

УДК 55.49.81

Бесконтактная регистрация и анализ вибрации изделий машиностроения с помощью трехкомпонентного лазерного виброметра

А.А. Иголкин, А.И. Сафин, Г.М. Макарьянц, А.Н. Крючков, Е.В. Шахматов

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. В статье рассмотрены вопросы применения бесконтактной лазерной виброметрии для модального анализа

PACS:46.40.— e

Ключевые слова: коллектор каталитический, шум, виброакустика, виброметр лазерный.

Введение

Значительная часть отказов изделий машиностроения связана с усталостными поломками деталей под действием переменных напряжений при вибрациях. Для предупреждения вибрационных поломок необходимо знать собственные частоты и формы колебаний деталей.

В связи с этим расчетные методики требуют экспериментальной верификации и, при необходимости, идентификации. В наибольшей степени это относится к собственным формам колебаний, на основании которых рассчитывается распределение динамических напряжений, весьма чувствительных к погрешностям определения собственных форм. Следует также отметить, что одну из модальных характеристик — декремент колебаний — определяют только экспериментально.

В настоящей работе описана методика экспериментального исследования с помощью трехкомпонентного сканирующего лазерного виброметра собственных частот, форм и декрементов колебаний изделий машиностроения.

Оборудование

Для исследования виброакустических характеристик использовался трехкомпонентный сканирующий лазерный виброметр.

Сафин Артур Ильгизарович, аспирант.
Макарьянц Георгий Михайлович, доцент.
Крючков Александр Николаевич, профессор.
Шахматов Евгений Владимирович, ректор.
Иголкин Александр Алексеевич, доцент.
Самарский государственный аэрокосмический университет им С.П.Королева
Россия, 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.
Тел.: (846) –267–46–63. E-mail igolkin@pochta.ru

Статья поступила в редакцию 20 августа 2012 г.

© Иголкин А.А., Сафин А.И., Макарьянц Г.М., Крючков А.Н. Шахматов Е.В., 2013

Сканирующий виброметр PSV-400 (Polytec Scanning Vibrometer) измеряет три ортогональных компоненты виброскорости, используя принцип лазерной интерферометрии.

Соответствующий сигнал интерферометра декодируется в трех контроллерах с декодером скорости. Таким образом, аналоговый сигнал напряжения генерируется пропорционально виброскорости в направлении соответствующего лазерного луча.

Конструкция виброметров Polytec основана на модульном принципе и таким образом позволяет определить пользовательскую конфигурацию. Изначально модульность достигается строгим разделением оптики и электроники. Контроллеры спроектированы таким образом, что они могут быть оснащены различными модулями обработки сигналов, оптимизированными для соответствующих приложений.

Визуализация виброакустических полей

Решение комплекса задач по визуализации виброакустических полей объектов авиационной и ракетно-космической техники, двигателестроения и машиностроения включает в себя:

- проведение частотных испытаний систем с распределёнными параметрами;
- верификацию численных моделей элементов РН, авиационных и двигательных систем, изделий машиностроения.

Одним из достоверных способов верификации моделей является экспериментальный модальный анализ. Создание верифицированных моделей рассмотрим на примере исследования виброакустических характеристик каталитического коллектора двигательной установки. Как правило, каталитический коллектор имеет штампованно-сварной корпус, интегрированный стальным штампованным кожухом корпуса нейтрализатора.

В области нейтрализатора к корпусу катколлектора приварен термоакустический экран с поперечным оребрением, уменьшающим вибрацию. Материал катколлектора — сталь 08X18. Общий вид показан на рис. 1.

