

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНСПОРТНЫХ И ОРИЕНТИРУЮЩИХ СИСТЕМ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Маленков М. И., Титух И. Н.

ОАО "ВНИИТрансмаш", БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова,
г. Санкт-Петербург, Россия,
malenkovest@mail.lanck.net

Введение

Транспортные (планетоходы) и ориентирующие (бортовые поворотные платформы) системы космического назначения служат различным целям. Различны также задачи и методы расчета их динамических характеристик на разных этапах отработки и эксплуатации: при наземных испытаниях на специальных стендах, при доставке на орбиту или поверхность небесного тела и при работе в штатных условиях.

Рассматриваемые системы обладают некоторыми общими свойствами, обусловленными идентичностью условий эксплуатации в невесомости или слабых гравитационных полях Луны, Марса и других небесных тел; идентичностью методов наземной отработки и подходов к проектированию механизмов и приводов. Общность свойств ставит и некоторые общие задачи динамического анализа, в то же время, каждому конкретному объекту ввиду оригинальности конструкции присущи характерные особенности, приводящие к индивидуальным методическим подходам и расчетным моделям [1].

Отработанные методы математического моделирования рассматриваются на примере анализа динамических характеристик трехосной стабилизированной платформы (ТСП) научного комплекса «Аргус» проекта «Марс 96», двухосной платформы наведения (ДПН) «Монитор» для международной космической станции (МКС) и демонстратора марсохода международного проекта IARES.

Два из названных объектов были созданы в ОАО "ВНИИТрансмаш" в последнее десятилетие XX века, ДПН "Монитор" находится в стадии разработки. Заказчиком ТСП "Аргус" являлся Институт космических исследований РАН, ДПН "Монитор"- РКК "Энергия", самоходное автоматическое шасси марсохода IARES было создано по заказу Французского космического агентства. Большую роль в создании ТСП «Аргус» и демонстратора «IARES» и разработке современных методов их расчета сыграли главные конструкторы этих изделий Г. А. Пейсахович (1938–1997) и В. К. Мишкинюк (1938–1998), а также заведующий кафедрой сопромата БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова С.И. Арсеньев (1947–2003).

Реализация всех перечисленных комплексных проектов потребовала привлечения больших коллективов исследователей и разработчиков, широкой научной и производственной кооперации. Динамические характеристики сложных механических структур во всех проектах исследовались на кафедре деформируемого твердого тела БГТУ "Военмех" им. Д. Ф. Устинова по техническим заданиям и в тесном взаимодействии с разработчиками и испытателями, что позволило создать большой научный задел, методическое и программное обеспечение, накопить проверенный результатами испытаний практический опыт решения сложных динамических задач.

ТСП «Аргус»

ТСП Аргус предназначалась для обеспечения съемки поверхности Марса стерео-спектрометрическим комплексом, включавшим инфракрасный спектрометр, стерео-камеру высокого разрешения и широкоугольную камеру. Задачей платформы было создание комфортных условий для работы указанных камер и направление оси их визирования в Надир. Использование комплекса должно было позволить получить карту Марса и провести многозональную съемку его участков.

Внешний вид конструкции и разработанные расчетные модели приведены на рис.1,2.

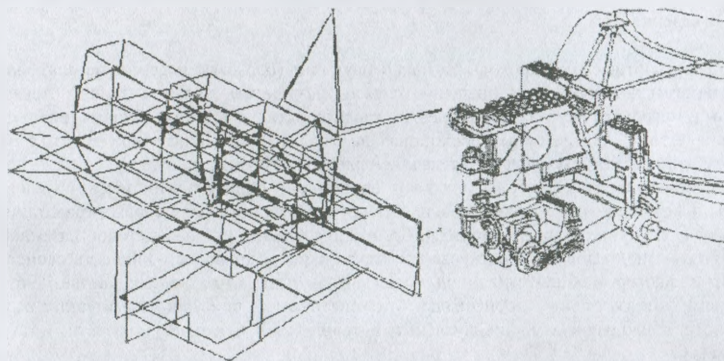


Рис.1. Внешний вид конструкции в транспортном положении и конечное моделирование ее отклика на вибровозбуждение.

При математическом моделировании исследовались частоты и моды колебаний объекта в транспортном и рабочем положении. Для транспортного положения моделировался отклик на вибрационные и ударные возмущения, строилась амплитудно-частотная характеристика, определялся уровень локальных динамических усилий на отдельные узлы с последующим их расчетом на прочность ([2]).

