



Математическое и компьютерное моделирование как неотъемлемый этап создания перспективных КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

М.Ю. Овчинников

Федеральный исследовательский центр

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН

Содержание

- ИПМ им.М.В. Келдыша РАН – это математическое моделирование и прикладная математика
- Работы, выполняемые совместно с организациями ТП НИСС
- Перспективные направления исследований в интересах организаций ТП НИСС

Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН



Институт прикладной математики был образован в 1953 году для решения сложных математических проблем, связанных с государственными программами:

- исследования космического пространства,
- развития атомной и термоядерной энергетики

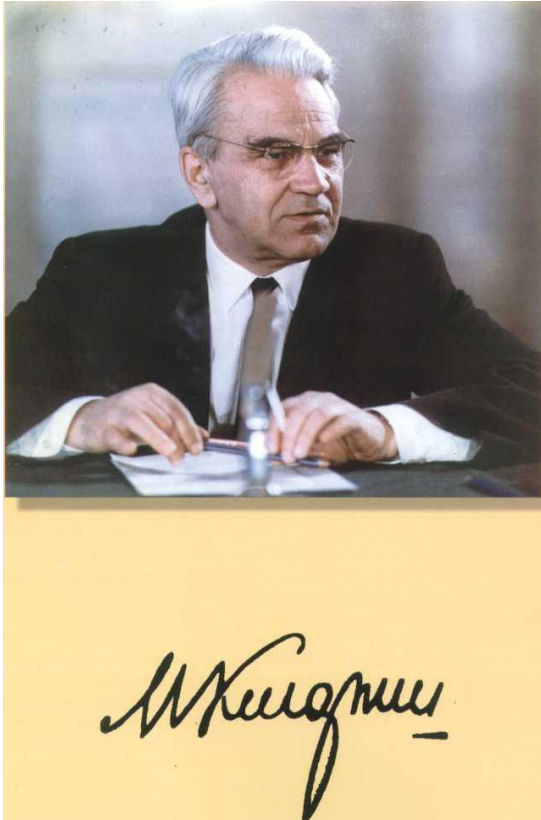
на основе создания и широкого использования вычислительной техники и программного обеспечения

Основатель ИПМ

Академик Мстислав Келдыш был основателем и первым директором ИПМ (1953-1978)

Своей задачей он считал “проблемные исследования и организацию научных коллективов, выступающих в роли генераторов идей”

При нем возникли термины математическое моделирование, вычислительный эксперимент



Гибридный суперкомпьютер К-100 в ИПМ (совместная разработка с ФГУП НИИ «Квант»)



- Производительность - 100 терафлопс,
- энергопотребление – 80 кВт
- Основные направления использования:
 - расчеты, связанные с переносом излучения, моделированием атомных реакторов
 - задачи авиастроения (аэродинамика ЛА, симуляция аэродинамических труб)
 - моделирования нефтедобычи, фильтрации примесей в углеводородах
 - исследование влияния ионизирующего излучения космического пространства на конструкцию и элементы КА
 - анализ неразрушающего контроля конструкций
 - задачи гидро- и газовой динамики, переноса излучения, космической турбулентности в астрофизике
 - оптимизационные задачи динамики межпланетных перелетов

Баллистический центр в ИПМ им. М.В.Келдыша РАН

Спектр-Р

МКА-ФКИ

Запуски с ГКЦ

Спектр-РГ

Луна-Глоб

Проект "Лаплас"

Венера-Д

Автономная навигация

Спектр-Р

Международная орбитальная астрофизическая обсерватория проекта "Радиоастрон".

Орбитальная астрофизическая обсерватория "Спектр-Р" образует совместно с земными радиотелескопами радиоинтерферометр со сверхбольшой базой и предназначена для проведения фундаментальных астрофизических исследований в радиодиапазоне электромагнитного спектра.

Задачи

- изучение галактик и квазаров в радиодиапазоне;
- изучение структуры и динамики районов, непосредственно прилегающих к массивным черным дырам;
- изучение черных дыр и нейтронных звезд в нашей Галактике;
- измерение расстояний и скоростей пульсаров и других галактических источников
- изучение структуры межзвездной плазмы;
- изучение эволюции компактных внегалактических источников;
- определение фундаментальных космологических параметров.

Схема эксперимента

Основу эксперимента составляет наземно-космический интерферометр, состоящий из сети наземных радиотелескопов и космического радиотелескопа, установленного на аппарате "Спектр-Р". Суть эксперимента заключается в одновременном наблюдении одного радиоисточника наземным и космическим радиотелескопами при синхронизации работы обоих от одного стандарта частоты. Высокое разрешение при наблюдении радиоисточников обеспечивается за счет большого плеча интерферометра, максимальная величина которого соответствует высоте апогея рабочей орбиты - 330 тыс. км.

Синхронизация космического радиотелескопа с работой наземного радиотелескопа обеспечивается в реальном времени от водородного стандарта частоты по радиолинии X-диапазона, входящей в состав высокоинформативного (ВИРК) радиокомплекса.

Передача потока научной информации также осуществляется в реальном времени на частоте передатчика ВИРК 15 ГГц. Максимальная скорость передачи научной информации - 144 Мбод.

Баллистико-навигационное обеспечение полета возложено на Баллистический центр ИПМ РАН.