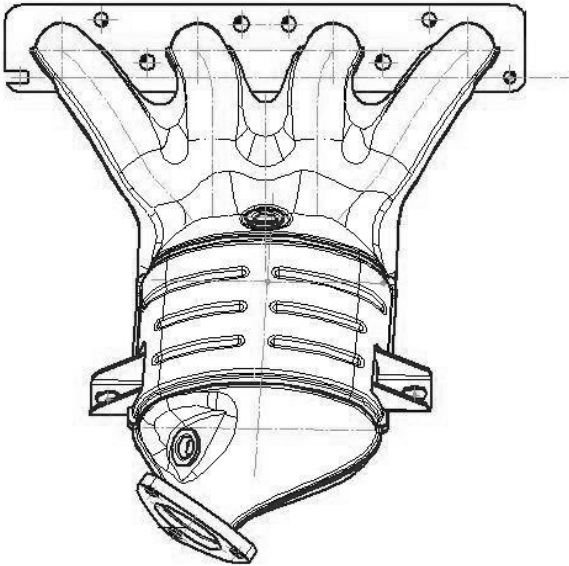


Рис. 1. Общий вид каталитического коллектора

Приемные трубы газоприемника приварены к фланцу, в котором предусмотрены отверстия под болты. Посредством болтового соединения, через прокладку для уплотнения газового стыка, катколлектор крепится к головке блока цилиндров. Чуть выше места установки каталитического блока в корпус вварена бобышка с резьбой для датчика кислорода. В случае если необходимо обеспечить нормы Евро-3 и выше, аналогичная бобышка вваривается дополнительно за каталитическим блоком для второго датчика. Возможны варианты комплектации катколлектора металлическим каталитическим блоком Евро-3 и керами-

ческим каталитическим блоком Евро-3 и Евро-4. Основное назначение каталитического коллектора — очистка отработавших газов двигателя. Однако его применение в ряде случаев значительно ухудшает виброакустические характеристики системы выпуска отработавших газов. Поэтому задача получения достоверных верифицированных моделей рассматриваемого агрегата является актуальной, поскольку позволит значительно повысить качество процесса проектирования новых и доводки существующих изделий.

Для экспериментального модального анализа с использованием сканирующего трехкомпонентного лазерного виброметра PSV 400, было выбрано 4 катколлектора 16 клапанного двигателя автомобиля ВАЗ.

1. С чугунным верхним газоприёмником и керамическим каталитическим блоком;
2. С трубным верхним газоприёмником и керамическим каталитическим блоком;
3. Со штамповарным верхним газоприёмником и металлическим каталитическим блоком;
4. Со штамповарным верхним газоприёмником и керамическим каталитическим блоком.

Экспериментальный модальный анализ проводился на «холодном» стенде, представляющим собой корпус двигателя (блок цилиндров с головкой) с закреплённым на нём каталитическим коллектором и системой вибровозбуждения. Блок крепится на неподвижную металлическую конструкцию на четырех опорах при помощи болтов и крепежных элементов. Внутренние детали удалены с целью устранения источников посторонних шумов и уменьшения массы стенда. Штатные места под датчики кислорода, предусмотренные в катколлекторе, закрыты болтами.

