

**Овчинников М. Ю., Ткачев С. С., Ролдугин Д. С., Иванов Д. С., Трофимов С. П.,  
Широбоков М. Г., Маштаков Я. В., Шестаков С. А.**

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

В настоящее время существует множество программных продуктов, позволяющих проводить численное моделирование динамики спутника. Они различаются по многим параметрам: полнота охвата решаемых задач (в первую очередь, решаются ли одновременно задачи моделирования движения центра масс и относительно центра масс или же реализовано только одно движение); полнота проработки решаемых задач (набор используемых моделей); возможность моделирования управления и измерений; операционная система, необходимая для работы программы; наличие и удобство интерфейса; цена.

Анализ современных программных средств показывает, что в настоящее время существуют два программных комплекса, способных решать все необходимые задачи моделирования динамики спутника: Satellite Tool Kit [1] (Analytical Graphics, рис. 1) и FreeFlyer [2] (AI Solutions, рис. 2). Однако, оба комплекса, STK и FreeFly, созданы для проработки облика космических миссий и рассчитаны на компании – производителей космических аппаратов. Это одновременно приводит к чрезвычайно высокой цене комплексов и наличию модулей, необходимых для создания модели реального космического аппарата, но излишних при более общем анализе его динамики (например, получаемая солнечная энергия). С другой стороны, некоторые важные при анализе динамики возможности, связанные с выводом данных, отсутствуют. Например, нужды создания аппаратов делают неоправданным использование переменных Белецкого-Черноуьско или полусвязанной системы координат, тогда как представление данных в подобных специфических системах координат или переменных может быть очень полезным при анализе динамики системы, поскольку они часто используются при аналитическом рассмотрении движения. Кроме того, при «академическом» подходе к моделированию движения исследователю полезно знать, каким образом реализованы те или иные численные методы, иметь возможность контролировать их точность и быстродействие. Эти соображения говорят о необходимости разработки прототипа программного комплекса, рассчитанного на анализ динамики спутника, а не на создание проекта космического аппарата, который позволил бы отбросить ненужные возможности, добавить более мощные средства анализа и, в перспективе, создать недорогое конкурентоспособное программное обеспечение.

