

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В ПРОГРАММЕ VISUAL SPACE

А. Г. Кезик

Белорусский государственный университет, г. Минск;

wiren469@gmail.com;

науч. рук. – А. А. Спиридонов, ст. преп.

Разработано программное обеспечение «VisualSpace». Оно позволяет моделировать с различными временными масштабами орбитальное движение космических аппаратов вокруг выбранной планеты Солнечной системы на основе начального вектора состояния; орбитальное движение космических аппаратов вокруг Земли на основе усредненных орбитальных параметров в формате TLE; орбитальное движение планет Солнечной системы на основе аналитической модели VSOP87. Моделирование производится в трехмерном пространстве, что позволяет наглядно демонстрировать эволюцию орбит со временем.

Ключевые слова: программное обеспечение, орбитальное движение, космический объект.

Моделирование орбитального движения космических объектов является необходимым как для решения задач проектной баллистики, так и планирования операций управления космическим аппаратом. Для космических аппаратов это позволяет запланировать сеансы управления и связи, организовать научные эксперименты, решать множество прикладных задач. Программа «VisualSpace» позволяет моделировать в режимах реального времени и производить симуляцию с различными временными масштабами орбитальное движение объектов Солнечной системы с обширной базой данных малых тел; орбитальное движение космических аппаратов вокруг выбранной планеты Солнечной системы на основе начального вектора состояния; орбитальное движение космических аппаратов вокруг Земли на основе начального вектора состояния или усредненных орбитальных параметров в формате TLE; параметры слежения наземных станций и параметры принимаемых сигналов выбранного космического аппарата; сценарии совместной работы сети наземных станций приема [1].

Разработанное нами программное обеспечение (ПО) «VisualSpace» позволяет проводить расчеты: орбитальных параметров движения космических аппаратов в геоцентрических (планетоцентрических), орбитальных, топоцентрических системах координат (СК); стандартной баллистической информации для заданного пункта наблюдения с возможностью выбора параметров пролета.

Моделирование производится в трехмерном пространстве, что позволяет наглядно демонстрировать эволюцию орбит со временем. Кроме

околоземного пространства возможно перемещение в границах солнечной системы, а в перспективе и в куда больших масштабах. Движение околоземных космических объектов рассчитывается по модели SGP4. ПО «VisualSpace» позволяет загружать TLE космических объектов из текстового файла. При этом составляется список доступных для моделирования объектов, как показано на рис. 1.

OBJECTS DATABASE

SGP OBJECTS

1 Search... 2 OBJECTS: 113 ALL+

Title	Period	Ecc	Inc	LAN	AOP	TLE Epoch
CUTE-1 (CO-55) +	101,2492	0,0009519	98,6834	127,4842	194,7166	28.04.2020 23:45:59
CUBESAT XI-IV (... +	101,2786	0,0009160	98,6904	128,0483	207,4470	29.04.2020 0:03:16
CUBESAT XI-V +	98,3767	0,0018176	98,0014	256,8909	80,9305	29.04.2020 2:28:02
3 CUTE-1.7+APD II... +	96,7446	0,0011686	97,5713	109,6737	303,3477	29.04.2020 10:49:19
AAUSAT-II +	96,3196	0,0010560	97,4927	126,1775	217,3668	29.04.2020 10:57:05
DELFI-C3 (DO-64) +	95,5143	0,0013600	97,4232	163,7096	124,5275	29.04.2020 3:50:08
SEEDS II (CO-66) +	96,5779	0,0011663	97,5403	115,3198	271,4827	28.04.2020 22:25:07
SWISSCUBE +	98,8752	0,0006359	98,6095	300,1567	282,2625	29.04.2020 11:25:08

cubesat.txt

Рис. 1. Загрузка орбитальных параметров в TLE формате:

1 – поиск по названию или номеру в каталоге; 2 – сортировка по орбитальным параметрам; 3 – список объектов загруженных из текстового файла с TLE

В данном списке также доступна возможность сортировки по орбитальным параметрам, а также поиск по названию и номеру в каталоге NORAD. При нажатии кнопки + объект добавляется на трехмерную сцену, где моделируется его движение. Реализована возможность подключения к базе данных для удобной загрузки необходимых TLE с сайта <https://www.space-track.org/>.