Центр РАН по сбору, обработке и анализу информации о космическом

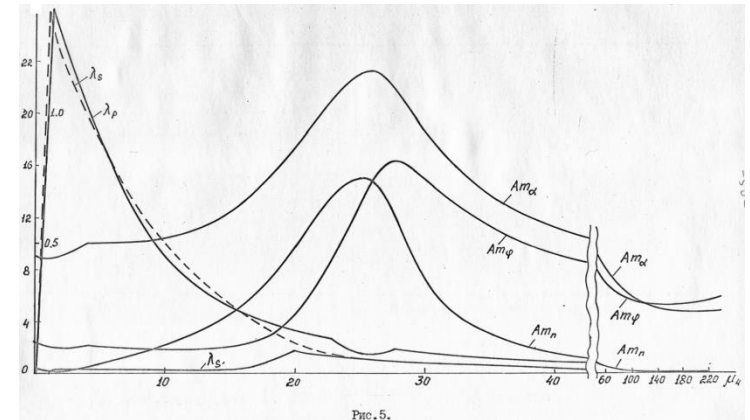
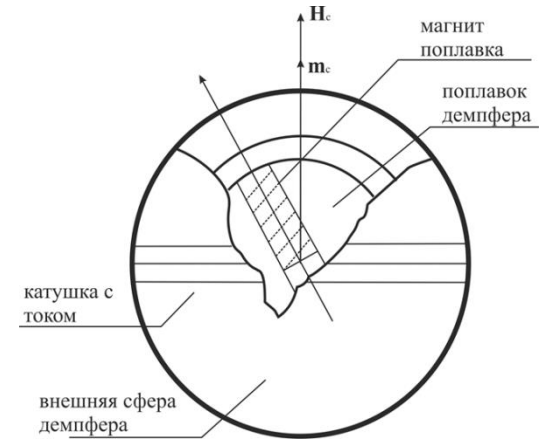
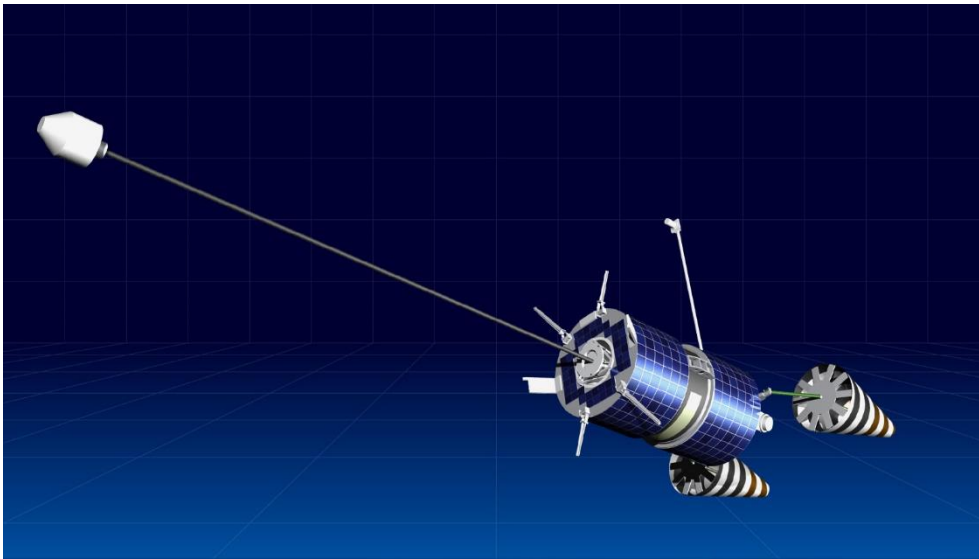


В ИПМ им. М.В. Келдыша РАН находится сегмент АСПОС ОКП мониторинга опасных ситуаций в области ГСО, ВЭО и СВО

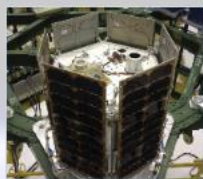
На базе суперкомпьютера К-100 проводятся работы по созданию специального программного обеспечения для решения перспективных задач мониторинга ОКП

2. Работы, выполняемые совместно и в интересах организаций ТП НИСС

Конец 70-х. “Магнитная пружина” для МГСОС КА “Стрела”



Малые спутники наших партнеров



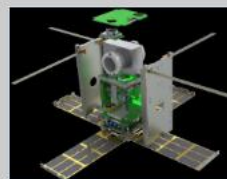
Первый российский частный микроспутник **ТаблетСат-Аврора** (запущен в 2014г.), активная система ориентации, 26 кг (фото ООО Спутникс)



Российский микроспутник **Чибис-М** (запущен в 2012г.), активная система ориентации, 43 кг (фото ИКИ РАН)



Тайваньский спутник **Fomosat-7** (13), активная система ориентации, 250 кг (рисунок NSPO)



Американский наноспутник **CXBN-2**, активная магнитная система ориентации, 2,5 кг (рисунок [Morehead State University](http://www.moreheadstate.edu))



Немецкий пикоспутник (кубсат) **BeeSat-3** (запущен в 2013г.), пассивная магнитная система ориентации с гистерезисной пластиной, 1 кг (фото TUB)



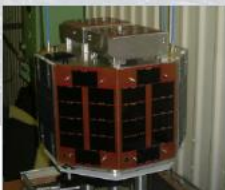
Российский наноспутник **SamSat-QB50**, аэродинамическая система ориентации с гистерезисными стержнями, 2 кг (рисунок СГАУ им. С.П. Королева)



Первый российский наноспутник **TNC-0 №1** (запущен в 2005г.), пассивная магнитная система ориентации, 4,5 кг (фото ОАО РКС)



Российский наноспутник **TNC-1**, активная магнитная система ориентации, стабилизация собственным вращением, 10 кг (фото ОАО РКС)



