

Методика моделирования характеристики жёсткости спирального пружинного механизма стыковочного агрегата

Рассказов Ярослав Владимирович

В отечественных стыковочных механизмах (СтМ) для демпфирования кинетической энергии сближения космических аппаратов (КА) используются простые и надежные устройства – спиральные пружинные механизмы (ПМ), электромагнитные демпферы, фрикционные тормозы [1]. В конструкции спиральных ПМ традиционно применялись пружинные ленты (ПЛ) с постоянной толщиной и шириной, а также моментом сопротивления, мало изменяющимся по линейному закону в рабочем диапазоне угловых перемещений. Это объясняется, в первую очередь, тем, что для расчета конструкции ПМ такого класса, так называемых «пружинных двигателей», существуют хорошо отработанные инженерные методики, хотя и приближенные, но основанные на экспериментальных данных [2 – 4]. При проектировании перспективного периферийного СтМ возникла необходимость использования спирального ПМ с изменяющейся нелинейно по заданному закону характеристикой жесткости, которая может быть обеспечена переменной шириной ПЛ, работающей в режиме нагружения, отличным от часового механизма. Аналитические или приближенные инженерные методы расчета деформации таких сложных тел до настоящего времени отсутствовали. Поэтому актуальной задачей являлась разработка модели спирального ПМ с ПЛ переменной ширины.

Для расчёта деформации ПЛ переменной ширины в [5] был предложен способ ее компьютерного представления в виде новых, разработанных автором, цилиндрических конечных элементов (КЭ). В качестве исходных данных для такого расчёта используется, в том числе, исходная характерная форма ПЛ в ненагруженном состоянии, которая получается в результате её упруго-пластического заневоливания в процессе изготовления. В докладе представлено описание цилиндрического КЭ.

В [4] предложен графический способ построения исходной формы ПЛ, основанный на экспериментальных данных изгиба образцов для наиболее распространённых пружинных сплавов. Но в связи с изменением номенклатуры сплавов появилась необходимость организации нового исследования их свойств, которое потребовало специального, не имеющегося в наличии оборудования. Поэтому была разработана новая модель упруго-пластического заневоливания ПЛ [6], в которой она представлена в виде большого числа сегментов, для каждого из которых величина радиуса остаточной деформации определяется аналитически. Причем исходными данными в ней является диаграмма растяжения, а не изгиба образцов, что позволяет использовать типовые машины их растяжения (сжатия). В докладе представлена модель упруго-пластического заневоливания ПЛ.

Разработанная модель функционирования спирального ПМ с лентой переменной ширины представлена в работе [7]. Она объединяет в себе результаты работ [5,6]. То есть позволяет по геометрическим параметрам ПЛ (толщине, длине и зависимости ширины от расстояния, пройденного по ленте от внутренней её заделки на валу), физическим свойствам её материала (модулю Юнга и диаграмме растяжения) и параметрам ПМ (радиусу вала и барабана) определить характеристику жесткости. В неё не рассматриваются возможные межвитковые контакты – они учитываются через использование коэффициента качества (КПД спирального ПМ), определяемого экспериментально. Модель функционирования спирального ПМ представлена в докладе.

Разработан ряд программ для автоматизированного расчёта формы ленты и характеристики жёсткости спирального ПМ. Подтверждение работоспособности методик было выполнено путем сравнения результатов компьютерного моделирования с

результатами экспериментов [7, 8]. В докладе представлены результаты экспериментального подтверждения работоспособности моделей.

Литература

1. Сыромятников В.С. Стыковочные устройства космических аппаратов – М.: «Машиностроение», 1984 – 216 с.;
2. Пономарёв С.Д., Андреева Л.Е.. Расчет упругих элементов машин и приборов. – М.: «Машиностроение», 1980 – 327 с.;
- 3 Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / Под ред. Жестковой И.Н. – М.: «Машиностроение», 2001 – Т.3, 859 с.;
- 4 Гевондян Т.А. Пружинные двигатели. – М.: «Государственное издательство оборонной промышленности», 1956 – 368 с.;
- 5 Рассказов Я.В., Яскевич А.В. Использование цилиндрических конечных элементов в модели угловых деформаций спиральной пружинной ленты амортизатора стыковочного механизма // Космическая техника и технологии (ISSN 2308-7625) – №1, 2018, с.102-108;
- 6 Рассказов Я.В. Модель упруго-пластического заневоливания ленты спирального пружинного механизма стыковочного агрегата // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технические науки» (ISSN 2071-6168) – №6, 2017, с.116-126;
- 7 Рассказов Я.В. Модель функционирования нелинейного спирального пружинного механизма стыковочного агрегата // Известия Тульского государственного университета. Серия «Технические науки» (ISSN 2071-6168) – №10, 2018, с.307-317;
- 8 Рассказов Я.В. Экспериментальная валидация модели упруго-пластического заневоливания ленты пружинного механизма стыковочного агрегата // Сборник трудов конференции «Высокие критические электро- и нанотехнологии – 2017» (19.12.17).