

Исследования влияния воздушной среды на динамические характеристики элемента солнечной батареи*

В.А. БЕРНС¹, В.Н. ЛУШИН¹, Д.А. МАРИНИН², О.Д. МОРОЗОВ¹, А.В. ДОЛГОПОЛОВ¹

¹ Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет

² Железногорск, ОАО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева

Важнейшей задачей создания современных информационных спутниковых систем является обеспечение их нормального функционирования в течение заданного срока службы. Составной частью исходных данных для разработки мероприятий по обеспечению бесперебойной эксплуатации систем являются результаты экспериментального модального анализа крупногабаритных трансформируемых объектов. Поскольку такой анализ производится в наземных условиях, то необходимо или исключить на время испытаний влияние факторов, присутствующих на Земле и отсутствующих в космосе, или иметь возможность оценивать это влияние. Здесь, в первую очередь, речь идет о таких факторах, как наличие силы гравитации и воздушной среды. Работа посвящена оценке влияния одного из указанных факторов – воздушной среды – на динамические характеристики одного из типов солнечных батарей. Для этой цели создана экспериментальная установка, позволяющая определять собственные частоты и декременты колебаний конструкций как в условиях воздушной среды, так и в вакууме (в барокамере). В статье приведены результаты исследования влияния воздушной среды на характеристики собственных тонов колебаний элемента солнечной батареи. Установлено, наличие воздуха приводит к росту декремента и снижению собственной частоты объекта испытаний, причем влияние воздушной среды возрастает с уменьшением частоты колебаний.

Ключевые слова: трансформируемые космические конструкции, срок эксплуатации, нормальное функционирование, собственная частота, декремент колебаний, экспериментальная установка, солнечная батарея, полномасштабный макет, экспериментальный модальный анализ, барокамера, влияние воздушной среды.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей создания современных информационных спутниковых систем является обеспечение их нормального функционирования в течение заданного срока службы. Составной частью исходных данных для разработки мероприятий по обеспечению бесперебойной эксплуатации систем являются результаты экспериментального модального анализа крупногабаритных трансформируемых объектов. Поскольку такой анализ производится в наземных условиях, то необходимо или исключить на время испытаний влияние факторов, присутствующих на Земле и отсутствующих в космосе, или иметь возможность оценивать это влияние. Здесь, в первую очередь, речь идет о таких факторах, как наличие силы гравитации и воздушной среды.

Настоящая работа посвящена оценке влияния одного из указанных факторов – воздушной среды – на динамические характеристики одного из типов солнечных батарей. Для этой цели создана экспериментальная установка, позволяющая определять собственные частоты и декременты колебаний конструкций как в условиях воздушной среды, так и в вакууме (в барокамере).

Влияние воздушной среды на собственные частоты, формы и декременты собственных колебаний конструкций зависит от большого числа факторов [1]. К ним относятся частота колебаний, амплитуда колебаний, габариты изделия (масштабный фактор), форма вида в плане и конфигурация торцевых частей, особенности конструкции изделия и качество его покрытия

* Статья получена 27 декабря 2013 г.

и т. д. Поэтому данную работу следует рассматривать как источник информации о влиянии воздуха на динамические характеристики одного из элементов крупногабаритных трансформируемых космических конструкций.

1. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

При проектировании экспериментальной установки учитывались следующие требования:

- собственные частоты и декременты колебаний объекта испытаний необходимо определять как при наличии воздушной среды, так и в вакууме (в условиях барокамеры);

- при проведении испытаний в вакууме возбуждение и измерение колебаний, а также управление параметрами самой установки должно производиться дистанционно через штатные электрические разъемы барокамеры;

- необходимо предусмотреть возможность оценки влияния воздушной среды на собственные частоты и декременты объекта испытаний при различных амплитудах и частотах колебаний;

- изменения собственных частот и декрементов колебаний исследуемой системы вследствие влияния воздушной среды могут иметь небольшие величины, поэтому в конструкции как объекта исследований, так и экспериментальной установки необходимо свести к минимуму конструктивное демпфирование, сухое трение, а также устранить причины нелинейности колебаний (люфты и трение в соединениях, нелинейное деформирование упругих элементов и т. д.);

- так как изучаемое явление зависит от большого числа различных факторов, то необходимо также исключить влияние таких параметров, которые не являются характерными для объекта испытаний. Например, с целью исключения влияния системы возбуждения вынужденных колебаний на результаты исследований, в экспериментах воспроизводились свободные затухающие колебания вращения объекта как жесткого тела (частота свободных колебаний отождествлялась с собственной частотой). Для уменьшения влияния сил тяжести на результаты эксперимента ось вращения объекта располагалась вертикально;

- расстояния от объекта испытаний до элементов конструкции установки должны быть такими, чтобы на течения воздуха, возникающие при колебаниях объекта, не влияли границы воздушной среды.

