

УДК 621.81

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА КАРКАСА ТЕЛЕСКОПА

Иголкин А.А., Сафин А.И., Кузнецов А.В.

Самарский университет, г. Самара, Россия, al.vl.kuznetsov@mail.ru

Ключевые слова: вибрационные испытания, сканирующий виброметр, модальный анализ, валидация, критерий модальной достоверности.

Одним из этапов разработки аэрокосмической техники является этап проведения вибропрочных испытаний. В перечне задач таких испытаний можно выделить проверку и уточнение динамических характеристик установок бортовой аппаратуры и корпуса изделия в целом [1-2]. В качестве средств измерения всё больше находит применение лазерный виброметр. Данное оборудование позволяет получить динамические характеристики, такие как собственные формы, частоты и диссипативные характеристики, при этом не привнося погрешность в виде присоединённой массы измерительного датчика. Полученные экспериментальные данные позволяют провести процедуру валидации конечно-элементных моделей [3].

Рассматривается исследование с помощью лазерного виброметра Polytec PSV-400 динамических характеристик балочной конструкции на примере макета каркаса телескопа космического аппарата, представленной на рисунке 1. Для проведения исследования конструкция была подвешена на пружинах с жёсткостями 770 Н/м и 730 Н/м. Для успешного проведения эксперимента необходимо было приложить возмущающее воздействие к исследуемой конструкции. Было рассмотрено приложение возмущающего воздействия на конструкцию с помощью двух типов вибропульсаторов. По результатам анализа, в качестве возмущающего воздействия выбрана функция псевдослучайных чисел и для приложения возмущающего воздействия был выбран вибропульсатор 2025Е (максимальное виброускорение 700 м/с², частотный диапазон воздействия - до 9000 Гц, выходное усилие - 58 Н). Исследование проводилось в диапазоне от 50 до 200 Гц с шагом 0.25 Гц. В результате экспериментальных исследований были получены следующие данные: передаточные функции скоростей к возмущающему воздействию, спектры скоростей в исследуемых точках конструкции. На основе этих данных с помощью специализированного программного обеспечения получены собственные формы и частоты конструкции.

Для данной конструкции схема эксперимента представляет собой проведение четырёх последовательных экспериментов для получения облака точек каждой части с возможностью формирования единого облака точек конструкции и обобщений результатов в один результирующий файл. Таким образом, в четырёх областях, где сопрягаются граничные точки каждой экспериментальной части, есть наиболее близко расположенные в пространстве точки конструкции, для которых полученные отклики на возмущающее воздействие должны быть близки. Однако, анализ полученных результатов показывает, что полного совпадения этих данных в этих точках нет, что говорит о необходимости дополнительного анализа полученных экспериментальных данных и учёта пространственной погрешности при сканировании, равной 0,1 м.

Также, для исследуемой конструкции построена конечно-элементная модель в системе ANSYS с использованием балочных элементов. Для сравнения расчётных и экспериментальных форм и частот рассчитывался критерий модальной достоверности (MAC) [4], максимальное значение которого не превысило 0,15, что говорит о полном несоответствии динамических характеристик расчётной модели экспериментальным данным. Данное несоответствие обосновывается следующими факторами:

- 1) несоответствие математического описания сварных соединений, имеющих сложную форму и соединений элементов конструкции, реализованной в расчётной модели – пересечение балок в точке;
- 2) наличие сварных соединений ненадлежащего качества, что не было учтено в расчётной модели;
- 3) при расчёте MAC-критерия необходимо выбрать узлы расчётной модели, соответствующие расположению узла в экспериментальных данных, так как одной экспериментальной точке, с учётом погрешности её расположения, может соответствовать 19 расчётных узлов.