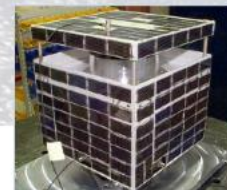
Итальянский микроспутник **UniSat-4** (запущен в 2004г.), пассивная магнитная система ориентации, 12 кг (фото University of Rome "La Sapienza")



Пакистанский микроспутник **BADR-B** (запущен в 2001г.), полупассивная гравитационная система ориентации, 70 кг (фото SUPARCO)



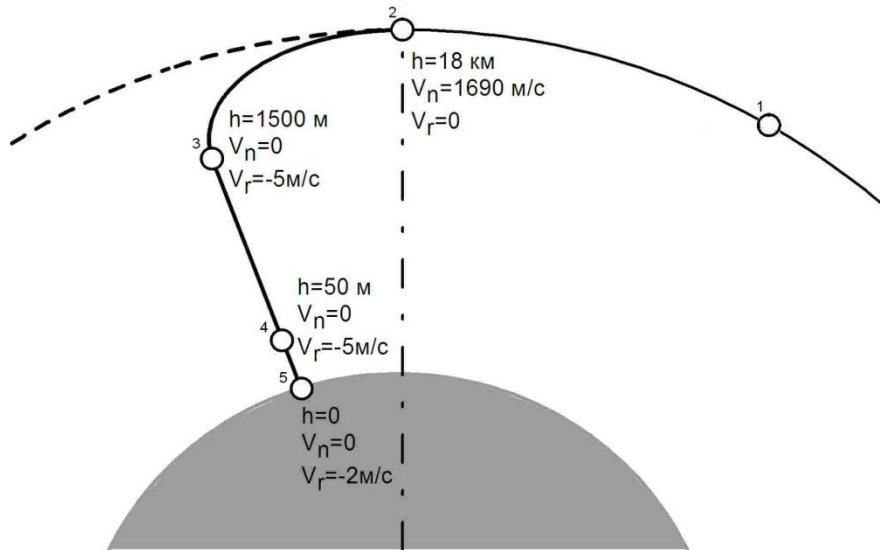
Российский наноспутник **REFLECTOR** (запущен в 2001г.), пассивная гравитационная система ориентации, 7 кг (фото НИИ ПП)



Шведский наноспутник **Munin**, (запущен в 2000г.), пассивная магнитная система ориентации, 6 кг (фото IRF)

МЯГКАЯ ПОСАДКА НА ЛУНУ

«Луна-Ресурс» в районе Южного полюса,
«Луна-Глоб» в районе Северного полюса

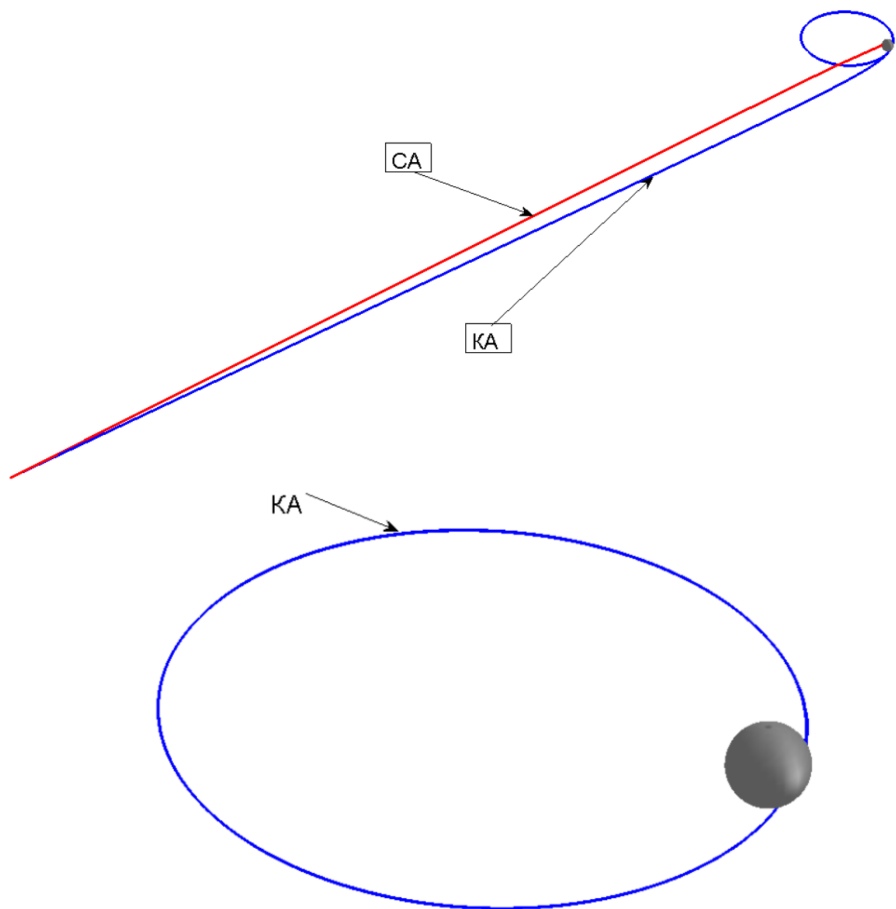


ЗАДАЧИ ИПМ

- Навигация
- Коррекция
- Прогноз движения
- Управление спуском и посадка:
- Терминальное наведение с адаптацией к возмущениям

