

The background features a dark space scene. A large, blue and white Earth is the central focus, surrounded by several glowing, concentric orbital paths. In the upper right, a bright sun or star is visible. The bottom left corner shows a close-up of a grey, cratered planet surface, likely the Moon.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аспирант 3-го курса

АПЭПС ТЭФ

Косенко Александр Сергеевич

Руководитель

Гагарин Александр Александрович

- **Актуальность**

Сегодня исполнение космическими аппаратами (КА) возложенных на них заданий, как правило, связано с необходимостью целенаправленно менять траекторию движения с помощью исполнительных органов систем ориентации и двигательных установок. Такие направленные изменения траектории называют маневрами КА. Основными заданиями, связанными с маневрами КА являются: транспортное обеспечение, обслуживание и ремонт орбитальных станций, и других космических систем, проведение работ по утилизации космических отходов[1].

Основным подходом для изучения маневров КА является использование методов математического моделирования, применение которых позволяет получить практически важные результаты[2].

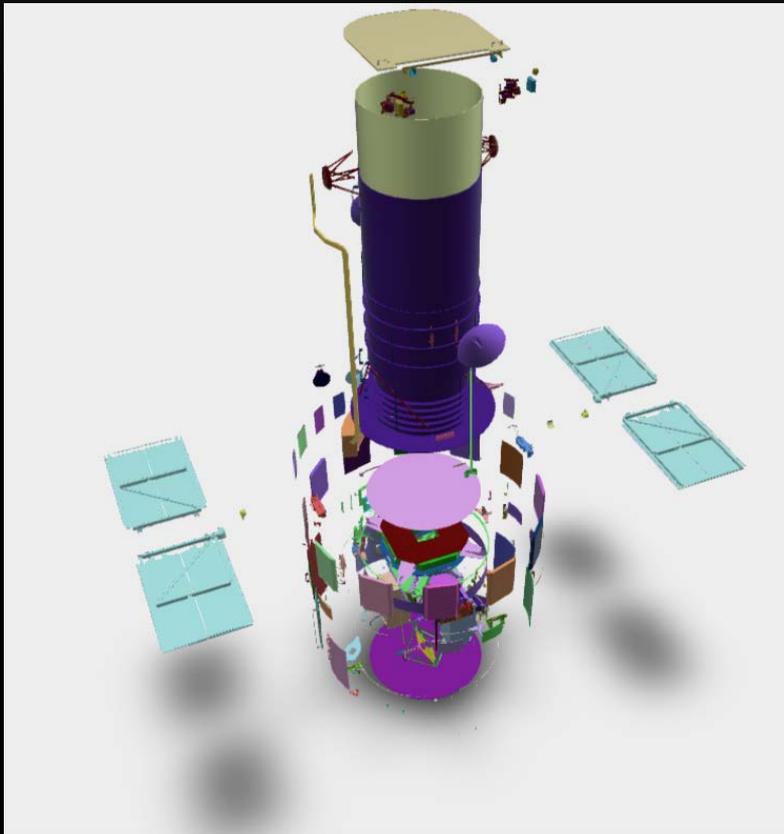
- **Объект исследования** – методы и средства компьютерного моделирования движения КА, параллельные вычислительные системы, параллельные численные методы интегрирования.
- **Предмет исследования** – являются программно-алгоритмические средства и методики моделирования и визуализации движения КА для параллельных вычислительных систем.

- **Цель работы:** разработка и исследование программного средства и методик для повышения скорости и точности моделирования управляемого движения космических аппаратов с использованием параллельных вычислительных систем.
- **Задачи исследований:**
 - Исследование математических моделей относительного движения космических аппаратов.
 - Общий подход к математическому моделированию управляемого относительного движения КА (Математическая модель управляемого движения).
 - Математическая модель динамической системы, определяющие движение КА с малой радиальной тягой.
 - Математическая модель управляемого относительного движения КА в орбитальной системе координат.
 - Усовершенствование математических моделей для учёта:
 - Качественные структуры динамических систем, определяющие движение КА
 - Характеристика моделируемой динамической системы, ее свойства и состояния равновесия
 - Разработка программного продукта для построения качественных структур КА и определения возможных траекторий управляемого относительного движения КА.
- **Результаты:** компьютерная система моделирования управляемого движения космического аппарата, с возможностью применения параллельных и распределенных вычислений, в том числе GRID и облачных технологий.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

- Проблемы моделирования движения космических аппаратов с упругими элементами остаются актуальными как с точки зрения разработки адекватных математических моделей, так и с точки зрения ускорения расчётов[3].
 - Ускорение расчётов осуществляется, преимущественно, путем увеличения вычислительных мощностей[3]
- Основное внимание исследователей направлено на разработку и исследование стержневой модели космического аппарата, и композитных моделей, основанных на модели упругой балки.
 - Данные модели не учитывают элементов КА, поведение которых не описывается моделями упругой деформации твердого тела [4]
- Одним из современных подходов к моделированию движения КА является использование модели упругой пластины для представления элементов КА
 - Модель упругой пластины более прогрессивна, но не учитывает нагрузок на скручивание. Кроме того, собственные колебания упругой пластины в данной модели рассматривается как сумма бесконечного числа гармоник, что снижает общую точность моделирования[4]

СОВРЕМЕННЫЙ КОСМИЧЕСКИЙ АППАРАТ СОСТОИТ ИЗ МНОЖЕСТВА ЭЛЕМЕНТОВ[1]



