

УДК 621.431.75+004.9

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ ТРУБОПРОВОДА ГТД С ОПОРОЙ ИЗ МР ДЛЯ ОТРАБОТКИ МЕТОДИКИ РАСЧЁТА В СРЕДЕ ANSYS**

© 2012 А. В. Швецов, Д. С. Лёжин, А. М. Уланов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва  
(национальный исследовательский университет)

В статье приведены расчётные исследования колебаний трубопроводов авиационного двигателя в среде ANSYS и экспериментальные исследования с помощью бесконтактной системы ARAMIS.

*Вибрации, опора, модель, деформации, амплитуды колебаний, анализ.*

В качестве модели трубопровода была выбрана трубка из титанового сплава ПТ-7М с внешним диаметром 6,2 мм, внутренним диаметром 4,0 мм. Трубка имеет достаточно сложную форму (рис.1), чтобы полученные для неё результаты могли быть применимы для трубопроводов произвольной формы.

Была создана конечно-элементная модель трубки. Эксперимент ставил перед собой цель собрать возможно больше информации для отработки расчётной модели в ANSYS и создания методики расчёта трубопроводов на базе данного пакета программ.

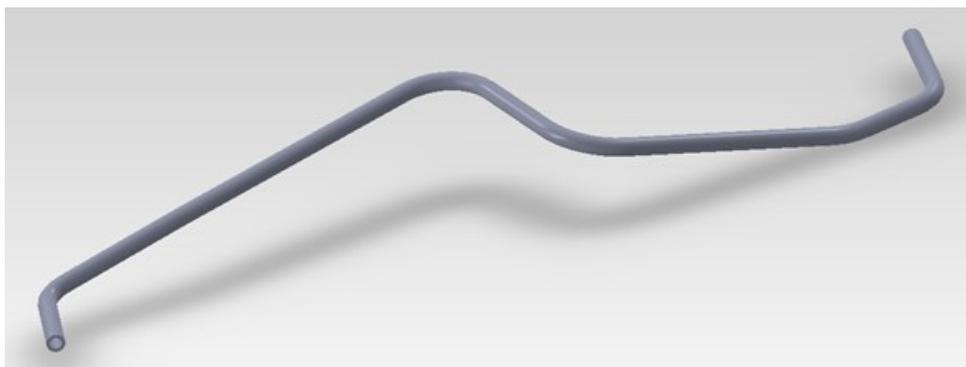


Рис.1. Применявшаяся в экспериментах модель трубопровода

Для исследования колебаний модели трубопровода использовался вибрационный стенд ВДС-1500. Измерения колебаний трубопровода осуществлялись при помощи бесконтактной системы ARAMIS (рис.2).

ARAMIS – это измерительная система деформации, хорошо зарекомендовавшая себя в исследовании материалов и проверке изделий из металлических, полимерных, гетерогенных или наполненных материалов, тканей. Система ARAMIS 3D поставляется с двумя камерами, которые фотографируют изображения объекта одновременно, в режиме стерео. В процессе загрузки последовательности этих изображений определяется 3D-форма объекта и деформации объекта.

При испытании система ARAMIS помещается перед объектом исследования. Для того, чтобы поверхность исследуемого объекта была однозначно идентифицирована, необходимо, чтобы она была не единообразной (пятнистая поверхность – естественная или наложенная). ARAMIS распознаёт структуру поверхности анализируемого образца с помощью оцифровки последовательности изображений, полученных с камер, и присваивает координаты пикселям изображения. Первое изображение последовательности в созданном проекте представляет собой недеформированное состояние объекта.

После или во время деформации исследуемого объекта записываются сле-

дующее изображение. В процессе обработки производится сравнение цифровых изображений и рассчитываются перемещения пикселей изображения. Поверхностные деформации измеряются из анализа поведения комплексов пикселей объединённых в фасеты. Полученная картина деформаций может быть пересчитана в напряжения. Полученные данные графически визуализируются и могут быть сохранены и экспортированы в различные форматы.

Повторяющиеся события могут быть зафиксированы и проанализированы при использовании быстрого времени срабатывания

цифровых камер или стробоскопическое освещение.

Для контроля измерений при помощи ARAMIS на трубопроводе был установлен датчик виброускорения КД-32. Вес датчика с хомутом 65 граммов.

Оба конца модели трубопровода закреплены в штуцерных опорах, что аналогично реальному трубопроводу. Опоры жёстко прикреплены к швеллеру. Для исследования влияния демпфирования применяется средняя опора, также прикрепленная к швеллеру. Ширина опоры 11 мм. В средней опоре могут устанавливаться сменные прокладки из материала МР (рис. 2).

