

Технология бесконтактных частотных испытаний композитных элементов силовых установок и винтомоторных групп воздушных судов

А.В. Смотров, С.А. Смотров, М.Ю. Зайцев, А.Ю. Юрьев
ЦАГИ им. проф. Н.Е. Жуковского, Жуковский

На основе многолетнего опыта выполнения бесконтактных частотных испытаний специалистами ЦАГИ была разработана промышленная базовая технология. Применение технологии возможно как в лабораторных условиях (голографическая интерферометрия), так при проведении частотных испытаний на авиационных заводах, в ангарах и испытательных залах (лазерная доплеровская виброметрия). Даны примеры определения основных динамических характеристик малогабаритных, легких и имеющих сложную форму авиационных конструкций. Результаты, зарегистрированные бесконтактно, позволяют точнее верифицировать расчетные модели и доводить физические модели до требуемых параметров подобия.

Noncontact ground vibration test technology for composite elements of propulsion systems and engine-propeller units of aircrafts

A.V. Smotrov, S.A. Smotrova, M.V. Zaytsev, A.Yu. Yuriev
TsAGI, Zhukovsky, Russia

On the basis of long-term experience of performance fulfillment of noncontact ground vibration tests (GVT) by experts of the TsAGI the new industrial basic technology has been developed. Technology application is possible as in vitro (holographic interferometry), so at carrying out of GVT at aviation factories, in hangars and test halls (laser Doppler vibration measurement). Examples of definition of the basic dynamic characteristics of aviation designs small-sized, lightweight and having the difficult form are produced. The results registered remotely, allow to verify more precisely computational models and to improve up to demanded parameters of similarity physical models.

1. Введение

Термином частотные испытания (ЧИ) в ЦАГИ традиционно обозначают экспериментальные исследования по определению основных динамических характеристик натурных воздушных судов (ВС), их агрегатов, элементов и моделей, а также образцов конструкционных материалов. ЧИ проводят, как правило, с целью получения доказательного материала для выдачи заключений по безопасности ВС от явлений аэроупругости, выявления уровня динамических нагрузок, проведения вибродиагностики.

При выполнении штатных ЧИ применяется так называемый метод фазового резонанса, при котором используется многоточечное гармоническое возбуждение, поочередное выделение и регистрация собственных тонов колебаний конструкции [1]. Значительно реже используются приемы, базирующиеся на возбуждении и анализе свободных колебаний. Основные динамические характеристики, определяемые в ходе ЧИ, – это спектр собственных частот (в заданном частотном), формы, коэффициенты демпфирования и обобщенные массы собственных

тонов. Главная задача ЧИ – создание частотного паспорта (свидетельства), верификация и коррекция расчетной динамической схемы ВС или его агрегатов, сравнение динамических характеристик натурной конструкции и ее моделей, контроль соответствия характеристик материалов и конструкций заданным требованиям.

2. Основная часть

В ЦАГИ для ЧИ методом фазового резонанса применяются аппаратно-программные комплексы с системой контактных акселерометров и присоединяемых к испытываемой конструкции электродинамических силовозбудителей. В зависимости от места проведения ЧИ и номенклатуры исследуемых объектов используют как передвижные лаборатории, созданные на шасси полуприцепов и автобусов (рис. 1), так и мобильные стенды на базе кейсов-контейнеров. В большинстве случаев применение штатного метода ЧИ совместно с контактными средствами возбуждения и измерения колебаний позволяет достичь поставленных целей.



Рис. 1. Проведение выездных ЧИ авиационного двигателя с использованием передвижной виброизмерительной лаборатории ЦАГИ

Однако существует немалый перечень задач, когда необходимо исследовать малогабаритные, легкие и имеющие сложную форму изделия, а также выполнить измерения в труднодоступных местах (например, при повышенной температуре). Например, применение акселерометра Prodera AC565/II ($m = 2,7$ г) при определении низшей частоты колебаний консольного стержня массой ~ 30 г может привести к ошибке в 17% из-за влияния на результаты измерений его массогабаритных показателей и демпфирующего эффекта от кабельной разводки [2].

Решить указанные проблемы позволяет проведение ЧИ на основе перспективных оптических методов. Специалисты ЦАГИ совместно с сотрудниками ИМАШ РАН с 1995 года выполняли поисковые научные исследования, результатом которых является разработка базовой промышленной технологии ЧИ с бесконтактным возбуждением и съемом информации о характеристиках колебаний.

При лабораторном определении основных динамических характеристик агрегатов ВС, элементов и моделей, имеющих малые размеры, массу и сложную форму, рекомендуется применять методы голографической и спекл-интерферометрии (рис. 2, верхний ряд). В стендовых условиях и при выездных промышленных испытаниях для бесконтактных ЧИ рекомендуется использовать метод лазерной доплеровской виброметрии (рис. 2, нижний ряд).

