

батывают компоновки технологических машин, включающие различные исполнительные агрегаты, выбранные из разных типоразмерных рядов.

Приведенный метод синтеза процессов и средств ремонта был использован в технологической подготовке производства на Полоцком заводе «Проммашремонт».

Заключение. Разработан, предложен и апробирован метод синтеза процессов и средств ремонта, позволяющий уменьшить сроки и затраты на технологическую подготовку ремонтного производства с повышением его технического уровня и качества услуг.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Намаконов, Б.В. Экологичность реновации изделий – в учебные планы подготовки кадров / Б.В. Намаконов // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 16-ой Международной научно-технической конференции (Одесса, 30 мая – 03 июня 2016 г.). – Киев: АТМ Украины, 2016. – С. 107–110.
2. Иванов, В.П. Подготовка ремонтного производства: науч. издание / В.П. Иванов, А.П. Кастрюк. – Новополоцк: ПГУ, 2011. – 272 с.
3. Zwicky F. Entdecken, Erfinden, Torschen im morphologischen Wettbild. Munchen – Zurich, Knaur, 1966.
4. Беллман, Р. Динамическое программирование / Р. Беллман; пер. с англ. – М.: Иностранная литература, 1960. – 400 с.

УДК 629

МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АВТОМОБИЛЯ

Сафин А.И., Макарьянц Г.М., Прокофьев А.Б., Шахматов Е.В.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С.П. Королева,
Самара, Российская Федерация

Работоспособность, ресурс и качество изделий машиностроения, в значительной степени зависят от интенсивности виброакустических процессов, к которым следует отнести вибрацию механических элементов, излучаемый агрегатами и системами шум [1, 2]

Одним из направлений повышения виброакустического комфорта автомобиля является разработка кузова с заданными модальными параметрами. Способность в достоверном определении как можно большего числа собственных частот и форм колебаний кузова автомобиля является залогом успеха при верификации его конечно-элементной модели. При этом лимитирующим является количество точек, в которых определяется вибрация. Как правило, проведение модального анализа автомобиля в сборе связано со значительными временными и финансовыми затратами. На практике получил широкое распространение метод, в котором экспериментально определяются модальные параметры первого изгибного и крутильного резонанса только кузова автомобиля. Далее определённое значение частот уменьшают на 10-12 Гц и получившееся значение считают модальными частотами самого автомобиля. В этом плане применение бесконтактного сканирования вибрации даёт ощутимые преимущества. Поэто-

му разработка методики модального анализа кузова автомобиля, использующей в качестве основного измерительного инструмента 3-х компонентный лазерный сканирующий виброметр, является актуальной задачей.

Определение первых двух глобальных форм колебаний (крутильной и изгибной) кузова и автомобиля в сборе Volkswagen Polo проводилось на базе результатов сканирования виброскорости его поверхности. Сканирующие головки располагались напротив места сканирования и переставлялись по окончании сканирования фрагмента кузова. Впоследствии с помощью специального модуля ПО осуществлялась склейка результатов. Частотный диапазон возбуждения - 10...200 Гц. Амплитуда входного возбуждения - 1,5 А. Число спектральных линий или размер выборки - 1024. Частота оцифровки - 512 Гц (разрешение по частоте - 0,5 Гц). Стоит отметить частота оцифровки превышала верхнюю границу рабочего частотного диапазона, как минимум, в два раза. Количество усреднений (Averages) - 9. В качестве возбуждения использовался полигармонический сигнал таких видов, как pseudo random, periodic chirp, white noise. Для получения фазы колебаний использовался сигнал с датчика динамического усилия, установленного на штоке электродинамического вибровозбудителя.