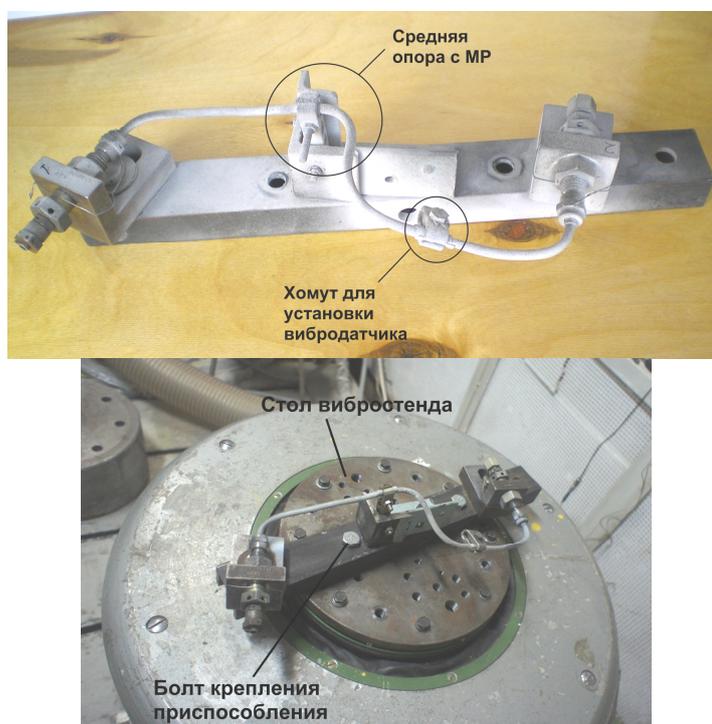


Рис.2. Размещение модели трубопровода на вибрационном стенде

Швеллер крепится на вибростенд и потом выводится на резонанс по первой форме. Система ARAMIS откалибрована на объём 120x90 мм, что позволяет снимать необходимые части трубы. Дополнительно в стол вибростенда вкручивался болт с гладкой головкой, который служил в качестве базы, относительно которой определялась амплитуда колебаний.

Ось Z направлена вертикально вверх (в этом направлении вибростенд создаёт вибрацию), ось Y направлена перпендикулярно оси трубопровода, ось X - по оси трубопровода.

В средней опоре установлена охватывающая трубопровод прокладка из МР с относительной плотностью  $\bar{\rho} = 0,143$  и толщиной  $H=2,1$  мм. Диаметр отверстия в опоре 9,8 мм, суммарный диаметр трубопровода с прокладкой из МР 10,4 мм. Предварительная статическая деформация  $Q = 0,3$  мм. Относительная предварительная статическая деформация  $\varepsilon_Q = Q/H = 0,14$ . Результаты измерений (в районе установки датчика) при помощи системы ARAMIS представлены в табл.1.

Таблица 1. Перемещения по осям, измеренные системой ARAMIS

	Displacement E	Displacement Z	Displacement Y	Displacement X
Амплитуда колебаний хомута, мм.	0,642	0,740	0,02	0,15
Амплитуда колебаний болта, мм		0,028		

Коэффициент передачи вибрации  $\eta=A1/A2=26$ .

Определяется резонансная частота: период колебаний составляет 5,3 мс, частота колебаний 188 Гц.

Для проверки измерений при помощи системы ARAMIS приводятся результаты, полученные датчиком виброускорения (табл. 2).

Таблица 2. Результаты, полученные датчиком виброускорения

Резонансная частота колебаний, Гц	185
Амплитуда виброускорения стола вибростенда W1, м/с <sup>2</sup>	15
Амплитуда виброускорения, измеренная датчиком W2, м/с <sup>2</sup>	420

Коэффициент передачи вибрации  $\eta=W1/W2=28$ .

Из сравнения табл. 1 и табл. 2 можно сделать вывод, что результаты, получаемые при помощи датчика вибростенда и системы ARAMIS, совпадают с достаточной точностью в случае применения демпфирующей опоры.

Экспериментальная модель трубопровода воспроизведена в системе Ansys.

Материал трубки - титановый сплав ПТ-7М.

Для моделирования опор трубопровода применялся элемент COMBIN14 – это пружин-

ный амортизатор (или) упругий демпфер. Для него задаются жёсткость - Н/м и коэффициент демпфирования – Н с/м. Значения этих величин взяты из проведённого расчёта характеристик опор трубопровода на базе эксперимента, описанного выше. Учтена масса датчика с хомутом для закрепления – 65гр.

В Ansys выполнены модальный и гармонический анализы варианта закрепления трубопровода с промежуточной опорой из МР (рис.3 - 6).