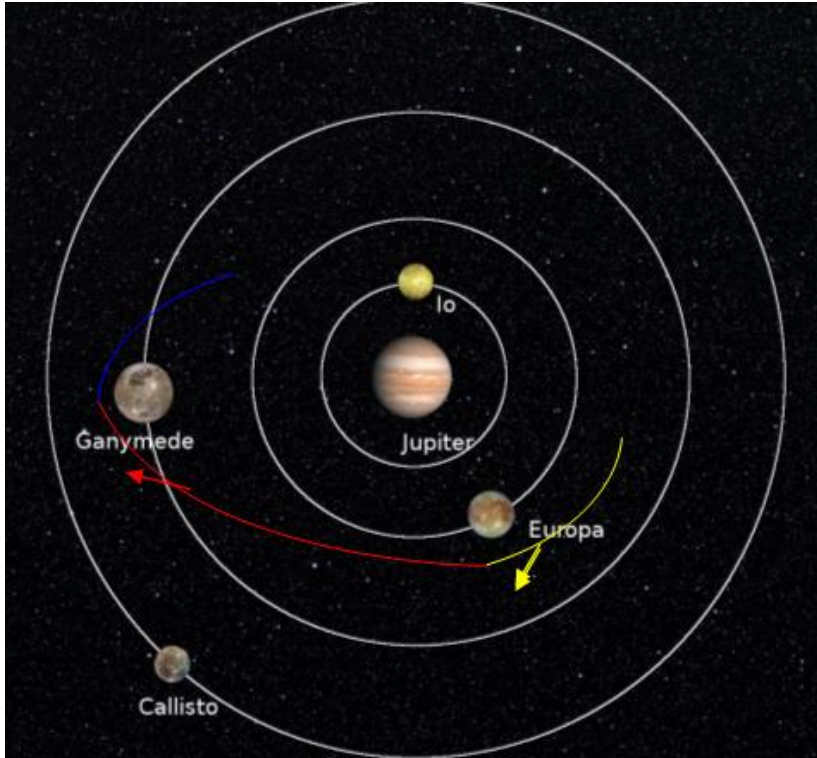
1. Предпосадочная орбита $18 \times 100 \text{ км}$
2. Периселений
3. Сход с предпосадочной орбиты ($R_{ктд}=420 \pm 20 \text{ кгс}$)
4. Участок «прецизионного» торможения ($R_{ктд}=420 \pm 20 \text{ кгс}$)
5. Участок вертикального снижения ($R_{дмп}=120 \pm 10 \text{ кгс}$)

Проектно-баллистические исследования для космической миссии «Венера-Д»



- Миссия «Венера-Д» предполагает доставку к Венере орбитального космического аппарата (КА), спускаемого аппарата (СА) и субспутника
- За четверо суток до подлета посадочный модуль и субспутник отделяются от основного КА и совершают автономный полет. Основной КА выполняет маневр увода. КА должен достичь минимального расстояния до Венеры на четыре часа раньше, чем СА достигнет ее атмосферы
- В момент входа СА в атмосферу Венеры основной КА должен обеспечить связь с ним и ретранслировать на Землю поток телеметрической информации

Проект «Лаплас» - полёт к Юпитеру



Задача: приведение КА к Европе с минимальными энергетическими затратами

Исходные данные: кеплеровские параметры пролётной орбиты КА в системе Юпитера

Ограничения: затраты скорости на манёвр на более 10 м/с

Проблемы:

- выбор спутника Юпитера для манёвра
- оценка эффективности манёвра
- оптимизация большого числа (около 20) гравитационных манёвров