Графический интерфейс пользователя «VisualSpace» включает в себя панель симуляции времени, информационные панели, различные меню, предоставляющие функционал для работы с космическими аппаратами, и база активных объектов, как показано на рис. 2.

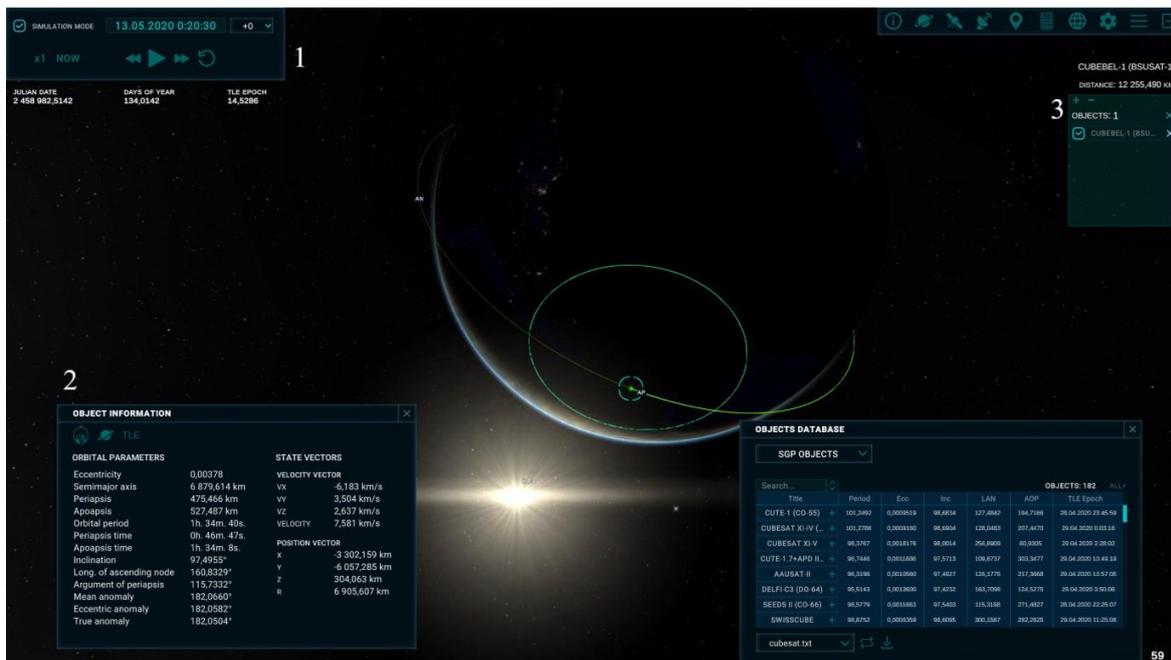


Рис. 2. Элементы графического интерфейса пользователя ПО «VisualSpace»: 1 - панель симуляции времени; 2 - информационная панель; 3 - база активных объектов

Помимо наблюдения движения в трехмерном пространстве также присутствует возможность наблюдать положение объекта над поверхностью Земли с визуализацией трассы и радиуса видимости на двумерной карте. По умолчанию время в программе привязано к системному времени компьютера и протекает в нормальном темпе. Однако есть возможность ручного перематывания времени. В режиме симуляции возможно ускорять, останавливать и обращать течение времени. Реализована возможность изменения часового пояса.

