

# ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ПРЕЦИЗИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРБИТАЛЬНОГО И УГЛОВОГО ДВИЖЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

Овчинников М.Ю., Ткачев С.С., Ролдугин Д.С., Иванов Д.С.,  
Трофимов С.П., Широбоков М.Г., Маштаков Я.В., Шестаков С.А.  
yarmashtakov@gmail.com  
Stevens\_L@mail.ru

ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

# Содержание

- Обзор существующих программных решений
- Требования, предъявляемые к комплексу
- Устройство комплекса
- Модели возмущений
- Датчики и актюаторы
- Заключение

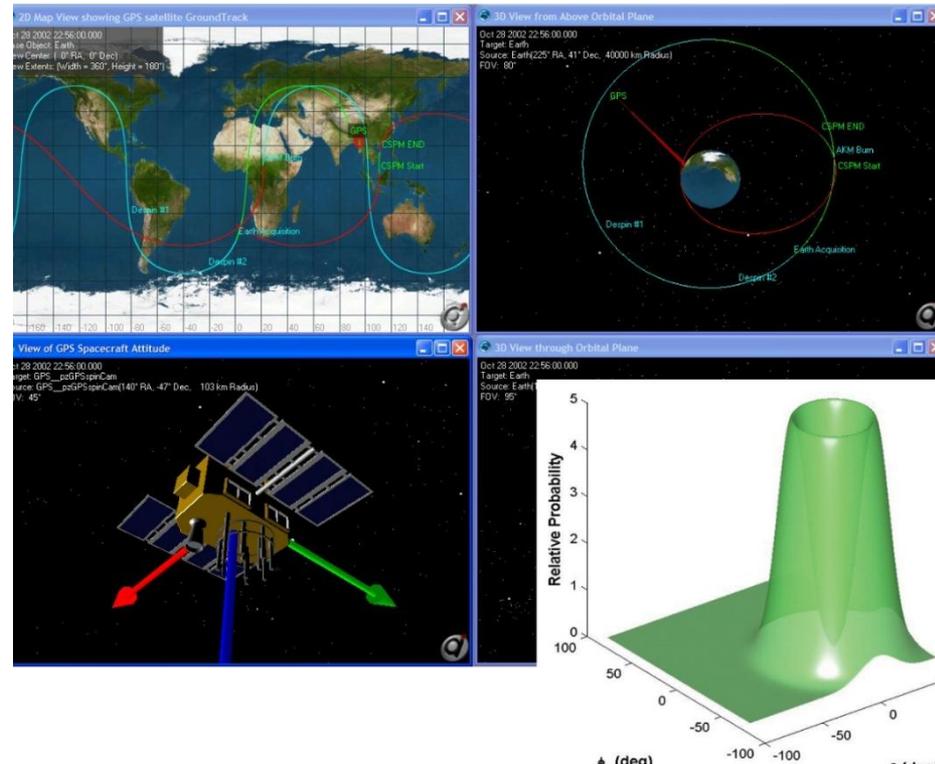
# FreeFlyer (AI Solutions)

## Плюсы:

- Высокоточное моделирование движения центра масс и относительно центра масс
- Широкий выбор датчиков и исполнительных элементов
- Средства для расчета различных маневров
- Возможность добавления новых модулей