Для получения изгибной формы колебаний необходимо, чтобы точка приложения возбуждающей силы находилась на оси движения автомобиля в районе переднего или заднего бампера. При поиске изгибной формы колебаний Volkswagen Polo возбуждалась при воздействии на балку под бампером [2]. Для получения крутильной формы колебаний необходимо, чтобы точка приложения возбуждающей силы была смещена относительно оси движения автомобиля, и располагалась в районе передних или задних крыльев. Крутильная форма колебаний Volkswagen Polo возбуждалась при воздействии за буксировочный крюк в задней части автомобиля [2].

Далее выполнялась условная разбивка автомобиля на фрагменты, виброметрирование которых проводилось отдельно [2]. Каждый из фрагментов сканировался в глобальной системе координат, приведение к которой осуществлялось на этапе сканирования геометрии. После завершения процесса выполнялась склейка результатов измерения вибрации всех фрагментов.

Одним из критерием оценки качества проведения модального анализа являлось значение функции когерентности, показывающей долю энергии колебаний, дошедших от вибровозбудителя до исследуемой поверхности автомобиля. Когерентность составила практически единицу [2], что подтверждает адекватность результатов модального анализа автомобиля.

Для сканирования автомобиля в сборе было проведено измерение более 400 точек, в каждой из которых определялся вектор виброскорости. Стоит отметить практическую невозможность выполнения замеров и обработки такого количества точек с помощью контактных трёхкомпонентных датчиков. На рисунках 1 и 2 представлен спектр виброскорости усредненный по всей поверхности.

После сканирования всего автомобиля, результаты были загружены в LMS Test.Lab для вычисления крутильной и изгибной формы колебания (рисунок 3).

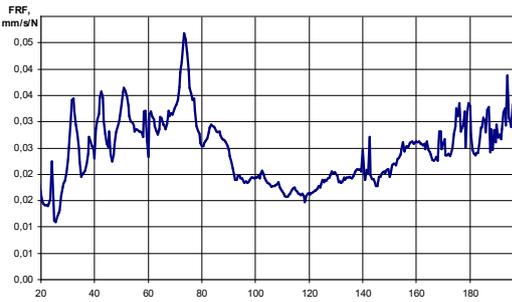


Рисунок 1 – Volkswagen Polo. Кручение. АЧХ автомобиля, осреднённая по всем сканируемым точкам

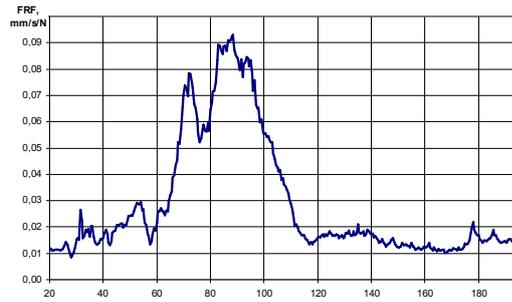
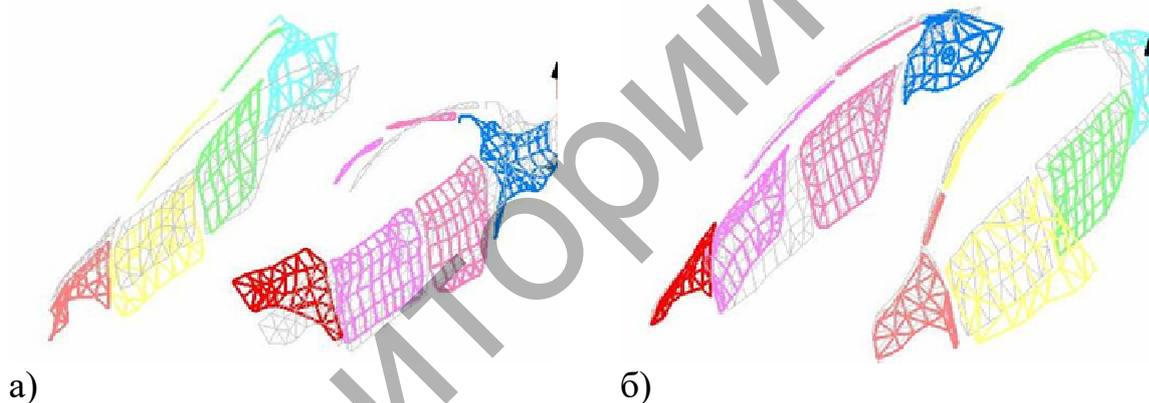