Наличие конструктивных люфтов в механизме фиксации платформы учитывалось введением переменных граничных условий и вело к варьированию временного шага при численном решении динамической задачи.

Одним из основных требований к конструкции ТСП «Аргус» являлось обеспечение высокой точности (несколько угловых минут) стабилизации и стабилизированного наведения в инерциальной системе координат во всех диапазонах углов поворота платформы при возмущениях КА ([3]). Таким образом, основной задачей численного моделирования в рабочем положении была имитация работы систем управления и стабилизации по трем приводам наведения, в результате чего определялись изменения линейных и угловых перемещений центров оптических приборов во времени при штатных возмущениях, сглаживаемых моментами на двигателях приводов.

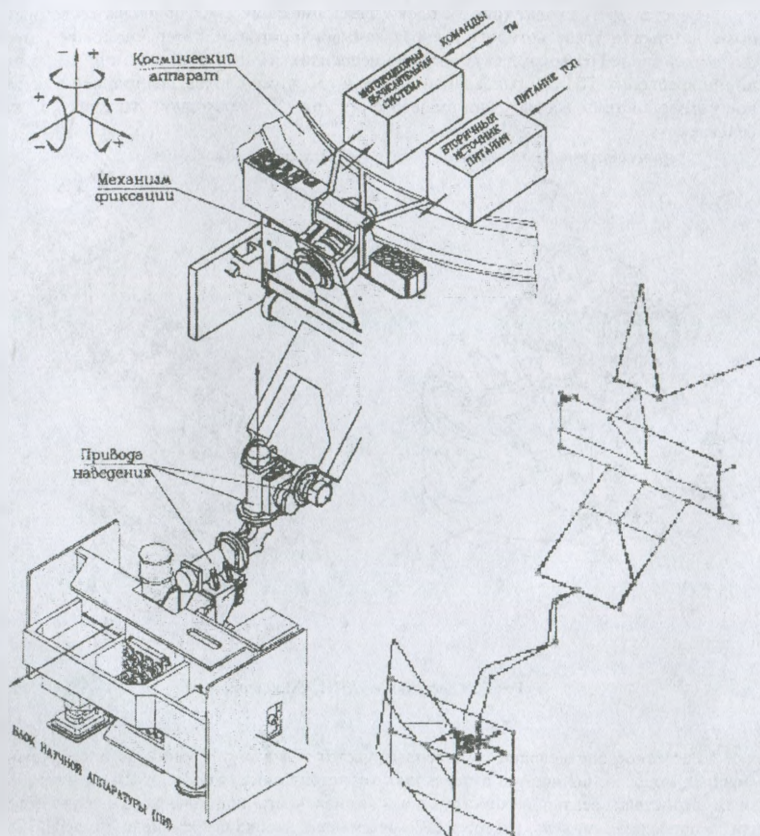


Рис.2. Внешний вид конструкции в рабочем положении и конечномерное моделирование ее отклика на штатное возмущение.

ДПН «Монитор»

Установка ДПН «Монитор» планируется 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 65 кг) включает в себя приборы и гермоблок с телеаппаратурой.

В состав ДПН входят (рис.3): блоки электромеханических приводов со встроенными датчиками углов поворота и управляемыми тормозами, обеспечивающие разворот и удержание ПН вокруг двух взаимно перпендикулярных осей α 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.

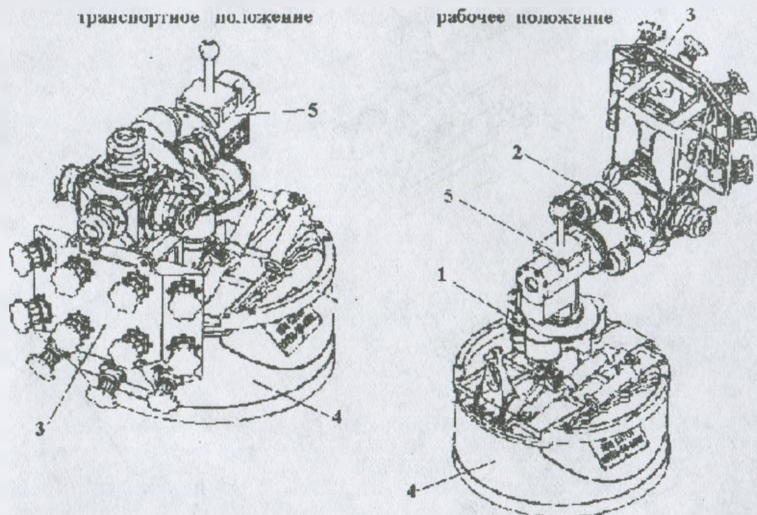


Рис.3. Конструкция ДПН «Монитор».