## Недостатки:

- Избыточный функционал
- Высокая стоимость



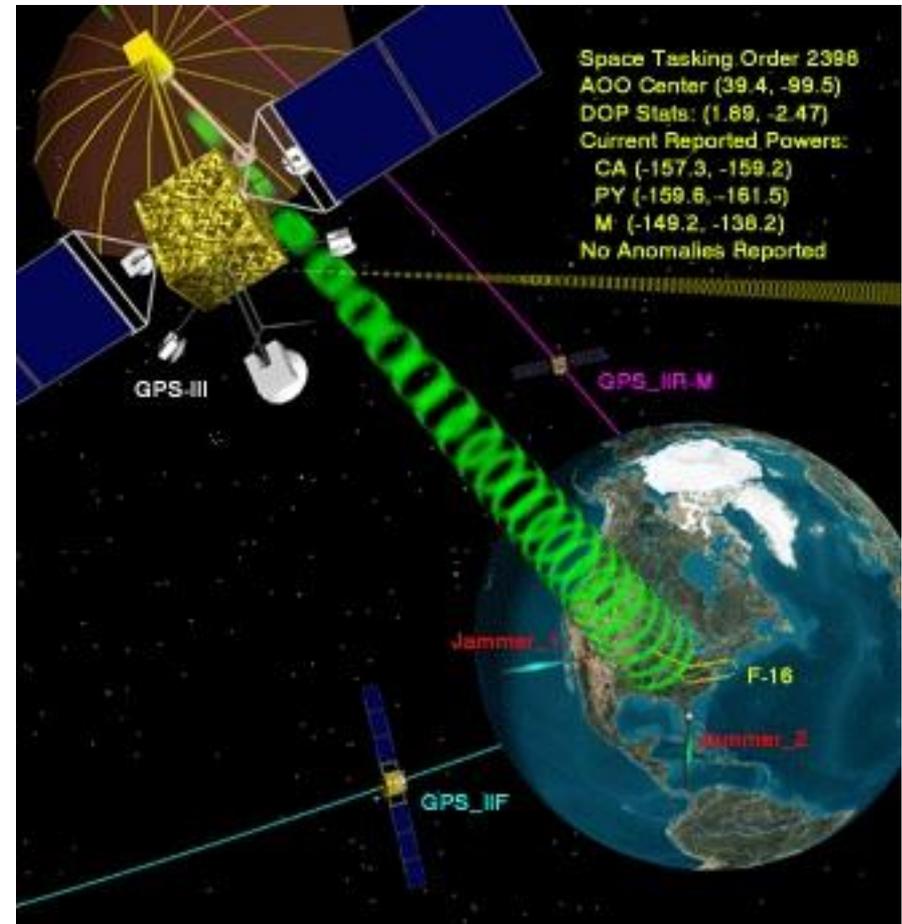
# Satellite tool kit (AGI)

## Плюсы:

- Возможность задавать параметры аппарата в удобной СК
- Расчет энергетики КА
- Моделирование работы телеметрической системы
- Множество моделей внешних возмущений
- Расчет межпланетных траекторий
- Модульная структура

## Недостатки:

- Недостаточная проработка движения относительно центра масс



# Требования к комплексу

- Расчет орбитального и углового движения ИСЗ
- Возможность моделирования работы различных датчиков и актюаторов
- Учет возмущений с помощью моделей разной степени детализации
- Использование систем координат, удобных для аналитического рассмотрения движения
- Возможность использования комплекса неспециалистами в области орбитальной и угловой динамики

# Устройство комплекса

- Интерфейс взаимодействия с пользователем
- ❖ Модели возмущений и их взаимодействия со спутником
- ❖ Актюаторы и датчики
- ❖ Интегратор
- Визуализация данных (на стадии разработки)

The screenshot shows a window titled "Свойства спутника" (Satellite Properties) with several tabs: "Основные" (Basic), "Масса и размеры" (Mass and Dimensions), "Другие свойства" (Other Properties), "Датчики" (Sensors), "Актюаторы" (Actuators), and "Бортовой компьютер" (On-board Computer). The "Масса и размеры" tab is active.

Form fields include:

- Forma: Шар (Sphere)
- Масса: 1 ± 0
- Параметры шара (Sphere Parameters):
  - Радиус: 0 ± 0
- Положение центра давления (Center of Pressure Position):
  - Ось X: 0 ± 0
  - Ось Y: 0 ± 0
  - Ось Z: 0 ± 0
- Тензор инерции (Inertia Tensor):
  - Тензор инерции: задается пользователем (set by user)
  - Точное значение (Exact value):

1	0	0
	1	0
		1
  - Ошибка (Error):

0	0	0
	0	0
		0

At the bottom, there is a status bar with the text "Заполнение корректно" (Filling is correct) and three buttons: "Хорошо" (Good), "Отмена" (Cancel), and "Применить" (Apply).

