

КИНЕМАТИКО-ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СТЫКОВОЧНОГО МЕХАНИЗМА

Чернышев И. Е.

ОАО РКК «Энергия» им. С. П. Королева, г. Королёв, Московская область, Россия

Для механического соединения космических аппаратов применяются стыковочные механизмы центрального и периферийного типов [1]. В настоящее время в космических полетах используются российские и китайские периферийные стыковочные механизмы, которые ограничивают относительное движение и самого механизма и космических аппаратов за счет дифференциальных связей и внутренних механических упоров в элементах амортизации.

Существенным недостатком таких механизмов является их значительная конструктивная сложность. При использовании в многоразовых космических кораблях этот фактор не имел большого значения, однако в новых космических программах предусматривается использование только одноразовых кораблей относительно небольшой массы (до 25 тонн) симметричных относительно своей продольной оси (оси сближения). Поэтому актуальной является задача разработки более простой конструкции периферийного стыковочного механизма при сохранении его надежности, основанной на использовании пассивной механической системы амортизации.

Отталкиваясь от опыта, полученного при разработке систем стыковки для программы «Союз-Аполлон» [2], сотрудниками ОАО «РКК «Энергия» Е. Г. Бобровым и А. В. Яскевичем была предложена кинематическая схема периферийного стыковочного механизма без дифференциальных связей. Из-за отсутствия дифференциальных связей и внутренних механических упоров ограничение рабочего пространства такого механизма в общем случае не гарантировано и может быть обеспечено подбором его геометрических и силовых параметров для определенного диапазона начальных условий стыковки.

В настоящее время разрабатывается автоматизированная методика целенаправленного выбора таких параметров. В ее основе лежит математическая кинематико-геометрическая модель стыковочного механизма, рассматриваемая в данной работе.

Кинематико-геометрическая модель является результатом комбинации кинематической и контактной (геометрической) моделей и воспроизводит движение стыковочного механизма на этапах сцепки, поглощения энергии относительного движения и стягивания космических аппаратов, поскольку именно на этих этапах механизм совершает наибольшие отклонения от своего исходного положения и испытывает максимальные нагрузки. И именно на этих этапах возможен нежелательный контакт звеньев стыковочного механизма между собой.

Одним из основных критериев выбора параметров стыковочного механизма является отсутствие в его рабочем пространстве контактов звеньев. Кинематико-геометрическая модель решает задачу их нахождения. Для этого контактная модель, отталкиваясь от данных о кинематических параметрах стыковочного механизма, находящегося в заданной конфигурации, рассчитывает точки возможного контакта звеньев (при этом учитывается их форма и объем).

Кинематическая модель оперирует только линейными и угловыми перемещениями, при этом решается обратная кинематическая задача, поскольку на указанных выше, этапах стыковки ведущим звеном считается стыковочное кольцо. Для расчета кинематических параметров используется «каркасная» модель, т.е. описание конструкции и конфигурации стыковочного механизма через относительные положения систем координат его звеньев.

Контактная модель предназначена для определения точек контакта звеньев стыковочного механизма. Принципы моделирования контактного взаимодействия подробно рассмотрены в [3]. Тремя основными отличиями от указанных принципов при

разработке контактной модели для автоматизированной методики выбора параметров периферийного стыковочного механизма явились:

1. Аналитические выражения для условий и геометрических параметров контакта разработаны для произвольного относительного положения звеньев. При этом геометрические размеры звеньев задаются параметрически.

2. Введен новый тип контактного взаимодействия «цилиндр-цилиндр». Для цилиндрических объектов (поршни и цилиндры штанг, тросы системы стягивания), имеющих возможность контактировать между собой внешней поверхностью, предложен аналитический метод расчета условий и геометрических параметров контакта. Применение этого метода может быть расширено на тип контактного взаимодействия «отрезок-цилиндр».

3. Отсутствуют ограничения на величину максимального контактного внедрения.

Как следствие из отличий 1 и 3 возникает проблема нахождения геометрических параметров контакта стыковочного кольца и основания стыковочного механизма (при произвольном их относительном положении и больших величинах внедрения). Для решения контактной задачи поверхность кольца представляется набором отрезков, а основание – плоскостью стыка, цилиндрической поверхностью переходного тоннеля и ребром между тоннелем и плоскостью стыка. Контакт отрезка с каждым из этих геометрических примитивов отличается точкой контакта, величиной внедрения и (в общем случае) направлением силы контактной реакции, но актуальным является только один набор этих параметров. Основным критерием, позволяющим сделать выбор между несколькими наборами, является величина внедрения: контактирует та пара примитивов, где его значение меньше.

Для каждого примитива (отрезка), моделирующего поверхность стыковочного кольца, определяется величина его внедрения в основание. Но только максимальное значение из полученного набора характеризует заданную конфигурацию периферийного стыковочного механизма с точки зрения контактной ситуации, возникающей при взаимодействии стыковочного кольца и основания. Максимальное значение внедрения из рассчитанных для всех звеньев характеризует данную конфигурацию механизма, а максимальное, найденное для всего рабочего пространства – набор параметров данного стыковочного механизма.

Кинематико-геометрическая модель периферийного стыковочного механизма позволяет учитывать объем и форму его звеньев, позволяет производить анализ влияния выбранного параметра (или группы параметров) на контактную ситуацию на этапах сцепки, демпфирования относительного движения и стягивания космических аппаратов.

Объединение кинематико-геометрической модели с алгоритмом перебора его конфигураций позволяет определять характеристики стыковочного механизма во всем рабочем пространстве. При этом в качестве ограничений могут служить как кинематические параметры, так и контактная ситуация.

Работа кинематико-геометрической модели является одним из этапов целенаправленного выбора параметров периферийного стыковочного механизма, которые обеспечивают ограничение его движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. С. Сыромятников Стыковочные устройства космических аппаратов. – М.: Машиностроение, 1984. С. 8–46. С. 57–72.
2. В. С. Сыромятников Стыковочные устройства космических аппаратов. С. 40–42.
3. А. В. Яскевич Математические модели контактного взаимодействия при стыковке космических аппаратов. – В сб. «Избранные труды Международной конференции по механике «6-е Поляховские чтения», Санкт-Петербург, 31 января – 3 февраля 2012 г.», в печати (точные выходные данные будут известны в начале июля).