В «VisualSpace» реализована аналитическая модель движения восьми основных планет Солнечной системы VSOP87 (рис. 3). Используются две разновидности этой модели: VSOP87a и VSOP87c. По первой рассчитываются орбитальные параметры планеты, а по второй – гелиоцентрические координаты. VSOP87 гарантирует для Меркурия, Венеры, барицентра Земля-Луна и Марса точность в одну угловую секунду в течение 4000 лет до и после эпохи J2000. Та же точность обеспечивается для Юпитера и Сатурна за 2000 лет и для Урана и Нептуна за 6000 лет до и после J2000.

Точная модель движения Луны позволяет предсказывать солнечные и лунные затмения и учитывать возмущения, оказываемые Луной на космические аппараты. Также в программе используется обширная база данных малых тел, включающая в себя все известные астероиды и малые планеты.

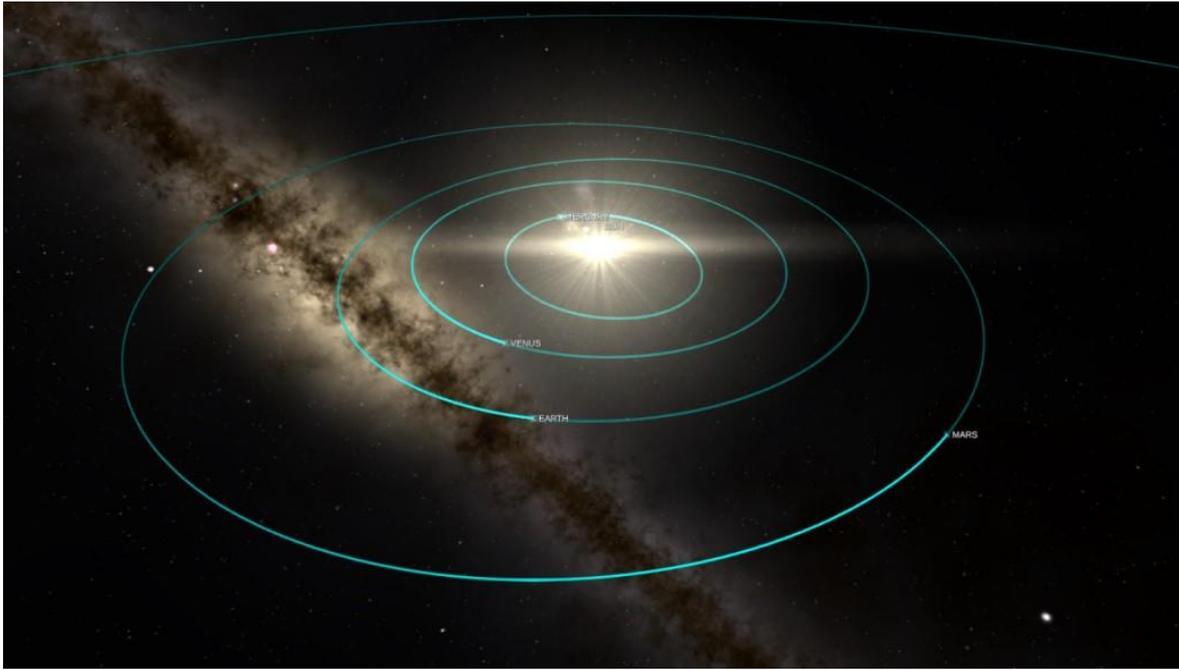


Рис. 3. Модель Солнечной системы

В «VisualSpace» совмещены функциональные возможности трехмерных планетариев (например, Celestia и Space Engine) и программ для наблюдения за околоземными спутниками (Heavensat, Previsat, Orbitron). Программное обеспечение «VisualSpace» используется в рамках проекта «Разработка и создание научно-образовательной сети приема и обработки информации с образовательных космических аппаратов» Национальной Космической Программы Республики Беларусь для визуализации системы наземных станций и начального экспресс-анализа параметров слежения и радиосигналов выбранного малого космического аппарата.

Библиографические ссылки

1. Моделирование совместной работы сети наземных станций приема телеметрии малых космических аппаратов / А.Г. Кезик, А.А. Спиридонов // Электроника плюс. 2019. № 3. С. 58–62.