На малой тяге к астероиду

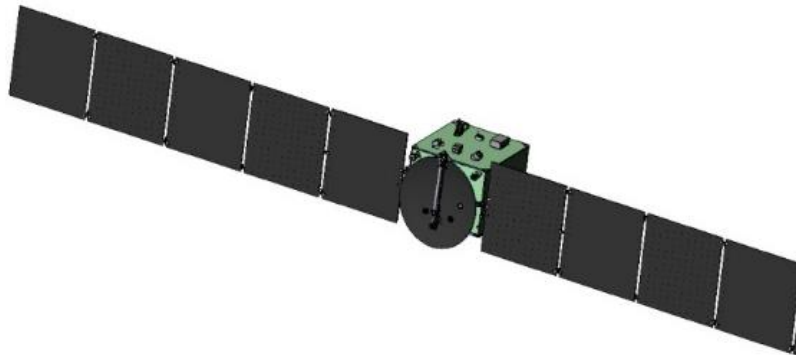


Схема КА НПО им.С.А.Лавочкина



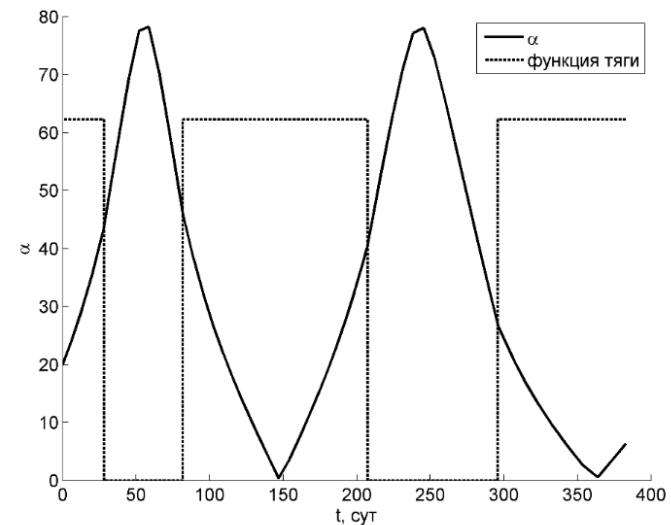
СПД-100. ОКБ Факел

Зачем? Увеличение массы полезной нагрузки

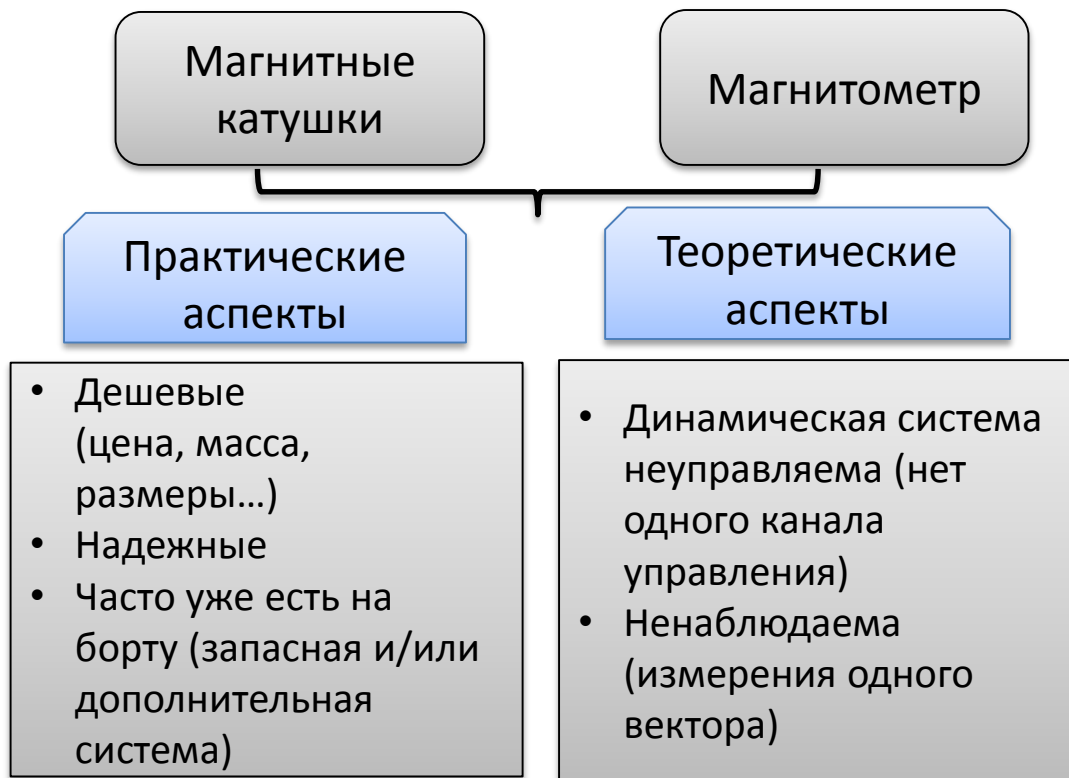
Цена? Двигатель работает постоянно

Следствие. Необходимо постоянно управлять направлением вектора тяги и максимизировать токосъем с СБ

Решение. Разработка мат. обеспечения для системы управления ориентацией

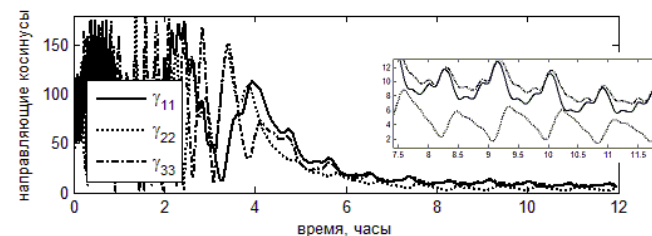
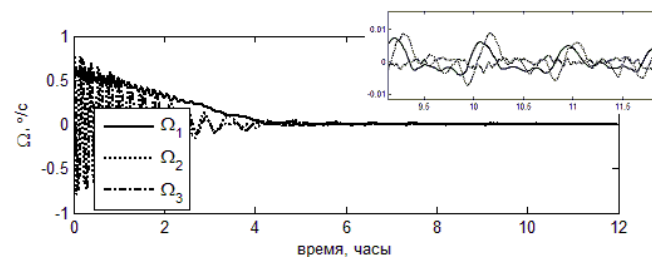


Система ориентации минимального состава



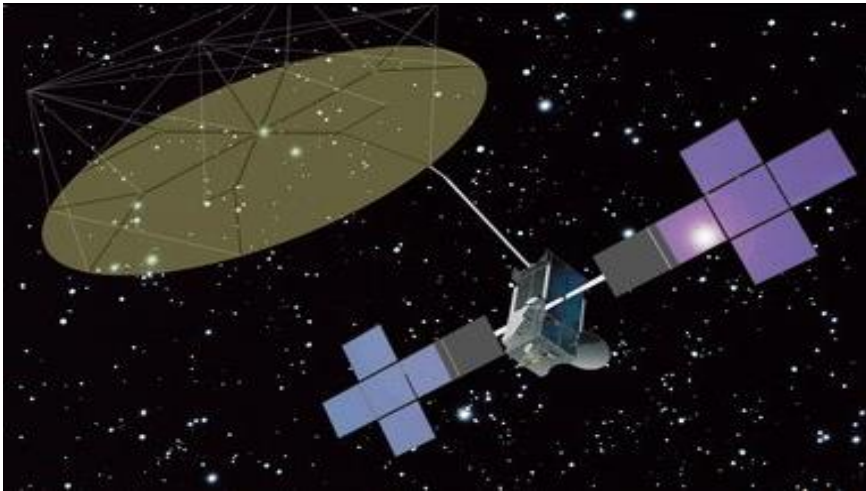
Задача математики – решить теоретические проблемы, позволив заказчику и/или изготовителю использовать практические преимущества.