Расчетное определение собственных частот и форм колебаний на базе конечно-мерных моделей, полностью отвечающих геометрическим, жесткостным и инерционным свойствам реальной конструкции, - важная часть динамического анализа объекта. Упрощенная модель, содержащая минимально необходимое 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 натурального 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.3. 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 .

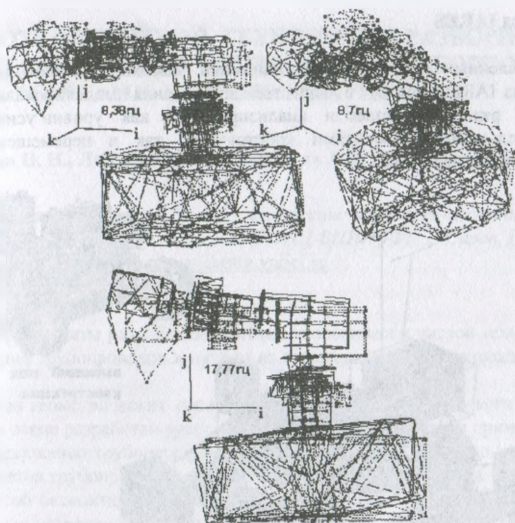


Рис.4. Низшие собственные частоты и моды колебаний объекта.

Построение упрощенной динамической модели ДПН (рис.5) осуществлялось следующим образом. Из полной расчетной триангуляции выделялись отдельные самостоятельные узлы: привода α и β , переходной угольник, отсек блоков электроники и кронштейн крепления ПИ. 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.



Рис.5. Упрощенная динамическая модель ДПН.

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; 17,83 Гц.

Марсоход IARES

При численных исследованиях динамики самоходного автоматического шасси марсохода IARES в качестве возмущения моделировались встречи с препятствиями различных колес и анализировались как уровни усилий, воспринимаемых отдельными элементами конструкции, так и перемещения условных центров блоков аппаратуры.

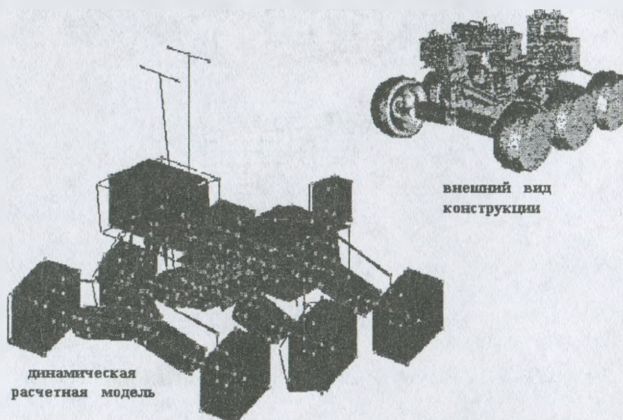


Рис. 6. Облик и конечномерная расчетная модель марсохода IARES.

Заключение

Таким образом, на конкретных примерах продемонстрировано решение задач расчетного анализа динамических характеристик транспортных и ориентирующих систем космического назначения, каковые могут быть систематизированы как:

определение частот и мод собственных колебаний;

построение упрощенных динамических схем, необходимых при моделировании отклика всего космического аппарата на эксплуатационные возмущения;

исследование динамического поведения объекта при штатных вибрационных и ударных воздействиях;

нахождение локальных динамических усилий, служащих входными данными для прочностных расчетов наиболее ответственных узлов.

Список литературы

1. Маленков М.И. Особенности современных разработок по космической робототехнике. Труды IX конференции «Экстремальная робототехника», СПб, 1996.
2. Титух И.Н. Расчет зон пластических деформаций механизма фиксации трехстепенной стабилизируемой платформы проекта «Марс 96». Отечественная и зарубежная техника, Вып. 1(158), 2(159), СПб, 1995.
3. Malenkov M., Fedoseev S., Avanesov G., Zubenko G. The Stabilized Platform of Mars-96 Mission. 6-th Int. Conf. Space 98 and Robotics, 98. Albuquerque, USA, 1998.