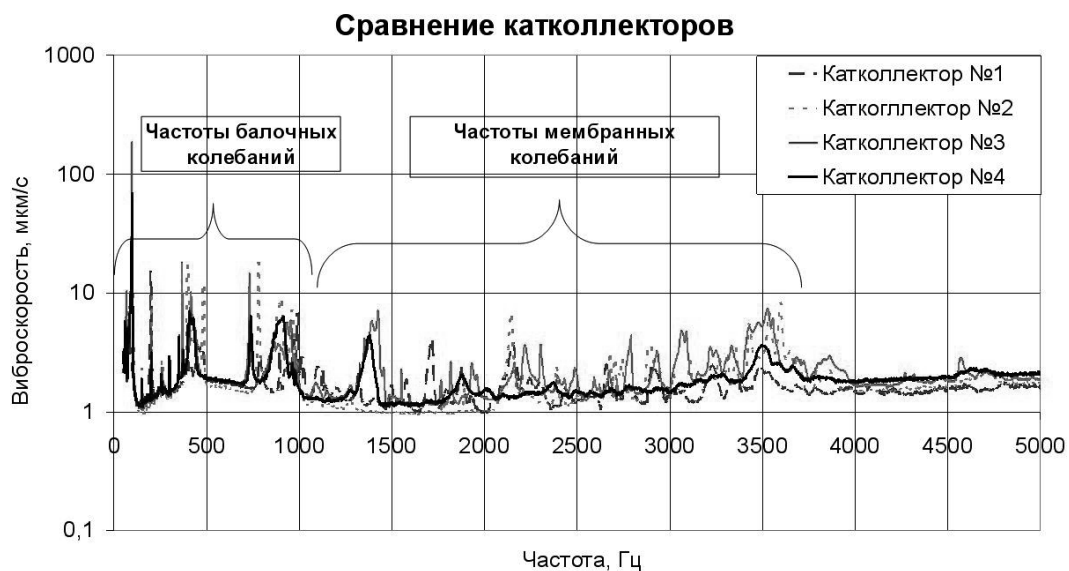


Рис. 2. Сравнение спектрограмм виброскорости катколлекторов, усреднённой по поверхности.

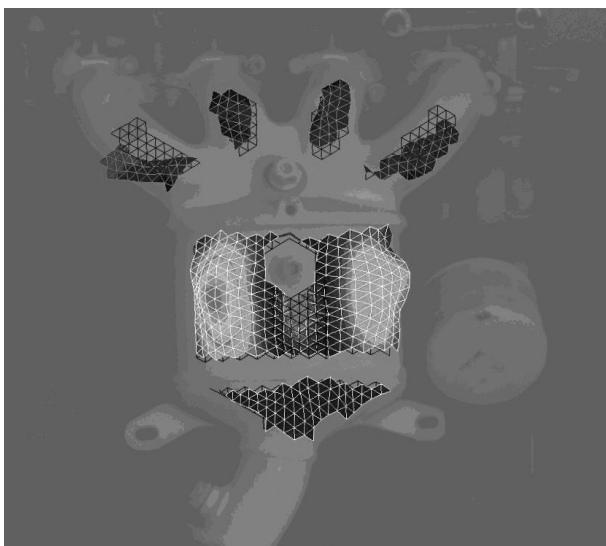


Рис. 3. Собственная форма колебаний катколлектора № 1 на частоте 3481 Гц.

Двигатель использовался для имитации массовых и упругих характеристик граничных условий — закрепления катколлектора. Для возбуждения катколлектора использовался шейкер, работающий в диапазоне частот 50...5000 Гц. Использовался сигнал возбуждения с периодической разверткой по частоте, который подходит для спектрального анализа сигнала. Выбор точек возбуждения осуществлялся по критерию достаточной для возбуждения глобальных мод колебаний конструкции жесткости. При этом местоположение данных точек должно обеспечить широкополосное пространственное (по осям X, Y, Z) входное динамическое воздействие на исследуемую конструкцию.

В результате проведенных исследований были получены спектры виброскорости, виброускорения и формы колебаний катколлекторов, в том числе и собственные формы, соответствующие резонансным частотам. На рис. 2 представлены спектрограммы усредненной по поверхности катколлектора виброскорости.

Из анализа спектров виброскорости следует, что катколлектор под номером 2 (катколлектор с трубным верхним газоприемником с керамическим каталитическим блоком) имеет худшие виброакустические характеристики по сравнению с другими исследуемыми объектами. Виброускорения этой конструкции максимально на частоте 3504 Гц и достигает 6,2 мкм/с. Однако наибольшее число собственных форм колебаний в исследуемом диапазоне частот имеет катколлектор № 3.

На рис. 3 представлена форма колебаний катколлектора № 1 на частоте 3481 Гц.

На низких частотах резонансы конструкции проявились в виде балочных форм колебаний, при которых катколлектор вел себя как консольно-за-

крепленная балка. Далее на частотах от 1000 Гц проявляются собственные формы термозащитного экрана. Начиная с 1400 Гц, реализуются мембранная форма колебаний. В диапазоне от 3500 до 5000 Гц мембранные формы колебаний термоэкрана совпадают с балочными и мембранными формами подводющих патрубков и корпуса каталитического элемента.