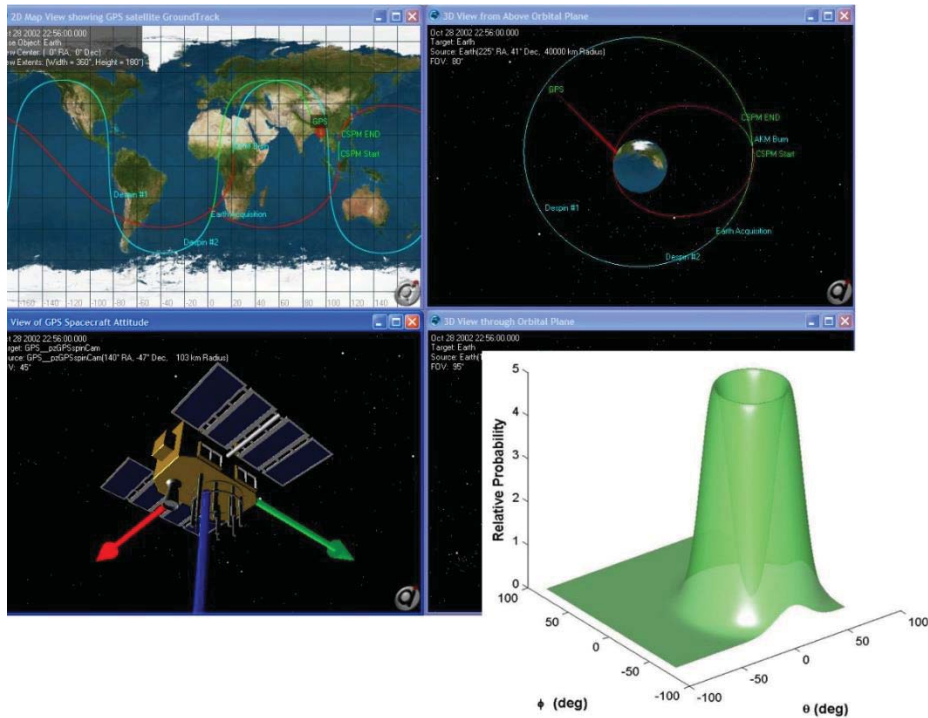


Рисунок 1 – Визуализация в программе FreeFlyer

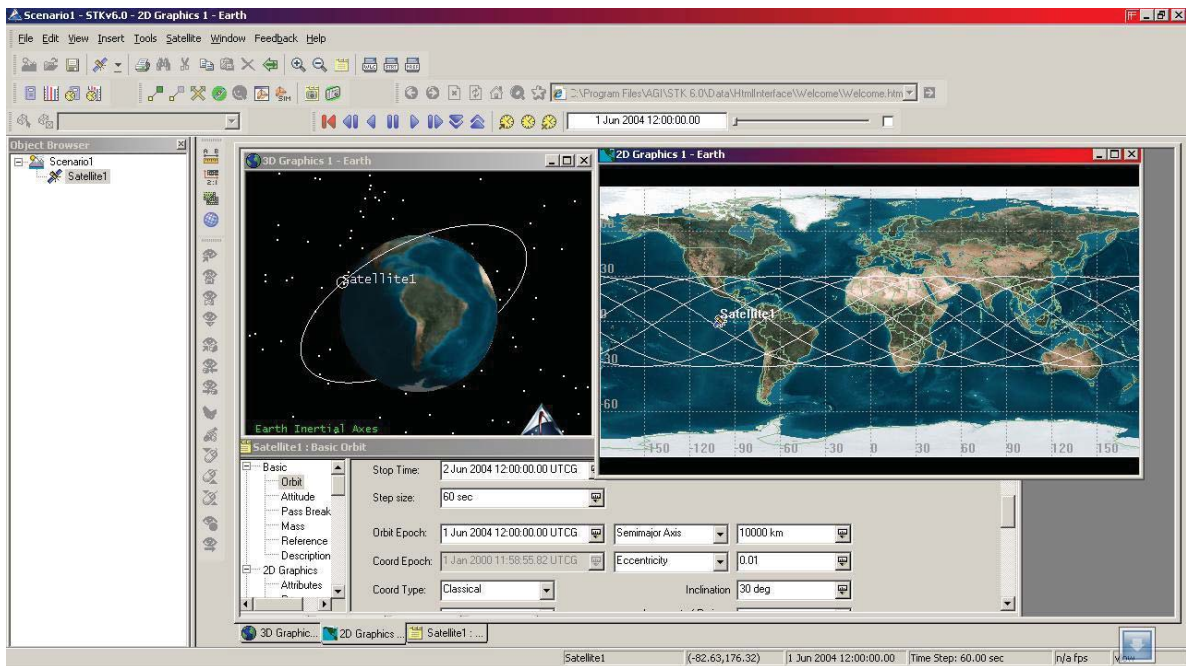


Рисунок 2 – Интерфейс комплекса STK

Разрабатываемый в Институте прикладной математики программный комплекс предоставляет широкие возможности по моделированию орбитальной и угловой динамики. В настоящий момент реализованы возможности моделирования с учётом влияния нецентральности поля Земли (начиная с учёта гармоник  $J_2$  и заканчивая разложением  $10 \times 10$ ), геомагнитного поля (от постоянной величины до модели IGRF), атмосферы (модели плотности от кусочно-непрерывной до модели ГОСТ Р 25645.166-2004), солнечного излучения и гравитации, притяжения Луны. При этом имеется возможность масштабирования не

только самих моделей параметров окружающей среды, но и моделей сил, моментов и взаимодействий с датчиками.

В качестве численных методов для моделирования орбитального движения используются: центральное поле, модель SGP4 [3], метод Рунге-Кутты 4-го порядка с постоянными шагом и метод Эверхарта 11-го порядка. Для моделирования угловой динамики возможно использование метода Рунге-Кутты 4-го порядка с постоянным шагом и метод Дормана-Принца с переменным шагом.

Все параметры моделирования задаются с помощью пользовательского интерфейса (рис. 3), при этом пользователь в случае неправильного ввода параметров сразу получает сообщение об ошибке, что практически исключает ошибочный ввод данных.

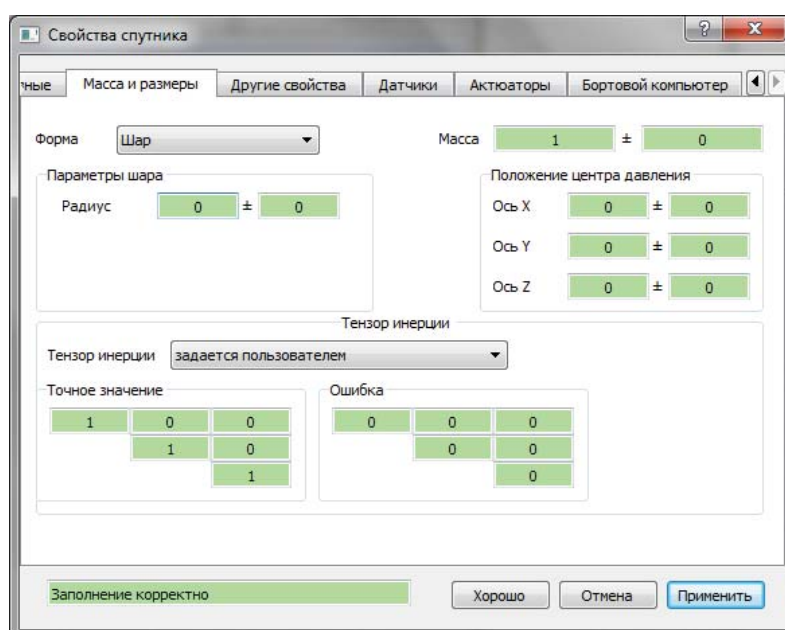


Рисунок 3 – Пример интерфейса программного комплекса

В настоящий момент комплекс находится на стадии доработки и тестирования, но уже сейчас способен решать широкий спектр задач по моделированию орбитальной и угловой динамики.

### Библиографический список

- 1 STK overview [Электронный ресурс]. URL: <http://www.agi.com/products/by-product-type/applications/stk/default.aspx>.
- 2 FreeFlyer overview [Электронный ресурс]. URL: <http://www.aisolutions.com/ProductsServices/FreeFlyer/Overview.aspx>.
- 3 Felix R. Hoods, Ronald L. Roehrich. Models for Propagation of NORAD Element Sets. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.celestrak.com/NORAD/documentation/spacetrk.pdf>.