Рисунок 2 – Volkswagen Polo. Изгиб. АЧХ автомобиля, осреднённая по всем сканируемым точкам

Модальный анализ автомобиля Volkswagen Polo показал следующие собственные частоты колебаний:

- первая крутильная форма колебаний 24,3 Гц;
- первая изгибная форма колебаний 31,9 Гц.



а) первая крутильная форма колебаний автомобиля. 24,3 Гц
б) первая изгибная форма колебаний автомобиля. 31,9 Гц

Рисунок 3 – Volkswagen Polo

При этом спектр возбуждающей силы в частотном диапазоне от 20 Гц до 40 Гц был плавный, без резонансов, отклонение относительно среднего значения составило $-2,75\%$ $+2,11\%$ (при определении крутильной формы) и $-2,28\%$ $+1,89\%$ (при определении изгибной формы). Минимальное значение функции когерентности составило $98,5\%$ (при определении крутильной формы) и 94% (при определении изгибной формы). Это говорит о высоком качестве сигнала возбуждения.

ОАО «АвтоВАЗ» предоставил данные по модальным характеристикам кузова автомобиля Volkswagen Polo (таблица 1). Видно, что разница по модальным характеристикам кузова и автомобиля в сборе составляет 23 и 18 Гц. Это говорит о заниженном значении существующих предположения о разнице собственных колебаний кузова автомобиля и автомобиля в сборе в 10-12 Гц.

Таблица 1 – Модальные характеристики кузова и автомобиля в сборе

Модель	Комплектация	Кручение	Изгиб
Volkswagen Polo	Кузов	47,7 Гц	49,9 Гц
	Автомобиль в сборе	24,3 Гц	31,9 Гц

В рамках данного исследования проведено бесконтактное сканирование вибрации автомобиля Volkswagen Polo. Автомобиль устанавливался на полу в помещении. Специальных средств закрепления предусмотрено не было. Полученные результаты были использованы для расчёта модальных параметров автомобиля.

Результаты работы могут быть использованы при проектировании новых автомобилей на стадии верификации математических виброакустических моделей автомобилей, а также при виброакустической доводке пилотных образцов.

Технико-экономическая эффективность внедрения результатов работы заключается в меньших затратах времени и высокой точности виброметрирования поверхности исследуемого объекта. Если контактный способ измерения требует более трёх недель на проведение экспериментов, то на применение разработанной методики модального анализа автомобиля в сборе затрачивается не более трёх дней.

Работа выполнена при финансовой поддержке российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bart Peeters, Herman Van der Auweraer, Patrick Guillaumeb and Jan Leuridan. The Poly-MAX frequency-domain method: a new standard for modal parameter estimation? Shock and Vibration 11 (2004) 395–409.

2. Georgy M. Makaryants, Artur I. Safin and Evgeny V. Shakhmatov Vehicle modal analysis, Proceedings of the 22th International Congress on Sound and Vibration, Florence, Italy, 12–16 July, (2015).

УДК 629.03-52

ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ТОРМОЗОМ НА ОСНОВЕ ТИРИСТОРНОГО ПРИВОДА

Кусяк В.А., Ле Ван Нгуа, Гурин А.Н.

Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь

Порошковые электромагнитные тормоза (ПЭТ) нашли широкое применение в качестве имитаторов сопротивления движению при проведении полунатурных испытаний узлов и агрегатов автомобилей [1, 2]. Принципиальная схема испытательного стенда [3], в состав которого входит электронная система управления порошковым электромагнитным тормозом, представлена на рис. 1. Стенд инерционный, разомкнутого типа, включает силовой агрегат (ДВС, фрикционное сцепле-