# Модели возмущений

## Гравитационные:

- Учет различных гармоник: от J2 до разложения 10x10
- Учет воздействия Луны и Солнца

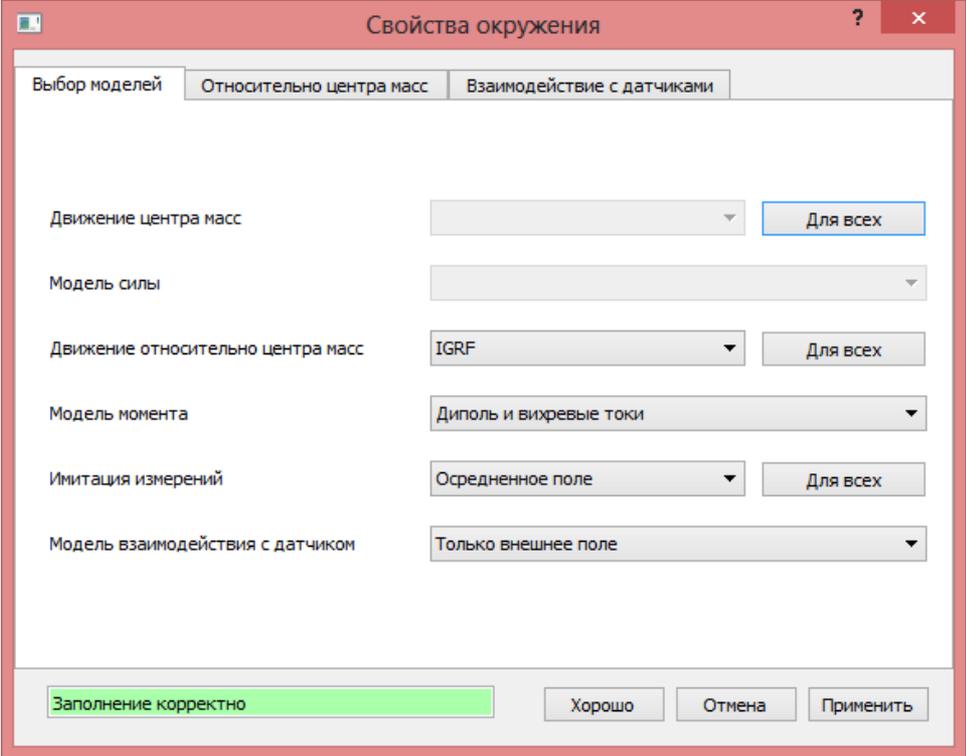
## Магнитные:

- Постоянное магнитное поле
- Усредненное
- Наклонный /прямой диполи
- IGRF(2011)