На низких частотах конструкции колебания проявились в виде балочных форм, при которых катколлекторы вели себя как консольно-закрепленная балка. Мембранные формы колебаний термоакустического экрана на средних и высоких частотах, а также формы, когда на резонансные колебания термоэкрана оказывают влияние собственные формы других элементов конструкции и высокие вибрационные характеристики на высоких частотах (3000–4000 Гц) для их устранения рекомендуется использовать вибродемпфирующие материалы.

Применение демпфирующих материалов не влияет на амплитуду балочных колебаний пластины. Происходит значительное уменьшение амплитуды колебаний на частотах, соответствующих мембранным формам.

Элемент сотовой конструкции

Другим объектом исследования является элемент сотовой конструкции.

Сотовая конструкция (СК) — это многослойная конструкция, состоящая из двух обшивок — несущих слоев (А), соединённых сотовым заполнителем (В) и окантованных по периметру элементами каркаса. Название «сотовый» наполнитель получил за наиболее распространённую шестигранную структуру, сходную с пчелиными сотами (Рис. 4).

СК применяются, в основном, в авиа- и ракетостроении и предназначены для восприятия и передачи распределенных нагрузок, действующих на элементы конструкции летательного аппарата. СК выполняет также и специальные функции: звукоизоляционные, демпфирующие, теплозащитные, радиопрозрачные, аэродинамические. СК используются для изготовления обтекателя ракеты-носителя (РН), приборных панелей космического аппарата (КА), элементов конструкции самолета и двигателя.

Панель монтировалась в раму-каркас и закреплялась на массивном основании. Вибровозбудитель (минишейкер) закреплялся на основании, не изменяя массовые характеристики, а значит, и собственные резонансные частоты панели.

Установка вибровозбудителя под углом к нормали панели обеспечила возбуждение всех её

