

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ОРБИТАЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

А. Г. Кезик

*Белорусский государственный университет, г. Минск;
wiren469@gmail.com; науч. рук. – А. А. Спиридонов*

Рассматривается 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; угловое движение космического аппарата. Моделирование производится как в трехмерном пространстве, так и на плоской карте в случае околоземной орбиты, что позволяет наглядно демонстрировать эволюцию орбит со временем.

Ключевые слова: программное обеспечение; орбитальное движение; космический аппарат.

«VisualSpace» разрабатывалось в рамках курсового проекта. Программа предназначена для визуального наблюдения космических аппаратов и космических объектов солнечной системы. Она позволяет моделировать в режимах реального времени и симулировать с различными временными масштабами (с возможностью пошагового моделирования движения в автоматическом режиме, с выбором шага и с прокруткой в ручном режиме): орбитальное движение планет Солнечной системы по модели VSOP87; 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; угловое движение космического аппарата.

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; параметров углового движения космического аппарата; отображение орбитальных векторов; отображение орбитальных и экваториальных плоскостей.

Моделирование производится в трехмерном пространстве, что позволяет наглядно демонстрировать эволюцию орбит со временем. Кроме околоземного пространства возможно перемещение в границах солнеч-

ной системы, а в перспективе и в куда больших масштабах. Движение околоземных космических аппаратов рассчитывается по модели SGP4[1], в то время как движение планет и спутников происходит по идеальным, кеплеровским орбитам. В будущем будет реализовано более реалистичное движение планет, учитывающее взаимное влияние всех небесных тел в Солнечной системе, что позволит точно прогнозировать их положение на многие годы вперед. ПО «VisualSpace» позволяет загружать TLE космических объектов из текстового файла находящегося в папке .../VisualSpace/TLE. При этом составляется список доступных для моделирования объектов, как показано на рис. 1.

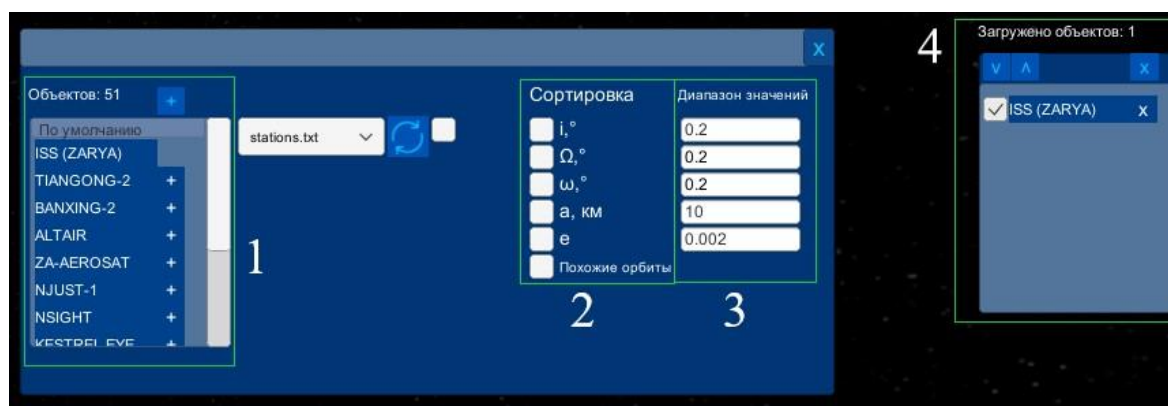


Рис. 1. Загрузка орбитальных параметров в TLE формате для выбранной группы космических аппаратов:

1 – список объектов загруженных из текстового файла с TLE; 2 – сортировка по орбитальным параметрам; 3 – диапазон сортировки; 4 – список активных объектов

В данном списке также доступна возможность сортировки по орбитальным параметрам, при этом можно установить порог значений для каждого параметра, который определяет попадает ли спутник в определенную группу. При нажатии кнопки + объект добавляется во внутреннюю базу данных и может быть “включен” как активный объект.

В будущем будет реализован отдельный интерфейс с подключением к базе данных генерируемых службой North American Aerospace Defense Command (NORAD) для удобного скачивания необходимых TLE, например 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 панель активных спутников, как показано на рис. 2.