- Вращение вектора индукции позволяет на практике обойти теоретически неразрешимые проблемы.
- Фильтр Калмана и “ляпуновское” управление требуют квалифицированной настройки параметров, но работают.



3. Перспективные направления исследований в интересах организаций ТП НИСС

Управление КА с нежёсткими элементами конструкции

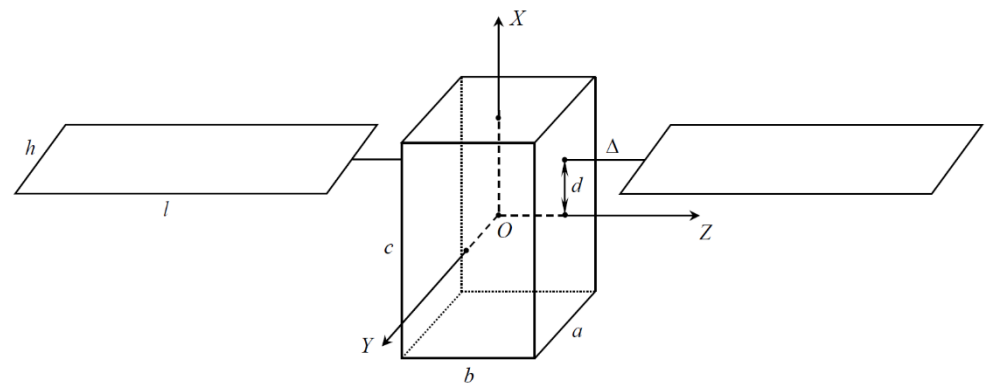
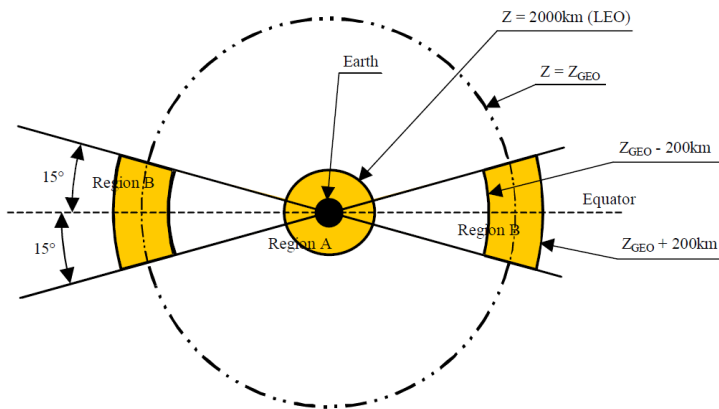


Разработка математической модели, алгоритмов идентификации и управления угловым движением КА с крупногабаритными нежесткими элементами конструкции со сверхнизкими собственными частотами

Увод КА с ГСО на орбиту захоронения с помощью силы светового давления

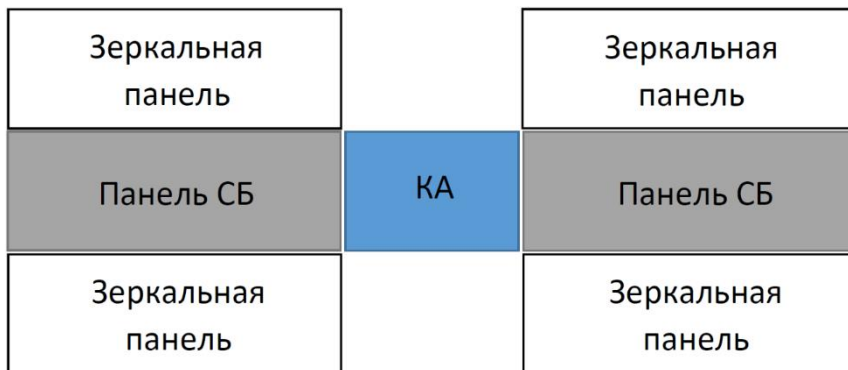
Световое давление может быть использовано для «доувода» КА на орбиту захоронения

$$\Delta h_{\min} = 235 \text{ км} + 1000 \cdot C_R \cdot A/m$$



После первоначального подъема орбиты на 100-150 км с помощью маршевых ДУ следует фаза «доувода» (не более 10 лет для типичного ГСО-спутника связи)

Быстрый увод и коррекция «запад-восток»