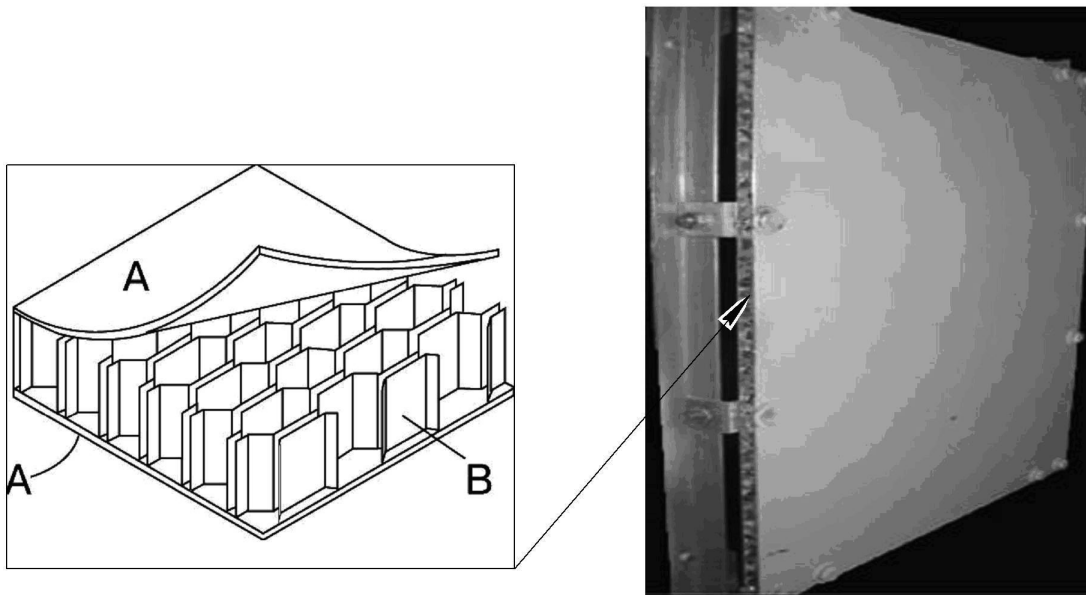


Рис. 4. Фрагмент сотовой конструкции приборной панели КА

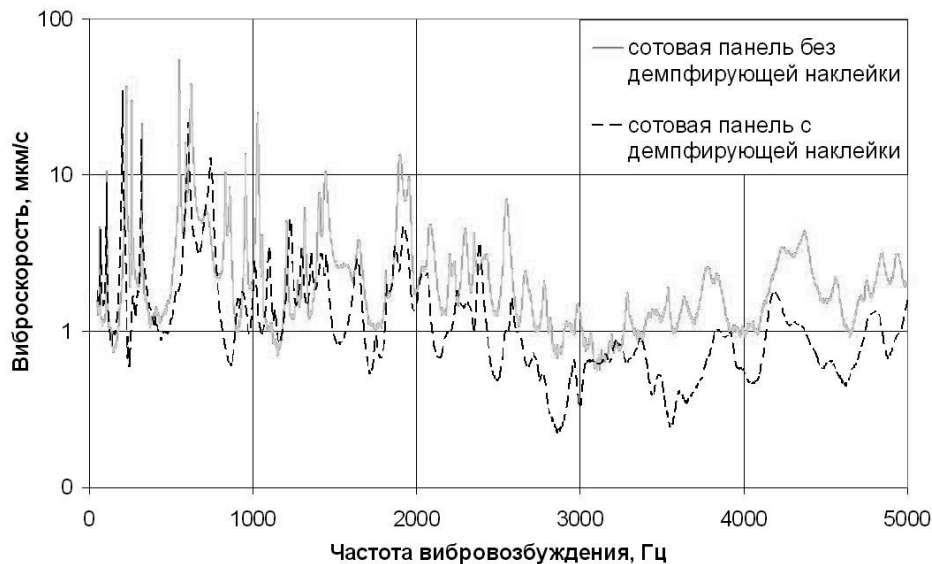


Рис. 5. Спектрограмма амплитуды виброскорости, усреднённой по поверхности пластины.

собственных форм колебаний. Возбуждающая вибрационная нагрузка передавалась от вибровозбудителя на массивное основание и далее через каркас на испытываемую панель.

Проводились модальные испытания панели без демпфирующей наклейки и с наклеенным по всей поверхности демпфирующим материалом. Результаты в виде спектрограммы усреднённой по поверхности пластины амплитуды виброскорости представлены на рис. 5.

Использование демпфирующих материалов несколько уменьшает собственные частоты панели за счёт её присоединённой массы. Анализ спектрограммы показывает:

1. Применение демпфирующей наклейки не влияет на амплитуду балочных колебаний пластины.

2. Происходит значительное уменьшение амплитуды колебаний на частотах, соответствующих мембранным формам.

Заключение

В статье рассмотрен анализ вибрации изделий машиностроения. Показана целесообразность использования бесконтактной регистрации вибрации изделий машиностроения, так как во время измерений не изменяются массовые характеристики объекта исследования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках госзадания (шифр заявки 7.3187.2011).

Литература

1. Сафин А.И., Крючков А.Н., Иголкин А.А., Макарьянц Г.М.// Сборник трудов третьего международного экологического конгресса «ELPIT». 2011. С.121.

2. Фесина М.А., Крючков А.Н., Макарьянц Г.М. Малкин И.В.// Вектор науки ТГУ. 2011. С. 82

3. Фесина М.А., Крючков А.Н., Макарьянц Г.М. Малкин И.В.// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 6. С. 179

Non-contact registration and analysis of the product machine vibration with a three-component laser scanner

A.A. Igolkin, A.I. Safin, G.M. Makaryants, A.N. Kruchkov, and E.V. Shakhmatov

S.P. Korolev Samara State Aerospace University (The National Research University),
34 Moscow highway, Samara, 443086, Russia
E-mail: igolkin@pochta.ru

Engineering products performance, resource and quality especially depend on the intensity of vibro acoustic processes, which include the vibration of mechanical elements, units and systems emitted noise. The article deals with the application of non-contact laser vibrometer for modal analysis.

PACS: 46.40.— e

Keywords: acoustics, noise, vibration, vibroacoustics, vibrometer

Bibliography — 3 references

Received August 20, 2012