Отличительной особенностью технологии является созданные технические решения, устраняющие не только паразитное воздействие системы измерений на регистрируемые данные, но и негативное влияние присоединенных к объекту испытаний средств возбуждения колебаний, что особенно актуально при испытаниях нежестких и легких конструкций. Предлагаемый подход отработан в многочисленных экспериментах по определению динамических характеристик таких элементов винтомоторных групп ВС, как натурные и модельные

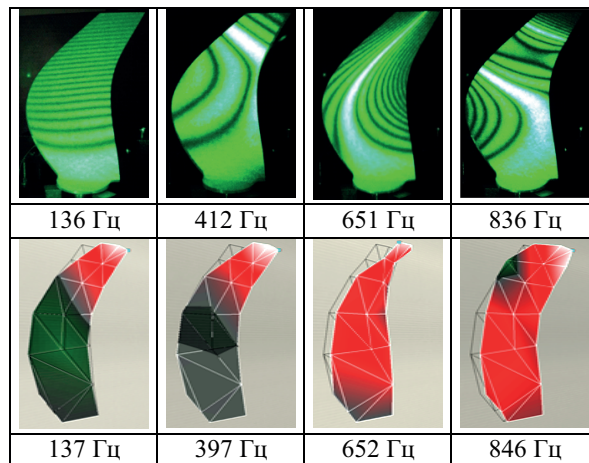


Рис. 2. Сравнение картин четырех низших тонов колебаний модели саблевидной широкохордной лопасти винтовентиляторного двигателя (консольное закрепление)

лопасти винтов. На рис. 3 в качестве иллюстрации приведены некоторые результаты сравнительных ЧИ шарнирно вывешенной модели лопасти несущего винта вертолета из ПКМ – формы и значения частот колебаний в Гц, определенных в экспериментах штатным контактным и новым бесконтактным (рис. на сером фоне) способами и рассчитанных методом конечного элемента в программе CATIA_Analysis.

Технология бесконтактных ЧИ дает возможность испытывать как полноразмерные агрегаты, элементы ВС, так их модели, другие изделия и образцы конструкционных материалов. Причем испытания можно проводить как в условиях стандартной атмосферы, так и при высоких температурах,

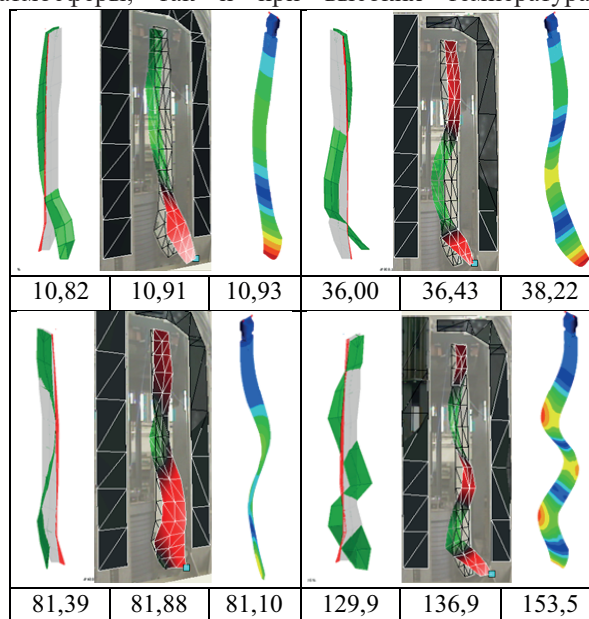


Рис. 3. Сравнение картин четырех низших тонов изгибных колебаний модели лопасти несущего винта вертолета, определенных в экспериментах и при расчете

например, при размещении контролируемого объекта в температурной камере. Тестовые воздействия производятся размещенным в горячей зоне возбудителем, не прикрепляемым к конструкции, а съём информации о характеристиках колебаний выполняется через окно камеры лазерным виброметром. Управление возбуждением – механическое через гермоввод.

На сегодняшний день с применением разработанной технологии бесконтактных ЧИ в лабораторных и стендовых условиях испытаны следующие элементы ЛА: турбинные лопатки, натурные и модельные лопасти винтов вертолетов и самолетов, аэродинамические поверхности моделей ЛА, большой набор образцов перспективных составов ПКМ и другие изделия.

3. Заключение

Разработанная промышленная базовая технология дает возможность определять основные динамические характеристики (формы, частоты и параметры

затухания собственных колебаний) малогабаритных, легких и имеющих сложную форму конструкций как в лабораторных условиях, так и в аэродромных ангарах/заводских цехах. Ключевыми элементами бесконтактной технологии ЧИ являются новые подходы к проведению экспериментов и оригинальные технические решения – запатентованные методы и устройства.

Список использованных источников

- [1] О современных методиках наземных испытаний самолетов в аэроупругости / П.Г. Карклэ, В.А. Малютин, О.С. Мамедов, В.Н. Поповский, В.И. Смыслов, А.В. Смотров 2012. С. 1–34. (Труды ЦАГИ ; вып. 2708).
- [2] Апальков А.А., Одинцев И.Н., Смотров А.В. Определение основных динамических характеристик конструкций с использованием голографической интерферометрии. 2001. С. 162–164. (Труды ЦАГИ.; Вып. 2642).