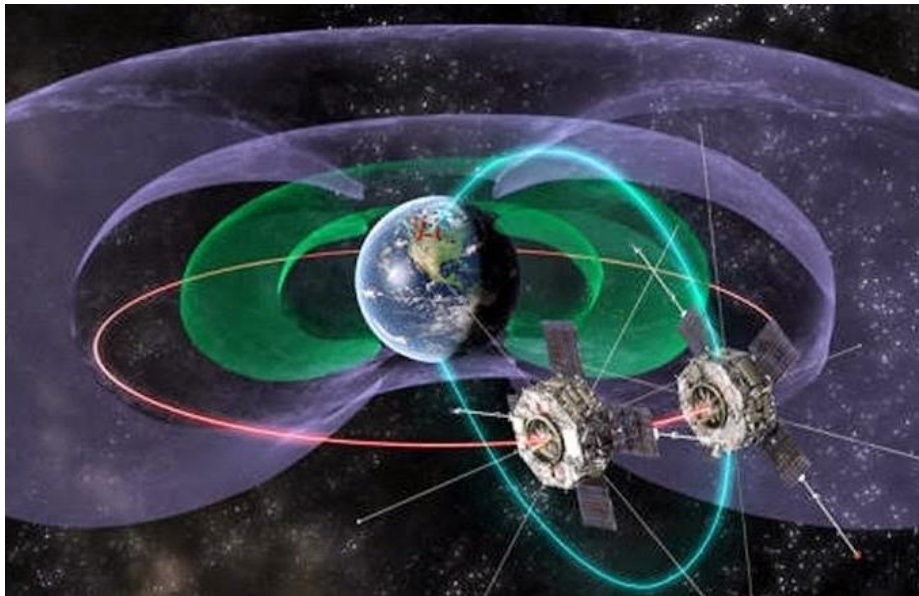
Добавление нескольких легких зеркально отражающих панелей в дополнение к хорошо поглощающим панелям СБ ускоряет увод в 2-3 раза. Силы светового давления достаточно даже для коррекции «запад-восток».

Возможный материал для таких панелей – алюминированный каптон (подобно пленкам термоизоляции и полотну солнечных парусов): коэффициент зеркального отражения равен 0.85...0.92, поверхностная плотность 3...20 г/м²



Credit: DuPont™

Моделирование воздействия проникающей радиации и электромагнитных излучений на сложные технические объекты



Источники:

Молниевый разряд, ионизирующие излучения космического пространства

Цель:

Обеспечение стойкости ракетно-космической техники в натуральных условиях воздействия

Эффекты:

Радиационное повреждение и джоулев нагрев микроэлектроники, защитных покрытий, энергоемких сред.

Нештатные токи и напряжения в радиоэлектронном оборудовании

Отличия суперкомпьютерных моделей

- использование классических уравнений физики
- детальное описание конструкций и процессов
- реализуемость большого объема вычислений



