характер.

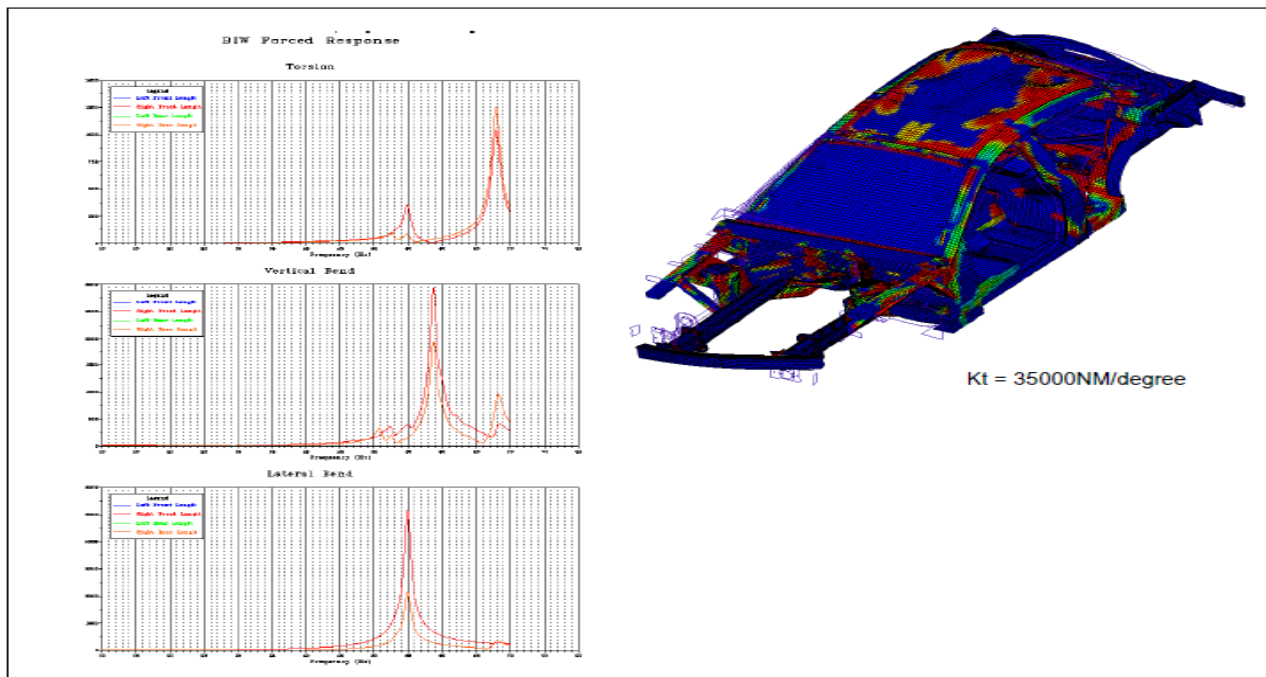


Рис. 6. Динамический анализ кузова автомобиля *Jaguar*

Такие источники, как двигатель и трансмиссия, создают периодические возмущения, зависящие от конструкции и режимов работы, а, например, шины при воздействии с дорожным полотном возбуждают колебания, имеющие случайный характер (рис. 4 и рис. 5). Именно эти колебания и передаются затем силовой установке, трансмиссии, панелям кузова и другим узлам и деталям автомобиля.

Решение рассматриваемой задачи возможно только в форме междисциплинарного инженерного анализа и виртуального моделирования.

На данный момент не существует жесткого стандарта по проведению *NVH*-анализа и методам получения данных [4, 5]. Каждый автопроизводитель пользуется собственными методами *NVH*, которые являются корпоративной информацией и не распространяются компаниями (рис. 6 и рис. 7). Поэтому, актуальным вопросом является разработка методики *NVH*-анализа автомобиля в рамках университетской научной школы.

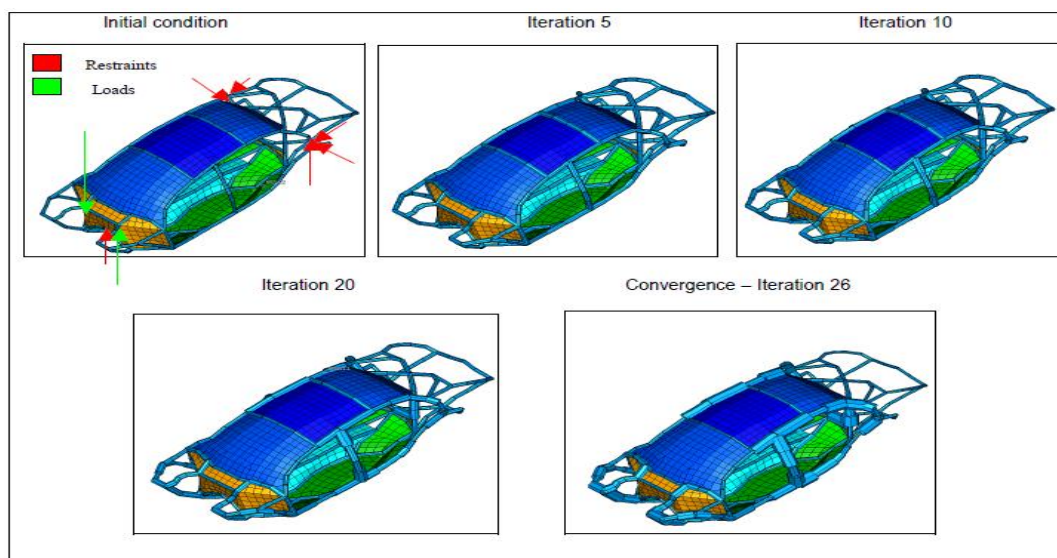


Рис. 7. Оптимизации толщин секций элементов модели кузова автомобиля *Jaguar*

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. Правила ЕЭК ООН «О единообразных технических предписаниях для колесных транспортных средств». №51, №117.
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

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

ANALYSIS OF THE CAR VIBROACOUSTIC PARAMETERS

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

Purpose: to study the question of the complex analysis of car vibro-acoustic characteristics, based on the computer aided engineering using the finite element method.

Design/methodology/approach: the objectives for design parameters optimization of the car are defined, based on the research review of car vibro-acoustic parameters.

Findings: The solution of considered objectives possible only in the form of the multidisciplinary engineering analysis and virtual modeling.

Research limitations/simplifications: The present study provides the new powerful tool for vibration and noise control. The application of the Structural Intensity technique together with visualization methods has improved the quality of structure-borne noise diagnostics.

Originality/value: for the present moment, it is quite innovative study.

Key words: noise levels and vibrations, vibro-acoustic characteristics of the car, NVH analysis, finite element method (FEM).