

УДК 629.73.018

Определение динамических характеристик низкочастотной и слабодемпфированной конструкции

Максимов Валентин Николаевич^(*)

1928d@mail.ru

Маринин Д.А.

marininda@iss-reshetnev.ru

Максимов Павел Николаевич

maksimovpn@iss-reshetnev.ru

Кондратьев К.В.

kondratevkv@iss-reshetnev.ru

АО «Информационные спутниковые системы» имени академика М.Ф. Решетнёва,
Железногорск, Россия

Аннотация. Предложен подход к решению актуальной проблемы испытаний ракетно-космической техники — обезвешивание конструкции при модальных испытаниях. Рассмотрена обоснованность проведения модальных испытаний и результаты, которые они способны дать. Представлена система, используемая и разработанная в АО «РЕШЕТНЁВ», способная обеспечить минимизацию влияния испытательной оснастки на объект за счет исключения паразитной жесткости и демпфирования. Получены практические результаты при применении данной оснастки в модальных испытаниях. Проведен анализ данных результатов и вынесено заключение об адекватности ее использования.

Ключевые слова: модальные испытания МУ БС, система компенсации веса на воздушной смазке, низкая собственная частота

Введение. Современные космические аппараты — это сложные инженерные системы, функционирующие в условиях интенсивных вибро-акустических нагрузок. Критически важным аспектом проектирования является учет резонансных свойств конструкции: совпадение собственных частот с внешними воздействиями способно вызвать резонанс, многократно усилить колебания и привести к частичной или полной потере управляемости. Отдельного внимания требует динамика раскрытия и ориентации солнечных батарей, поскольку возникающие при этом колебания могут нарушить стабильность аппарата и снизить эффективность его работы.

Для повышения надежности космических систем широко используются САЕ-технологии (Computer-Aided Engineering), позволяющие создавать детальные конечно-элементные модели и выполнять виртуальные прочностные расчеты. Однако точность таких моделей требует обязательного экспериментального подтверждения. Ключевую роль в процессе валидации играет модальный анализ — метод, который позволяет идентифицировать собственные частоты, формы колебаний и уровень демпфирования конструкции [1–4]. Полученные натурные данные необходимы для достоверной оценки динамических характеристик аппарата.

Методы и материалы; результаты. Для проведения модальных испытаний применяется специализированный комплекс оборудования, включающий системы разгрузки [5], возбуждения и регистрации колебаний. В АО «РЕ-

ШЕТНЁВ» используется оригинальная технология на основе пассивных аэростатических опор скольжения, которые минимизируют влияние испытательной оснастки на объект за счет исключения паразитной жесткости и демпфирования. Этот подход обеспечивает высокую достоверность результатов и позволяет выполнять корректное сопоставление экспериментальных данных с расчетными моделями.

В ходе испытаний крыла солнечной батареи было зафиксировано девять собственных форм колебаний, получены сравнительные данные первых трех мод, численного и экспериментального анализа.

Заключение. Сравнительный анализ экспериментальных и расчетных данных выявил высокую степень соответствия собственных форм колебаний. Что касается частот, максимальное отклонение не превышает 3 %. Указанное расхождение является незначительным, что свидетельствует о высокой адекватности конечно-элементной модели в описании динамических характеристик конструкции. Таким образом, оснастка подтвердила свою работоспособность, и в дальнейшем будет применяться в испытаниях.

Список источников

- [1] Avitabile P. *Modal Testing. A Practitioner's Guide*. Wiley, 2018, 547 p.
- [2] Завери К. *Анализ мод колебаний больших конструкций — системы с несколькими вибростендами*. Bruel & Kjer, 1985, 188 с.
- [3] Жуков Е.П., Маленкова В.В., Маринин Д.А., Бернс В.А. Способ идентификации параметров собственных тонов колебаний по результатам модальных испытаний. *XIV Королёвские чтения. Междунар. молодежная науч. конф.: сб. тр.* Самара, Изд-во Самарского университета, 2017, т. 1, с. 94–95.
- [4] Микишев Г.Н., Пронин Н.Д., Швейко Ю.Ю. Оценка эффективности некоторых экспериментальных методов определения основных динамических характеристик упругих конструкций. *Исследования по теории сооружений*, 1970, № 10, с. 85–100.
- [5] Максимов В.Н., Кондратьев К.В., Матюха Н.В., Максимов П.Н. Построение имитационной модели системы обезвешивания с использованием среды MATLAB Simulink. *Труды МАИ*, 2025, № 140, с. 1–26.