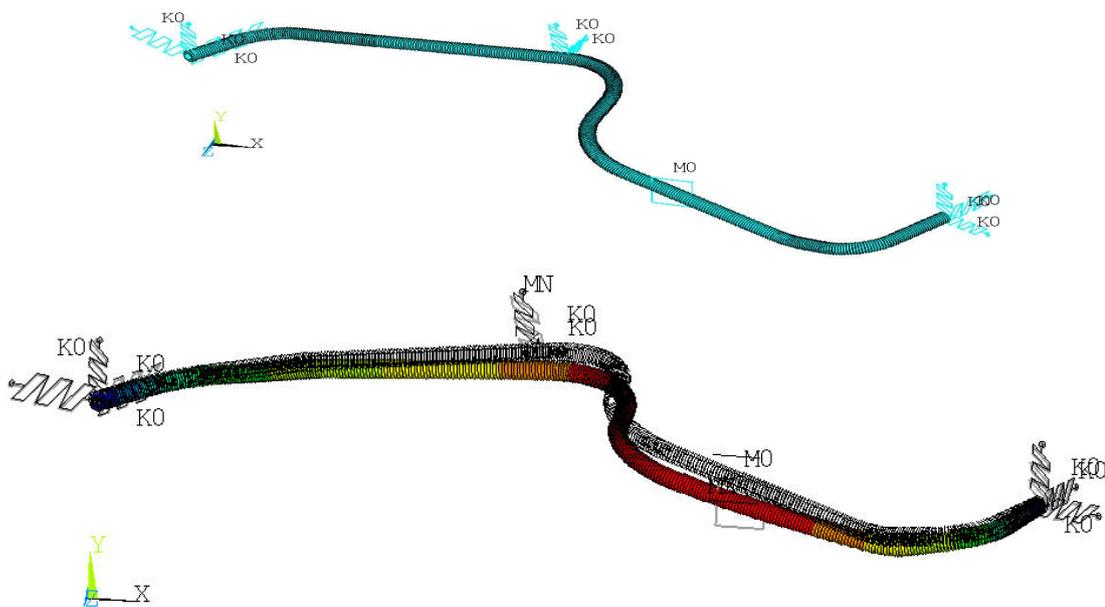


Рис. 3. Конечно-элементная модель трубопровода в пакете ANSYS

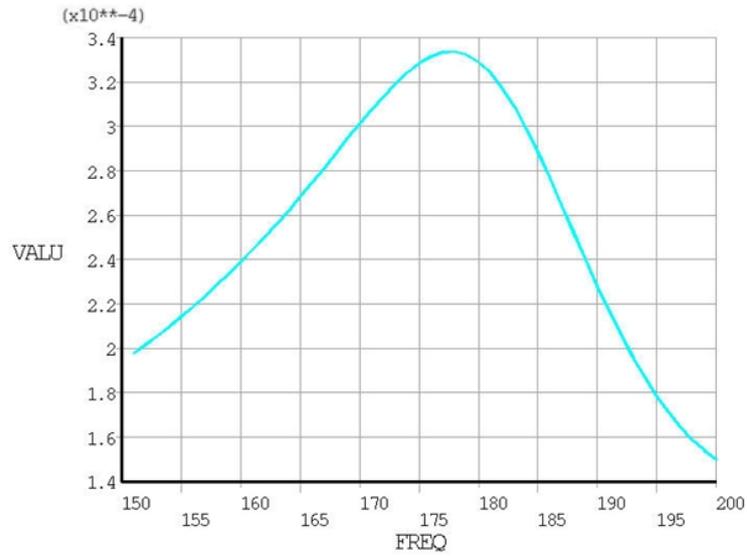


Рис. 4. График зависимости перемещений по оси  $y$  в районе установки датчика от частоты колебаний для варианта с опорой из МР

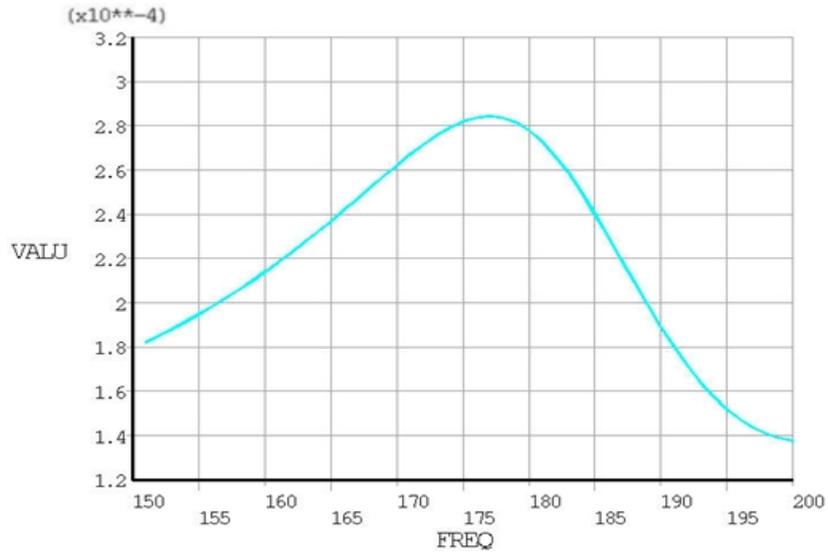


Рис.5. График зависимости перемещений по оси  $x$  в районе установки датчика от частоты колебаний для варианта с опорой из МР