## Аэродинамические:

- Кусочно-непрерывная модель
- Экспоненциальная модель
- ГОСТ Р 25645.166-2004

## Солнечное давление



Свойства окружения

Выбор моделей    Относительно центра масс    Взаимодействие с датчиками

Движение центра масс    Для всех

Модель силы

Движение относительно центра масс    IGRF    Для всех

Модель момента    Диполь и вихревые токи

Имитация измерений    Осредненное поле    Для всех

Модель взаимодействия с датчиком    Только внешнее поле

Заполнение корректно    Хорошо    Отмена    Применить

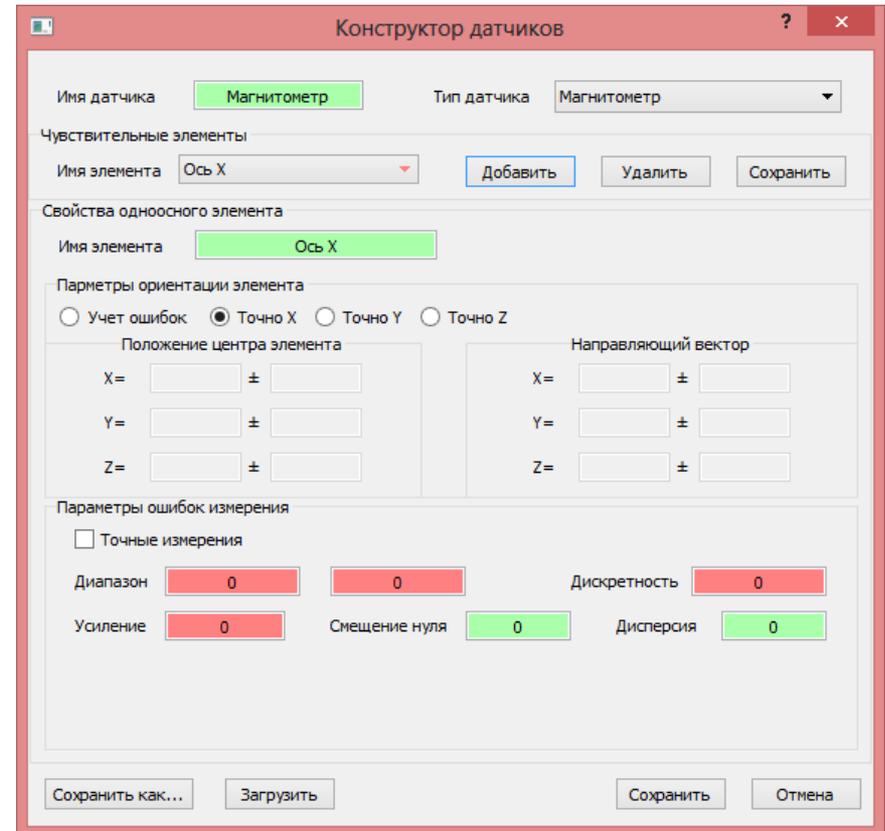
# Датчики и актюаторы

Датчики определения ориентации ИСЗ:

- Солнечные датчики
- Магнитометры
- Датчик угловой скорости

Системы управления ориентацией и положением центра масс:

- Маховичная система ориентации
- Магнитные катушки
- Реактивные двигатели



Конструктор датчиков

Имя датчика: Магнитометр    Тип датчика: Магнитометр

Чувствительные элементы

Имя элемента: Ось X    Добавить    Удалить    Сохранить

Свойства одноосного элемента

Имя элемента: Ось X

Параметры ориентации элемента

Учет ошибок     Точно X     Точно Y     Точно Z

Положение центра элемента

X= [ ] ± [ ]    Y= [ ] ± [ ]    Z= [ ] ± [ ]

Направляющий вектор

X= [ ] ± [ ]    Y= [ ] ± [ ]    Z= [ ] ± [ ]

Параметры ошибок измерения

Точные измерения

Диапазон: [ 0 ]    [ 0 ]    Дискретность: [ 0 ]

Усиление: [ 0 ]    Смещение нуля: [ 0 ]    Дисперсия: [ 0 ]

Сохранить как...    Загрузить    Сохранить    Отмена

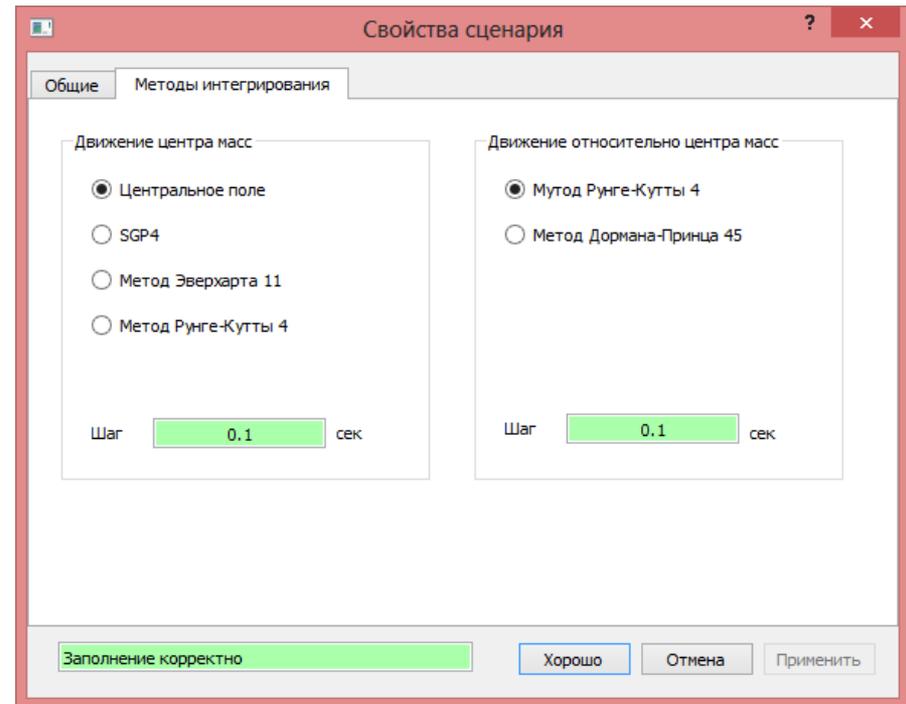
# Интегратор

Орбитальное движение:

- Центральное поле
- Модель SGP4
- Метод Рунге-Кутты 4-го порядка
- Метод Эверхарта 11-го порядка

Угловое движение:

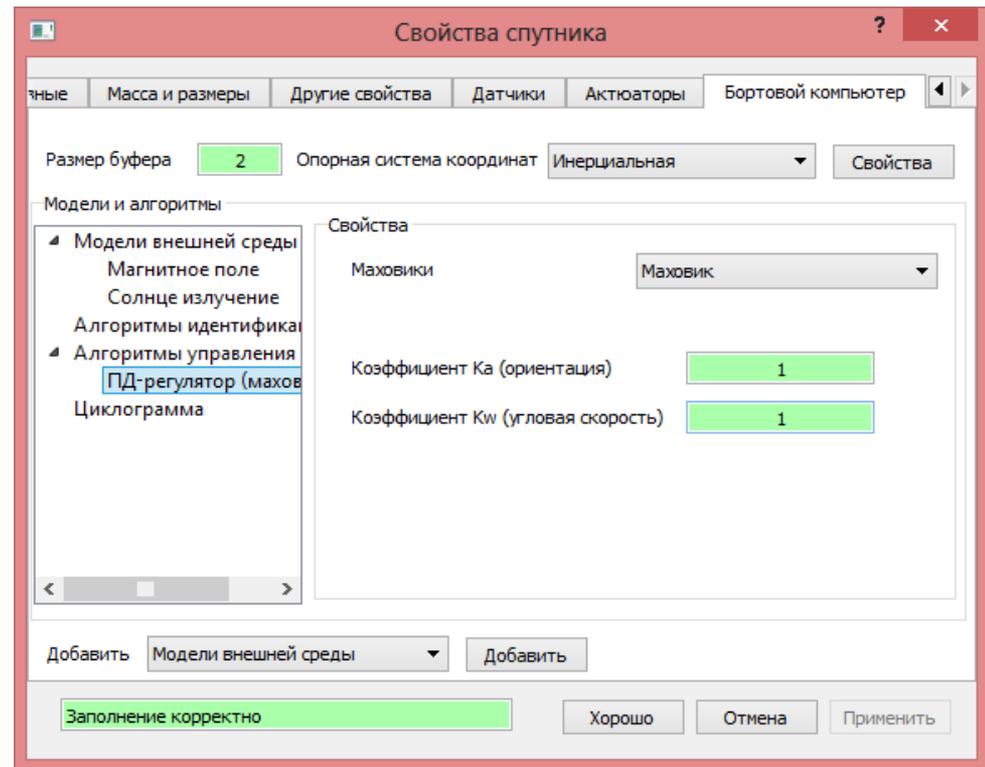
- Метод Рунге-Кутты 4-го порядка с постоянным шагом
- Метод Дормана-Принца с переменным шагом



# Модель спутника

Возможность имитации работы бортового компьютера:

- Выбор моделей возмущений
- Различные алгоритмы идентификации положения центра масс и ориентации ИСЗ
- Алгоритмы управления ориентацией
- Возможность задания циклограмм (на стадии разработки)



# Возможности комплекса

- Расчет орбитального и углового движения
- Моделирование работы различных алгоритмов управления угловым движением и движением центра масс
- Моделирование работы алгоритмов по определению ориентации ИСЗ
- Симуляция ошибок в работе актюаторов и датчиков
- Моделирование работы циклограммы на борту спутника (на стадии реализации)
- Решение различных прикладных задач (расчет площади покрытия Земли группировкой спутников, расчет площади покрытия небесной сферы)

Спасибо за  
внимание!