

РАЗРАБОТКА УПРОЩЕННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОРИЕНТИРУЮЩИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

А. Ю. Петрова, И. Н. Тутух

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф.Устинова

К ориентирующим системам космического назначения относятся платформы точного наведения, представляющие собой манипуляторы орбитального базирования. Точность отработки программной траектории при внешних возмущениях зависит как от приводных модулей, включающих электродвигатели, редуктора, претензионные опоры, транзитные кабели, датчики линейных и угловых смещений, так и от жесткостных и инерционных характеристик элементов платформы и размещенной на ней полезной нагрузки. Построение конечномерных моделей с последующим расчетным анализом частот и форм колебаний системы «платформа-полезная нагрузка» является важнейшей частью расчетно-теоретических методов проектирования ориентирующих систем космического назначения. Для моделирования поведения всего космического аппарата (КА) на эксплуатационные возмущения требуется построение полной расчетной модели, отражающей геометрические, жесткостные, инерционные свойства КА, включая всю размещенную на борту нагрузку. Задача построения максимально упрощенной расчетной модели, отвечающей динамическим свойствам исходной полной дискретизации, иллюстрируется на примере двухосной платформы наведения (ДПН) «Монитор».

Установка ДПН «Монитор» предполагается на российском сегменте международной космической станции (МКС) для мониторинга ее состояния, поддержки работы космонавтов при внекорабельной деятельности, проведения научных исследований.

ДПН устанавливается на штанге, которая крепится к наружной поверхности корпуса служебного модуля МКС. Полезная нагрузка (ПН) (массой не более 65кг) включает в себя приборы и гермоблок с телеаппаратурой.

В состав ДПН входят (рис.1): блоки электромеханических приводов со встроенными датчиками углов поворота и управляемыми тормозами, обеспечивающие разворот и удержание ПН вокруг двух взаимно перпендикулярных осей α 1 и β 2; кронштейн крепления ПН со стыковочной панелью 3; отсек блоков электроники с активной частью системы обеспечения теплового режима 4; переходной угольник 5; кабельная сеть.

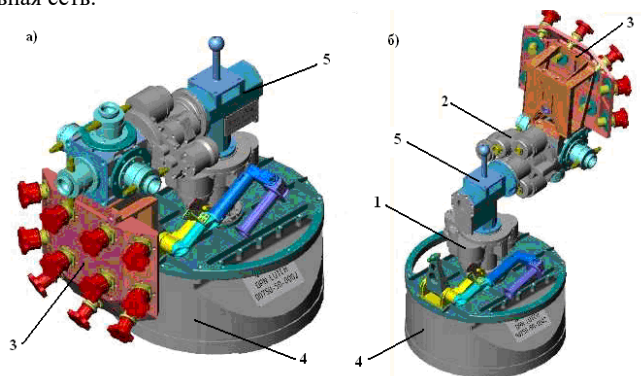


Рис. 1. ДПН в транспортном (а) и рабочем (б) положении

Полная динамическая расчетная модель включает в себя модели всех узлов платформы ниже основание, на котором закреплены опорный стакан с подшипниками для вращения поворотной втулки, втулку, два двигателя, тормоз, два датчика угла поворота, узел крепления шестерни, шестерню и крышку. Соединение приводов α и β осуществляется через угловой элемент. Полезная нагрузка в виде сосредоточенной массы закреплена на кронштейне. При конечномерной дискретизации использованы балочно-оболочечные элементы. Учет зацепления шестерен осуществляется введением в узлы контакта дополнительных степеней свободы, обеспечивающих их независимое вращение. Все характеристики моделей соответствуют конструкторской документации. Модели трехмерны и позволяют определять перемещения всех узлов при произвольном кинематическом или силовом воздействии со стороны КА.

Расчетное определение собственных частот и форм колебаний на базе конечномерных моделей, полностью отвечающих геометрическим, жесткостным и инерционным свойствам реальной конструкции, - важная часть динамического анализа объекта. Упрощенная модель, идентичная по низшим частотам и модам собственных колебаний и содержащая минимально необходимое для этого число степеней свободы, служит для моделирования отклика всего КА на эксплуатационные возмущения.

При пространственной триангуляции ДПН использован 1191 балочно-оболочечный элемент и задействовано 3014 степеней свободы. В конечномерную модель введена реальная крутильная жесткость приводов α и β , найденная на основании натурного эксперимента и учитывающая микролюфты и податливости зубчатых пар. Расчет собственных частот и форм проводился методом обратных итераций.

Внешний вид полной расчетной модели и низшие моды собственных колебаний показаны на рис.2. Первая частота 8,38гц связана с изгибными колебаниями отсека блоков электроники относительно оси k . Частоте 8,70гц отвечает изгиб отсека блоков электроники относительно оси i и кручение (в основном) привода α . Третьей моде (на частоте 17,17гц) соответствуют изгибные колебания отсека блоков электроники и переходного угольника относительно оси k .

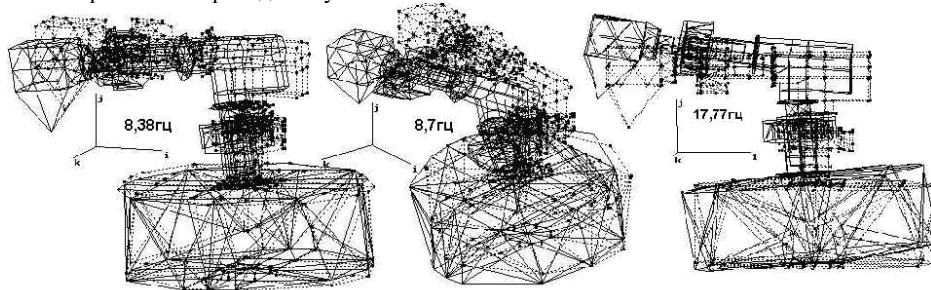


Рис. 2. Нижние частоты и формы собственных колебаний ДПН

Построение упрощенной динамической модели ДПН (рис.3) осуществлялось следующим образом.

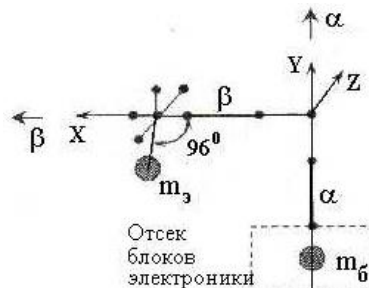


Рис.3. Упрощенная динамическая модель ДПН.

Из полной расчетной триангуляции выделялись отдельные самостоятельные узлы: привода α и β , переходной угольник, отсек блоков электроники и кронштейн крепления ПН. Используемые в упрощенной модели элементы представлялись в виде стержней, однородных по всей длине и соединенных между собой в узловых точках. Массы приборов, установленных в отсеке блоков электроники, (m_6) и стыковочной панели (m_3) учтены в качестве сосредоточенных.

Адекватность полной и упрощенной, содержащей 12 элементов и 72 обобщенных степени свободы, динамических моделей достигается соответствием жесткостных и инерционно-массовых характеристик рассматриваемых элементов и узлов и подтверждается совпадением полученных результатов. Так, найденные по упрощенной расчетной схеме значения трех низших собственных частот составили: 8,37; 8,70; 17,83гц при совпадении соответствующих форм колебаний.

Предложенная методика разработки упрощенных динамических моделей также может быть использована при анализе динамического поведения сложных технических систем, действующих в различных областях техники.