В состав экспериментальной установки входят: объект испытаний; каркас установки; система управления параметрами жесткости объекта испытаний; система возбуждения свободных затухающих колебаний; система измерений колебаний и первичной обработки результатов экспериментов.

На рис. 1 представлен общий вид экспериментальной установки с указанием габаритных размеров.

В качестве объекта испытаний выступал полногабаритный макет одного из видов панелей солнечной батареи. Поскольку исследования планировались в широком диапазоне собственных частот колебаний, то для этой цели макет имел минимально возможные массово-инерционные характеристики при сохранении высокой жесткости.

Для того чтобы экспериментальная установка не оказывала влияния на динамические характеристики объекта испытаний, ее каркас был выполнен в виде пирамиды ферменной конструкции, сваренной из стальных труб. Затем был проведен экспериментальный модальный анализ полностью собранной установки совместно с макетом панели солнечной батареи, который показал, что собственная частота низшего тона упругих колебаний объекта испытаний составляет 14,7 Гц, а собственные частоты каркаса установки превышают 47,7 Гц. Поэтому, используя результаты работы [2], исследования влияния воздуха производились в частотном диапазоне до 5 Гц.

Упругие свойства макета как жесткого тела воспроизводились имитатором жесткости, показанным на рис. 2.

Для обеспечения различных собственных частот объекта испытаний имитатор жесткости имеет переменную жесткость: он выполнен в виде серии последовательно расположенных

крестообразных элементов с упругими пластинами разной длины и толщины. Для изменения собственной частоты системы часть упругих элементов имитатора жесткости блокируются коническими фиксаторами относительно жесткого основания. Управление фиксаторами осуществляется при помощи электромагнитов по команде с пульта управления установкой.

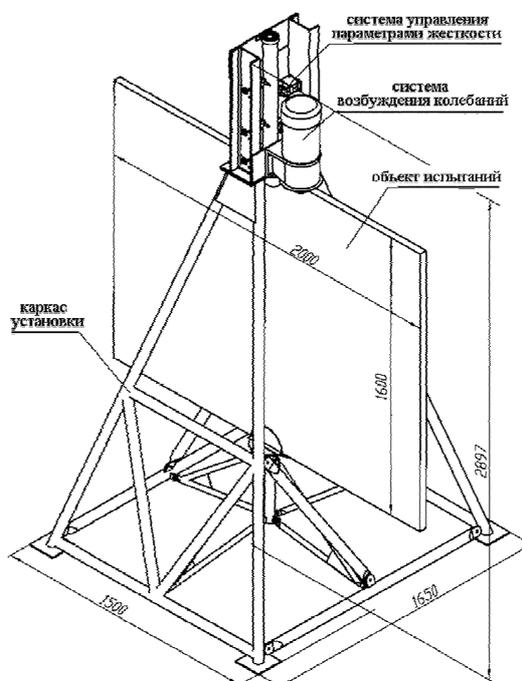


Рис. 1. Общий вид экспериментальной установки

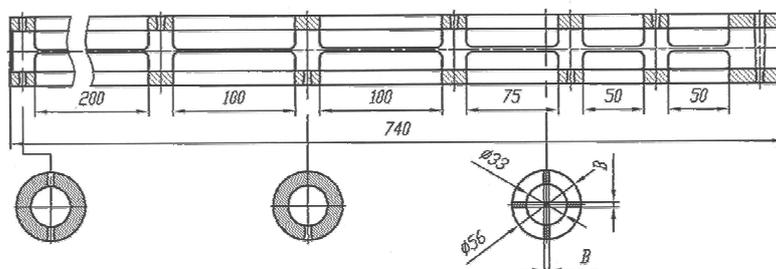


Рис. 2. Имитатор жесткости

Чтобы свести к минимуму конструктивное демпфирование, сухое трение и другие воздействия крепления объекта испытаний, макет закреплен на упругом подвесе (имитаторе жесткости) и сферическом подшипнике малого диаметра.

На пластины имитатора жесткости наклеены тензодатчики, с помощью которых производится измерение процесса свободных затухающих колебаний. Такая конструкция упругого элемента позволяет, при высокой чувствительности к крутящему моменту, иметь высокую жесткость на изгиб, что исключает влияние деформаций изгиба на измеряемый сигнал тензодатчика.

Режим свободных затухающих колебаний макета осуществляется выведением его из положения равновесия при помощи кулачка. Вращение кулачка осуществляется мотор-редуктором по команде с пульта управления.

2. МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

Для исследования влияния воздушной среды на собственные частоты и демпфирование колебаний макета элемента солнечной батареи были проведены две серии испытаний: одна серия на воздухе, другая – в барокамере. Каждая серия состояла из шести опытов, отличающихся друг от друга жесткостью имитатора жесткости (частота свободных колебаний макета менялась от 0,7 Гц до 4 Гц). Каждый опыт повторялся семь раз.

Собственные частоты и декременты объекта испытаний определялись по свободным затухающим колебаниям, которые фиксировались тензодатчиками. Датчики опрашивались с частотой дискретизации 1024 Гц. Процесс затухающих колебаний сглаживался методом Ланцоша с помощью рядов Фурье [3, 4].

На рис. 3 и рис. 4 представлены характерные амплитудные зависимости декремента колебаний δ и собственной частоты f макета солнечной батареи для одного из вариантов упругости имитатора жесткости. Зависимости получены по результатам испытаний как в воздушной среде (рис. 3, а; рис. 4, а), так и в вакууме (рис. 3, б; рис. 4, б). В качестве амплитуды колебаний A принята амплитуда сигнала тензодатчика.

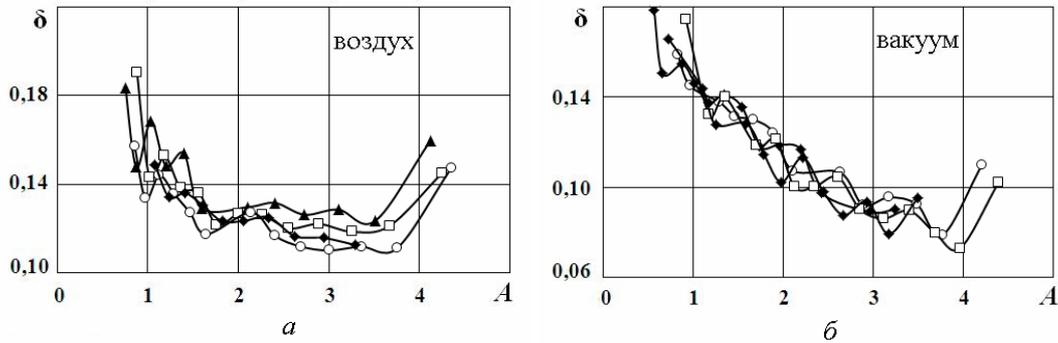


Рис. 3. Зависимость декремента от амплитуды колебаний

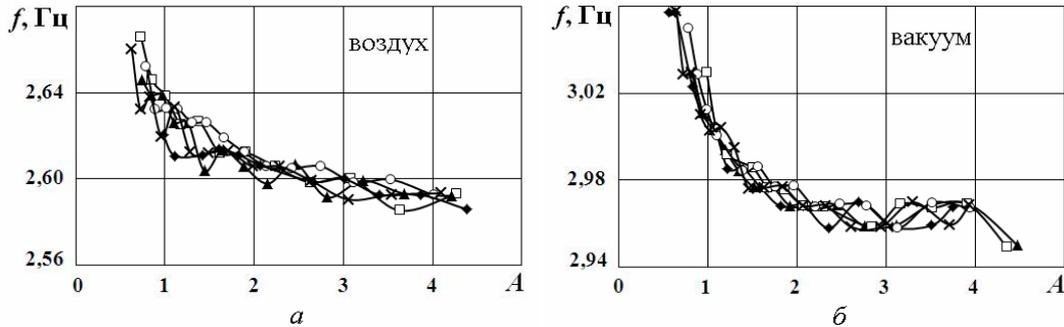


Рис. 4. Зависимость собственной частоты от амплитуды колебаний

Влияние воздушной среды на собственные частоты и демпфирование колебаний макета солнечной батареи в исследуемом диапазоне частот иллюстрирует рис. 5. Здесь \bar{c} – относительная жесткость имитатора жесткости; \bar{f} – отношение собственной частоты в вакууме к собственной частоте в воздушной среде, а $\bar{\delta}$ – отношение декремента колебаний в воздушной среде к декременту колебаний в вакууме. Относительная частота \bar{f} и относительный декремент колебаний $\bar{\delta}$ для каждого варианта жесткости \bar{c} соответствуют одинаковой амплитуде колебаний.

Из представленных результатов следует, что наличие воздуха приводит к росту декремента и снижению собственной частоты объекта испытаний, причем влияние воздушной среды возрастает с уменьшением частоты колебаний (рис. 5).

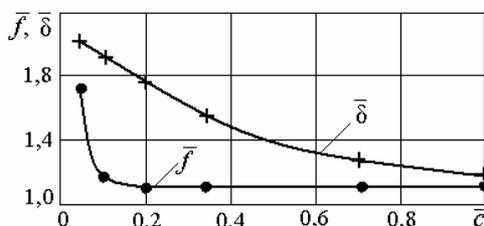


Рис. 5. Влияние воздушной среды в зависимости от жесткости упругого элемента

Следует отметить, что изменение декремента колебаний осуществляется монотонно, а рост собственной частоты происходит практически скачкообразно в диапазоне частот до 1 Гц.