Воспроизводят не только натурные условия,
но и лабораторные эксперименты

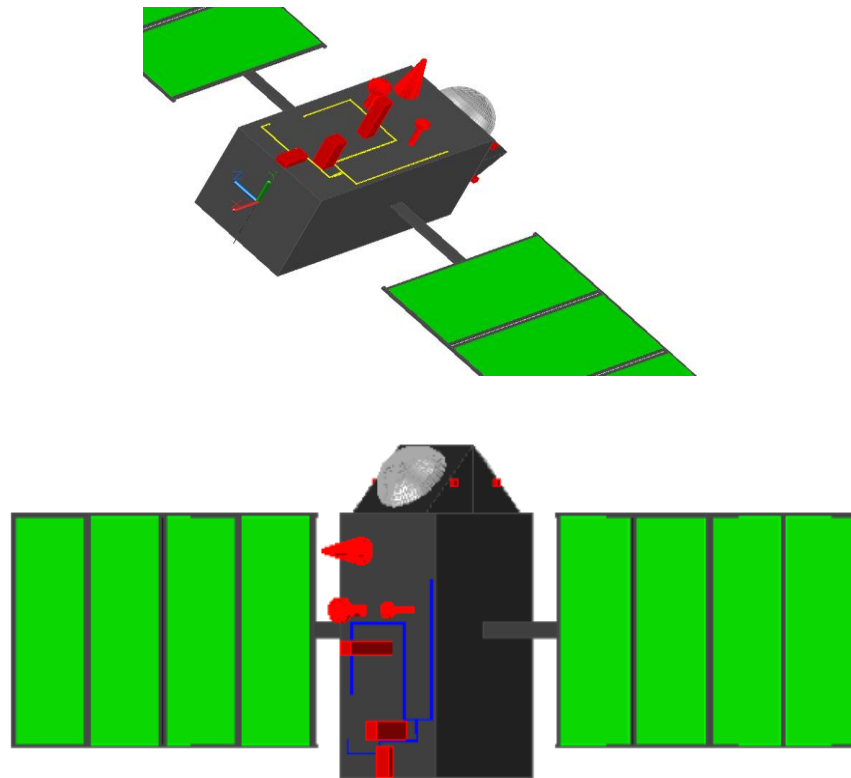


Подтверждаемы на моделирующих установках

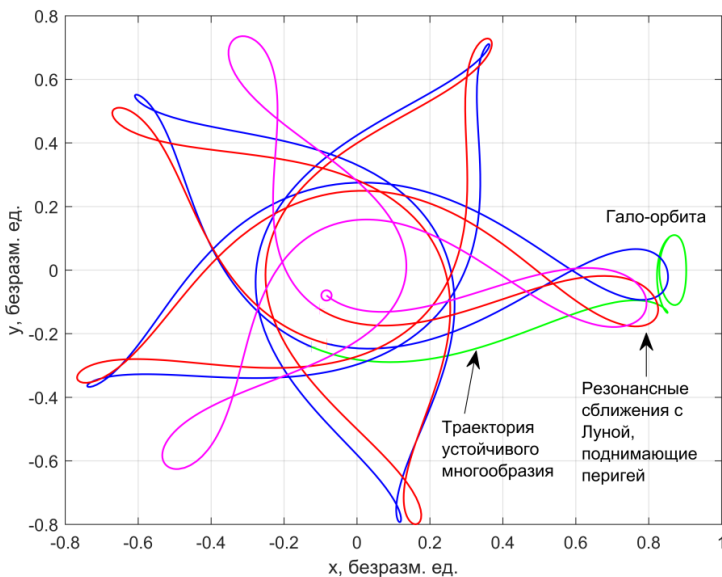
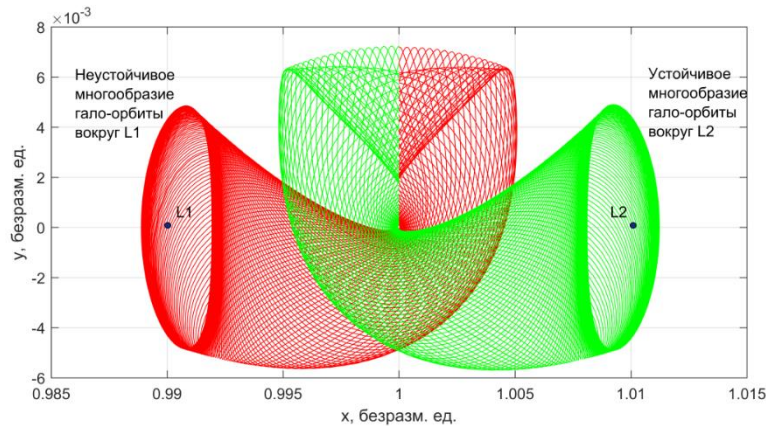


Могут использоваться для обоснования испытаний,
предсказания и анализа результатов

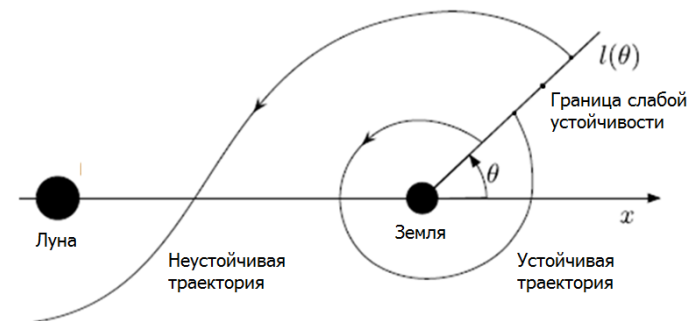
Наводки в БКС КА от электростатических разрядов



Покорение космоса микроспутниками

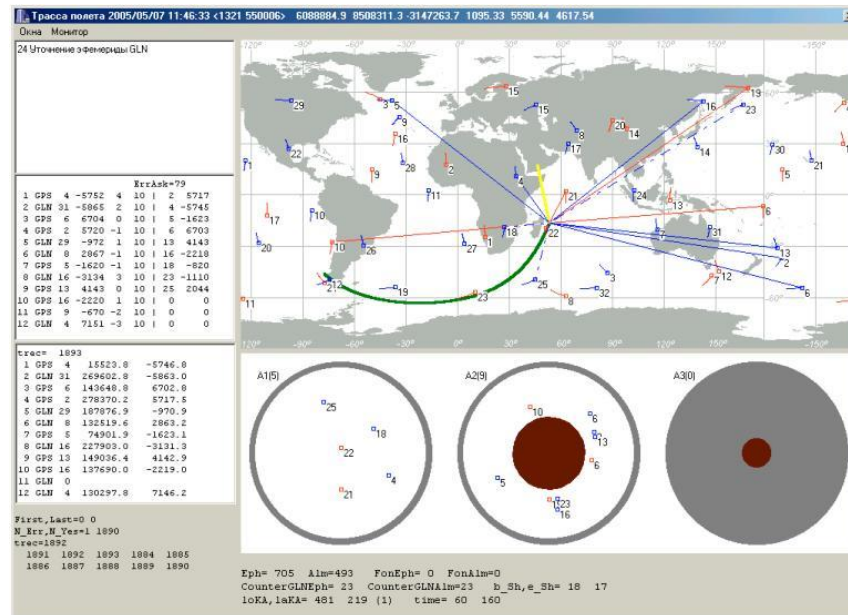


- **2018 год:** наступает эра межпланетных микро- и наноспутников; жесткие ограничения на ресурсы вынуждают разработчиков искать новые способы проектирования траекторий. Выход из ситуации дает современная математика
- **3 основных инструмента:** инвариантные многообразия, резонансные траектории, граница слабой устойчивости



Имитатор сигналов ГЛОНАСС/GPS

- Цель: Разработка архитектуры, методов, алгоритмов и программ имитатора сигналов ГЛОНАСС/GPS для обработки спутниковых автономных навигационных приборов
- Требования: Моделирование сигналов навигационных спутников на больших удалениях от излучателя
- Предназначение: Отработка навигационной аппаратуры КА на стендах, моделирующих орбиты с большим эксцентриситетом (макс. удаление до 70 тыс. км) и на геостационарные орбиты
- Измерения: Сигналы ГЛОНАСС/GPS



Аэродинамический стол с макетами спутников



- Верификация динамических моделей, алгоритмов идентификации и управления относительным движением КА в группе
- Анализ движения КА при наличии внешних возмущений, протяженных упругих элементов конструкции, двигателей малой тяги

Вместо заключения

ИПМ им. М.В.Келдыша РАН проводит фундаментальные и поисковые научные исследования, традиционно выполняет прикладные работы в интересах заинтересованных ведомств и организаций с использованием современных математических методов и вычислительных средств

ТП НИСС является эффективным механизмом генерации и реализации идей, накопления и приложения новых знаний, внедрения имеющийся и создание перспективной научной продукции, обмена опытом

Благодарю за внимание!

Овчинников Михаил Юрьевич
ovchinni@keldysh.ru