- Каркас
- Солнечные батареи
- Топливные баки
- Баки окислителя
- Герметичные емкости с расходными материалами, например - гелием
- Антенны
- Двигатели
- Электроника
- Выносные датчики
- Противометеоритная защита
- Другие

НА ДВИЖЕНИЕ КА ВЛИЯЮТ, В ОСНОВНОМ, СЛЕДУЮЩИЕ ВНЕШНИЕ ФАКТОРЫ[4]:

- Гравитационное поле массивных космических тел
 - Солнечный ветер и космическое излучение
 - Поведение жидкостей, находящихся в баках КА
 - Микрометеориты
 - Утечки веществ из емкостей КА
-

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ УКАЗАННЫХ ФАКТОРОВ РЕАЛИЗУЕТСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЬНОЙ МОДЕЛИ КА. МОДЕЛЬ ПРЕДПОЛАГАЕТ СЛЕДУЮЩЕЕ[6]:

- Поведение каждого элемента конструкции моделируется независимо
- Элементы конструкции рассматриваются как связанные между собой упругими балками
- Элементы конструкции рассматриваются в качестве:
 - Упругих балок
 - Упругих пластин
 - Упругих стержней
 - Монолитных твердых тел
 - Деформируемых и недеформируемых емкостей

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОДУЛЬНОЙ МОДЕЛИ:

- Возможность использовать для моделирования распределенные вычислительные системы, в том числе облачные и GRID системы
- Увеличение точности моделирования за счёт использования разных моделей для разных типов элементов
- Возможность моделирования траектории движения КА произвольной сложности
- Возможность быстро адаптировать систему при появлении новых, более точных математических моделей поведения отдельных элементов
- Возможность расчёта нагрузок на конструкционные и соединительные элементы при маневрах

СОСТОЯНИЕ РАБОТЫ

- Проведен обзор и анализ имеющихся наработок в области математического моделирования управляемого движения КА
- Выбраны математические модели поведения большинства типичных конструктивных модулей современных КА
- Выявлены особенности и основные возмущающие воздействия на процессы управления
- Разработана модель взаимодействия модулей при управляемых маневрах КА
- -Обоснован переход от многостержневой модели КА к блочной.
- - Разработана методология построения блочной модели КА на основе многостержневой модели.
- Модель осевого перемещения КА вследствие воздействия комбинации сил переработана с учетом использования блочной модели КА.
- Предложена методика использования распараллеливания при проведении необходимых расчётов
- Проверка теоретических наработок мат. модели поведения жидкости внутри недеформируемой емкости в условиях низкой гравитации и микрогравитации.
- Ведется разработка программного продукта (степень готовности 75-80%)
- Написание диссертационной работы (первая и вторая главы 40-50%)

ОПУБЛИКОВАНО

- Косенко О.С. Побудова багатостержневої моделі космічних апаратів. / О.С. Косенко // Вісник Харківського національного університету Серія "Математичне моделювання. Інформаційні технології. Автоматизовані системи управління". – 2016. – №39. – С. 108-109
- Косенко О.С. Моделювання осьового руху космічних апаратів з використанням багатостержневої моделі. / О.С. Косенко // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2016. – №12. – С. 27-29
- Косенко О.С. Блокова модель космічного апарату. / О.С. Косенко // Молодий вчений. – 2017. – №259. – С. 161-163
- Косенко О.С. Використання блокової моделі для моделювання керованого руху космічних апаратів. / О.С. Косенко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. – 2017. – №12. – С. 27-29
- Косенко О.С. Моделювання осьового руху космічних апаратів з використанням блокової моделі. / О.С. Косенко // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки. – 2017. – №272. – С. 131-133
- Косенко О.С. Вплив сонячного вітру на траєкторію руху космічного апарату у міжпланетному просторі. / О.С. Косенко // Відкриті інформаційні та комп'ютерні інтегровані технології. – 2017. – №51. – С. 224-226
- Косенко О.С. Модульна модель космічного апарату. / О.С. Косенко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. – 2018. – №4. – С. 131-133

ПЛАНЫ

- До конца лета (август) 2018 года завершить разработку программного продукта
- До конца осени (ноябрь) 2018 года завершить работу над черновым текстом диссертации
- Готовность к защите – представить в Совет не позднее июня 2019 года
- Готовность к защите – не позднее октября 2019

ЛИТЕРАТУРА

1. Устройство космических аппаратов. // М.: Машиностроение, 2003. — 272 с.
2. Пиза Н.Д. Исследование эффективности применения параллельных вычислительных систем для моделирования движения космического аппарата // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2003. – №1. – С. 98-104.
3. Фриз С.П. Можливий підхід до планування спостережень космічними апаратами / С.П. Фриз, В.В. Петрожалко, В.В. Ожінський // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ, 2015. – Вип. 4. – С. 87–96.
4. Титов Б.А., Вьюжанин В.А, Дмитриев В.В. Формирование динамических свойств космических аппаратов. - М.: Машиностроение, 2005. - 303 с.
5. Набиуллин М. К. Стационарное движение и устойчивость упругих спутников / Мансур Каримович Набиуллин. Н. : Наука. Сибирское отделение, 1990. 217 с.
6. Косенко О.С. Модульна модель космічного апарату. / О.С. Косенко // Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. – 2018. – №4. – С. 131-133