ВЫВОДЫ

Полученные в работе результаты экспериментальных исследований показали, что для элемента солнечной батареи влияние воздуха на собственные частоты и демпфирование колебаний вращения в диапазоне частот от 0,7 Гц до 4,0 Гц увеличивается с уменьшением собственной частоты и достигает 70 % для собственной частоты и 100 % для декремента колебаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белоцерковский С.М. Крыло в нестационарном потоке газа / С.М. Белоцерковский, Б.К. Скрипач, В.Г. Табачников. – М.: Наука, 1971. – 768 с.
- [2] Бернс В.А. Погрешности определения характеристик собственных тонов при близких собственных частотах / В.А. Бернс // Контроль. Диагностика. – 2011. – № 3 (153). – С. 12–16.
- [3] Бернс В.А. Использование рядов Фурье в обработке результатов резонансных испытаний / В.А. Бернс, А.В. Долгополов // Научный вестник НГТУ. – 2010. № 4 (41). – С. 135–139.
- [4] Ланцош К. Практические методы прикладного анализа / К. Ланцош. – М.: Физматгиз, 1961. – 524 с.

REFERENCES

- [1] Belotserkovskii S.M., Skripach B.K., Tabachnikov V.G. Krylo v nestatsionarnom potoke gaza [The wing in a non-stationary gas flow]. Moscow, Nauka, 1971, 768 p.
- [2] Berns V.A. Pogreshnosti opredeleniia kharakteristik sobstvennykh tonov pri blizkikh sobstvennykh chastotakh [Errors in the definition of eigen tones characteristics in close natural frequencies]. Kontrol'. Diagnostika, 2011, no. 3 (153), pp. 12–16.
- [3] Berns V.A., Dolgopolov A.V. Ispol'zovanie riadov Fur'e v obrabotke rezul'tatov rezonansnykh ispytanii [Use the rows Furie in processing results resonance test]. Nauchnyj vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tehniceskogo universiteta, 2010, no. (41), pp. 135–139.
- [4] Lanczos C. Applied Analysis. Prentice Hall, Inc., 1956. 524 p. (Russ. ed.: Lantsosh K. Prakticheskie metody prikladnogo analiza. Moscow, Fizmatgiz, 1961, 524 p.

Бернс Владимир Андреевич, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры прочности летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – динамика и прочность летательных аппаратов. Имеет более 80 публикаций, в том числе 2 монографии, 5 учебных пособий. E-mail: v.berns@yandex.ru, т. (383) 214–93–62.

Лушин Виктор Николаевич, старший научный сотрудник кафедры прочности летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – динамика и прочность летательных аппаратов. E-mail: lushin.victor@yandex.ru, т. (383) 346–31–21.

Маринин Дмитрий Александрович, начальник отдела ОАО Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнева. Основное направление научных исследований – динамика и прочность летательных аппаратов. E-mail: marinin_dmitry@mail.ru.

Морозов Олег Дмитриевич, инженер кафедры прочности летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – динамика и прочность летательных аппаратов. E-mail: fla@craft.nstu.ru

Долгополов Антон Валерьевич, аспирант кафедры прочности летательных аппаратов Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – динамика и прочность летательных аппаратов. Имеет 5 публикаций. E-mail: dolganton@yandex.ru.

V.A. Berns, V.N. Lushin, D.A. Marinin, O.D. Morozov, A.V. Dolgopolov

Researches of the air influence on dynamic characteristics of the solar battery element

The most important problem of modern informational satellite systems creation is their normal operation during the preplanned service life. The component parts for ensuring uninterrupted operation of systems are results of the experimental modal analysis of large-size transformed objects. As such analysis is carry out in ground conditions, it is necessary to exclude influence of the factors which are present on Earth and missing in space, or to have the opportunity to estimate this influence. At this point it is a question of such factors, as the air environment and existence of gravity force.

This paper is devoted to influence assessment one of the specified factors – the air – on dynamic characteristics one of solar batteries types. For this purpose the experimental unit, allowing to determine eigenfrequency and damping ratio of structures in the air conditions and vacuum (in a chamber) is created. The research results of the air influence to eigentones characteristics of the solar battery element are given in article. It is established, availability of the air leads to damping ratio growth and decrease in eigenfrequency unit under test, and the air influence increases with oscillation frequency reduction.

Key words: transformed space structure, service life, normal operation, eigenfrequency, damping ratio, experimental unit, solar battery, full-scale model, experimental modal analysis, chamber, air influence.