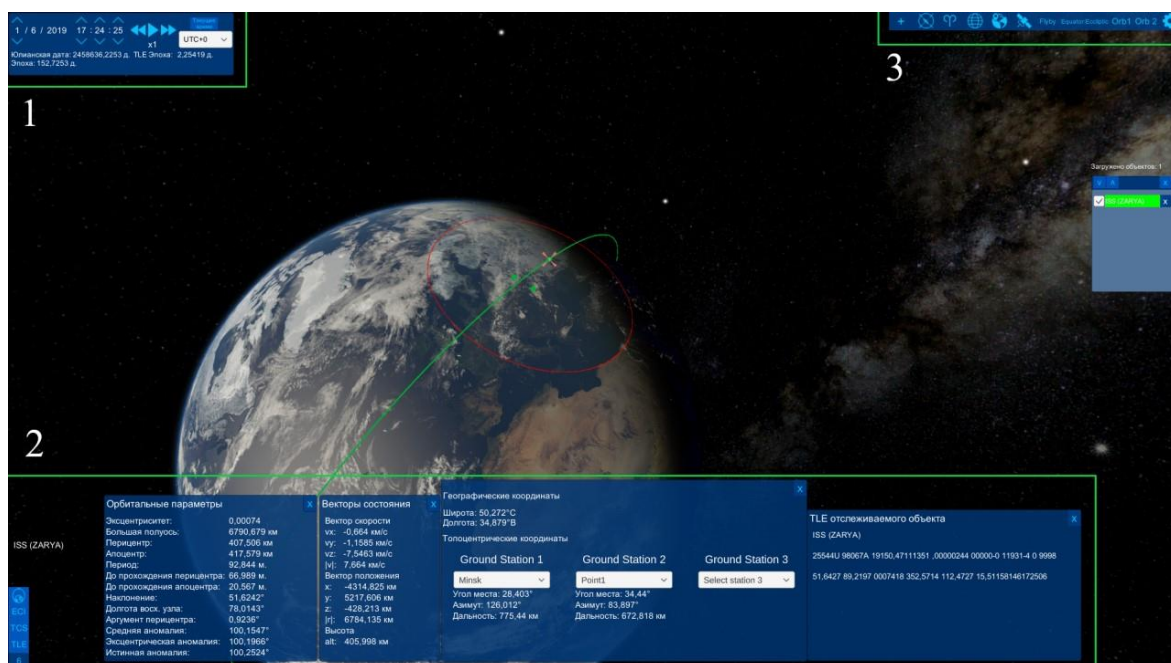


Рис. 2. Элементы графического интерфейса пользователя ПО «VisualSpace»: 1 – панель симуляции времени; 2 – информационные панели; 3 – различный функционал

Режим свободной камеры позволяет перемещаться в пространстве с различной скоростью в гелиоцентрической системе координат. Реализована возможность переходить в системы координат связанные с другими небесными телами и перемещаться относительно этих тел. Камеру также можно центрировать. В таком случае она будет привязана к какому-либо объекту и будет вращаться вокруг него. Для удобства перемещения в пространстве на экране отображается направление вектора скорости, а также ее модуль.

Помимо наблюдения движения в трехмерном пространстве, также присутствует возможность наблюдать положение объекта над поверхностью Земли с визуализацией трассы и радиуса видимости на двухмерной 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.

ПО «VisualSpace» позволяет моделировать угловое движение КА, задавая моменты возмущающих и управляющих сил и его начальную ориентацию относительно геоцентрической системы координат. В настоящее время управление космического аппарата в «VisualSpace» осуществляется по упрощенной модели. Планируется доработка ПО и реализация заданных алгоритмов стабилизации и ориентации.

В программном обеспечении «VisualSpace» реализована аналитическая модель движения восьми основных планет Солнечной системы VSOP87, как показано на 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.

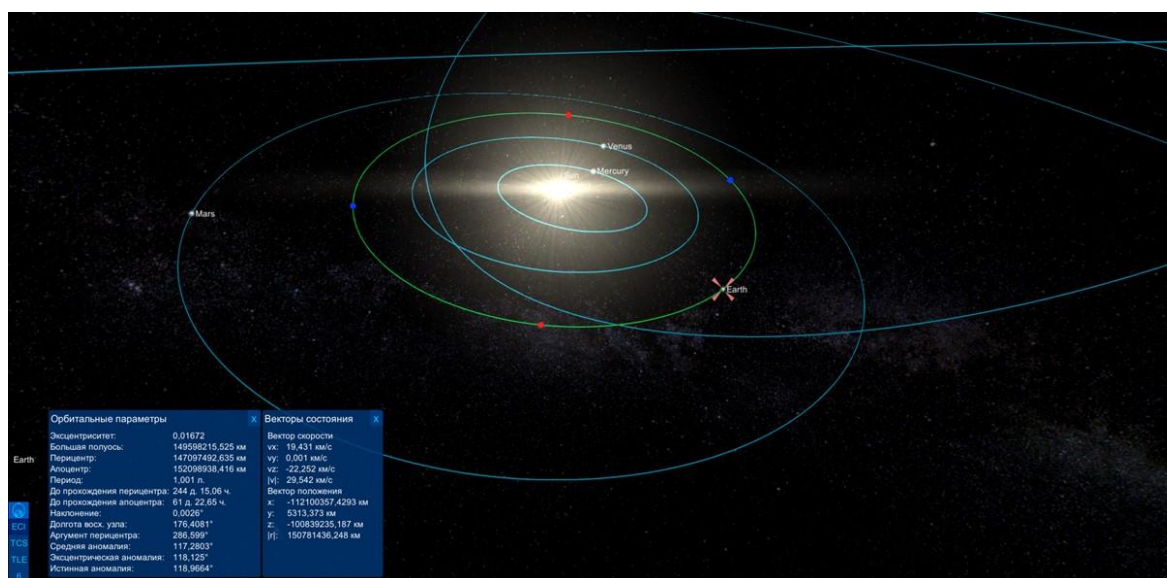


Рис. 3. Модель Солнечной системы

В «VisualSpace» совмещены функциональные возможности трехмерных планетариев (например, Celestia и Space Engine) и программ для отслеживания спутников (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 МКА.

Библиографические ссылки

1. Revisiting spacetrack report #3: Rev 2 [Electronic resource] / D. A. Vallado [et al.] // AIAA Astrodynamics Specialists Conference and Exhibit, Colorado, August 2006. URL: https://www.researchgate.net/publication/268555947_Revisiting_Spacetrack_Report_3 (date of access: 30.05.2019).