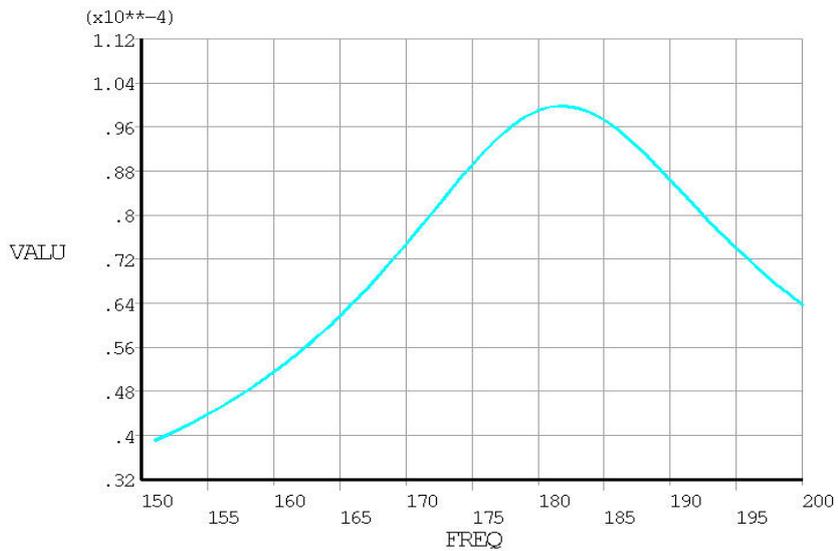


Рис.6. График зависимости перемещений по оси  $z$  в районе установки датчика от частоты колебаний для варианта с опорой из МР

Таблица 3. Перемещения по осям

Амплитуды	Displacement E	Displacement Z	Displacement Y	Displacement X
Амплитуда колебаний хомута (ARAMIS), мм	0,642	0,740	0,02	0,15
Амплитуда колебаний болта (Ansys), мм	-	0,692	0,05	0,145

Из сравнения значений амплитуд колебаний трубопровода (табл. 3) можно сделать вывод, что результаты, получаемые при помощи датчика вибростенда и системы ARAMIS, совпадают с достаточной точностью с результатами, полученными с помощью Ansys

в случае применения демпфирующей опоры из МР.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (Минобрнауки) на основании Постановления Правительства РФ №218 от 09.04. 2010.

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF VIBRATIONS OF PIPELINE OF GTD WITH SUPPORT FROM MR FOR WORKING OFF METHOD OF CALCULATION IN ENVIRONMENT OF ANSYS

© 2012 A. V. Shvetsov, D. P. Lezhin, A. M. Ulanov

Samara State Aerospace University of the name of Academician S.P. Korolyov  
(National Research University)

In the article calculation researches of vibrations of pipelines of aviation engine are resulted in the environment of ANSYS and experimental researches by the noncontact system of ARAMIS.

*Vibrations, support, model, deformations, amplitudes of vibrations, analysis.*

#### Информация об авторах

**Швецов Антон Владимирович**, аспирант, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [kipdla@ssau.ru](mailto:kipdla@ssau.ru). Область научных интересов: динамика гидравлических систем.

**Лёжин Дмитрий Сергеевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [ldms@mail.ru](mailto:ldms@mail.ru). Область научных интересов: измерения вибрации, торцовые уплотнения, динамика и прочность.

**Уланов Александр Михайлович**, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры конструкции и проектирования двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail [alexulanov@mail.ru](mailto:alexulanov@mail.ru). Область научных интересов: защита от вибрации и удара, системы с конструкционным демпфированием.

**Shvetsov Anton Vladimirovich**, postgraduate, Samara State Aerospace University of the name of academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail [kipdla@ssau.ru](mailto:kipdla@ssau.ru). Area of research: dynamics of hydraulic systems.

**Lezhin Dmitry Sergeevich**, candidate of technical sciences, associate professor of department Construction and planning of engines of aircrafts, Samara State Aerospace University of the name of academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [ldms@mail.ru](mailto:ldms@mail.ru). Area of research: measurings of vibration, cutoff compressions, dynamics and durability.

**Ulanov Aleksandr Mihailovich**, doctor of technical sciences, professor of department Construction and planning of engines of aircrafts, Samara State Aerospace University of the name of academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail [alexulanov@mail.ru](mailto:alexulanov@mail.ru). Area of research: shock and vibration protection, dry friction systems.