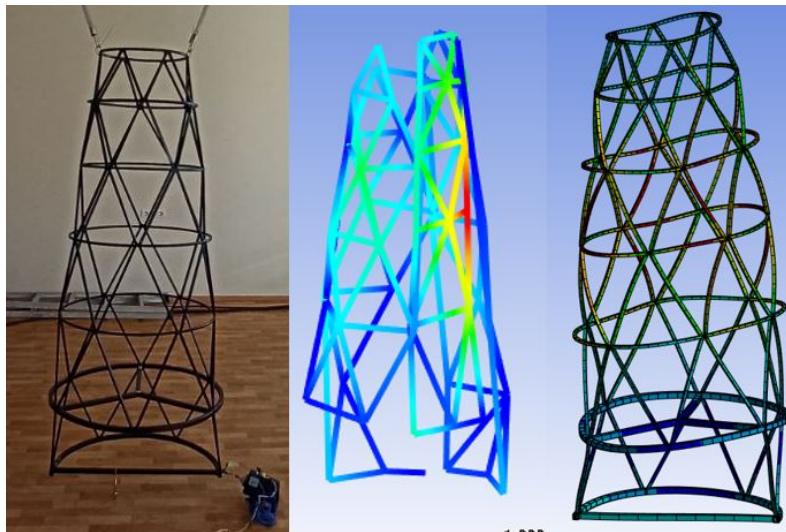


Рис.1. Макет каркаса телескопа космического аппарата, экспериментальная форма собственных колебаний - 93.75Гц, расчётная форма собственных колебаний – 93.79 Гц

Первые два фактора могут быть учтены при дальнейшей валидации расчётной модели с помощью задания дополнительных свойств и их варьирования. Для разрешения третьего фактора предлагается рассмотреть соответствие форм в порядке возрастания (при расчёте MAC-критерия для моделей с плохим соответствием возможны ситуации, когда наибольшие значения MAC-критерия не располагаются по диагонали), предложено два варианта:

- 1) провести последовательный расчёт MAC-критерия для каждой возможной пары совпадающих узлов «расчёт-эксперимент» и выбор наилучшего соответствия для каждой экспериментальной точки;
- 2) провести расчёт для случайных выборок совпадающих узлов «расчёт-эксперимент» и на их основе задать единственное соответствие расчётных и экспериментальных узлов.

Разрешение третьего фактора также даёт однозначное соответствие узлов расположения узлов конечно-элементной модели и экспериментальных точек и является первым шагом валидации.

Благодарности

Описанные в настоящей работе научно-исследовательские результаты получены в рамках выполнения и за счёт средств гранта РНФ 23-19-20025.

Список литературы

1. Акимов В.Р. Исследование динамических характеристик космических конструкций при наземных испытаниях // Космические исследования. 1997. Т. 35, Вып.1. С. 102-106.
2. Микишев Г.Н. Экспериментальные методы в динамике космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1978. 248 с.
3. Иголкин А.А., Сафин А.И., Макарьянц Г.М., Шахматов Е.В. Бесконтактная регистрация и анализ вибрации изделий машиностроения с помощью трехкомпонентного лазерного виброметра // Прикладная физика / АО «НПО Орион», Москва: 2013. №4. С. 49-53.
4. Allemand R. J. The modal assurance criterion (MAC): Twenty years of use and abuse // Sound and Vibration. 2003. V. 37, №. 8. P. 14-23.

Сведения об авторах

Иголкин А.А., д.т.н., профессор кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва. Область научных интересов: динамика и прочность машин, вибропрочность и виброакустика, численное моделирование,

Сафин А.И., к.т.н., доцент кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва. Область научных интересов: динамика и прочность машин, вибропрочность и виброакустика, численное моделирование.

Кузнецов А.В., соискатель, инженер кафедры автоматических систем энергетических установок Самарского национального исследовательского университета имени академика С. П. Королёва. Область научных интересов: динамика и прочность машин, вибропрочность и виброакустика, численное моделирование.

ANALYSIS OF EXPERIMENTAL TEST DATA OF THE TELESCOPE FRAME LAYOUT

Igolkin A.A., Safin A.I., Kuznetsov A.V.

Samara University, Samara, Russia

Keywords: vibrating tests, scanning vibrometer, modal analysis, validation, modal assurance criterion.

The report presents the results of a study of the dynamic characteristics of the design of the telescope frame layout of the spacecraft. A scanning laser vibrometer was used to obtain dynamic characteristics. The results of the experimental data were compared with the results of finite element modeling. The modal assurance criterion was used to assess the correspondence of the finite element model and the experiment. The main factors are indicated, due to which there are large discrepancies between the calculation and the experiment, and it is indicated that one of these factors is the correct choice of nodes of the finite element model corresponding to experimental points. As a first step, validation of the computational model, methods are proposed for selecting an unambiguous geometric correspondence between the nodes of the computational model and experimental points.