

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ДЛЯ ОТВЕДЕНИЯ АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ

© 2017 Е.А. Николаева, О.Л. Старинова

Самарский национальный исследовательский университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 19.04.2017

Представленная работа посвящена одному из методов защиты Земли от астероидной опасности, а именно при помощи гравитационного космического буксира. 3D-математическая модель состоит из астероида, двигающегося под управлением космического буксира и Земли, с учетом гравитационного возмущения от всех тел и реального положения небесных тел в системе. Разработано программное обеспечение для моделирования и визуализации траекторий движения. Получены результаты моделирования, подтверждающие возможность отклонения астероида с опасной траектории при использовании современных космических аппаратов.

*Ключевые слова:* потенциально опасные астероиды, моделирование движения, траектория движения, математическая модель, программный комплекс, космический аппарат.

### ВВЕДЕНИЕ

Проблема астероидной опасности для Земли уже достаточно давно привлекает внимание ученых и общества. Исследование следов катастроф космического происхождения на поверхности Земли и небесных тел и наблюдение астероидов в ближайшем околоземном пространстве, показывают серьезность астероидной опасности для земной цивилизации и необходимость разработки мер для ее предотвращения [2].

Исследования, посвященные вопросам астероидной опасности, охватывают несколько направлений. Прежде всего – обнаружение опасных астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ), и определение их орбит. В настоящее время имеется несколько национальных программ оптического наблюдения этих тел (NASA, LINEAR, ESA). Полагают, что с помощью этих программ выявлено большая часть таких тел, размерами порядка километра и более. Целый ряд исследований и проектов рассматривают меры противодействия небесным пришельцам – изменения их орбит или разрушения на мелкие осколки, сторающие в атмосфере [1].

Актуальность преодоления астероидной опасности в настоящее время не вызывает сомнений и разработка мер по ее предотвращению должна стать одной из важнейших задач, которые должны быть решены человечеством в 21-м столетии [3].

Было произведено множество исследований по изучению астероидов и траекторий их

движения. Так, например в 1975 году Кларк Р. Чапмен, Дэвид Моррисон и Бен Зеллер разработали систему классификации астероидов, опирающуюся на показатели цвета, альbedo и характеристики спектра отражённого солнечного света [4].

Также, ученые разделили все астероиды, существующие в настоящее время в четыре основные категории, названные в честь наиболее известных представителей каждой категории: 1221 Амуры, 1862 Аполлоны, 163693 Атиры и 2062 Атоны [2].

Одной из наиболее важных разработок была качественная шкала оценки опасности столкновения с Землей астероидов и комет, автором которой является американский астроном Р. Бинзелом. Туринская шкала состоит из десяти пунктов. В соответствии с ними астероиды и другие небесные тела классифицируются (с учетом их размера и относительной скорости) по степени опасности для Земли [6].

В разные столетия были предложены множество вариантов преодоления астероидной опасности, такие как: отклонение астероидов с опасной орбиты с помощью кинетического перехватчика, зеркальной системы, с помощью перекрашивания астероида в белый цвет, применения ядерного оружия, солнечного паруса, углеродистых сетей, гравитационного буксира и космического аппарата [5].

Целью нашей работы является изучение метода изменения траектории потенциально-опасного астероида: с помощью гравитационного тягача. Этот метод позволяет провести управляемое отклонение астероида с опасной траектории без использования сложных и не надежных методов захвата вращающегося астероида.

*Николаева Елизавета Андреевна, студентка.*

*E-mail: nikolaevalizaveta@mail.ru*

*Старинова Ольга Леонардовна, доктор технических наук, профессор кафедры космического машиностроения.*

*E-mail: solleo@mail.ru*

## ПРОЕКТНЫЙ ОБЛИК ГРАВИТАЦИОННОГО БУКСИРА

Для выполнения поставленных задач была использована модель электроракетного буксира с солнечной энергоустановкой мощностью 300 кВт, спроектированная сотрудниками РКК «Энергия», проектный облик которой представлен на рис. 1.

Двигательная установка кластерного типа из восьми ЭРД (семь основных двигателей и один запасной). Удельный импульс каждого ЭРД около 2000с, КПД 60%.

На дальности 1 а.е. минимальный уровень тяги ЭРДУ должен быть не менее 18 Н. Требования по удельной массе двигателей – не более 1,9 кг/кВт. Требование по массе карданных подвесов – не более 50% массы двигателей. Требования по конструкции топливных баков – армированные алюминиевые оболочки диаметром 1 м длиной 4,5 м, емкость 4,9 т; рабочее давление 10 МПа. В восьми баках должно быть размещено 40 т ксенона.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ АСТЕРОИДНОЙ ОПАСНОСТИ

Одним из методов отклонения астероидов с опасной орбиты является воздействие на него тяжелого космического аппарата (гравитационный тягач) силами гравитационного притяжения. Данный метод можно реализовать, если разместить в окрестности астероида управляемый КА с электроракетными двигателями. Такие КА разрабатываются, например, в ОАО «РКК «Энергия» для осуществления пилотируемых миссий к Луне и Марсу.

Для моделирования процесса изменения траектории потенциально опасного астероида разработана математическая модель движения двух притягивающих тел – астероида и КА с изменяемой массой и тягой в поле притяжения Солнца. На гравитационном тягаче установлен двигатель, который поддерживает неизменное положение тягача относительно астероида. Траектория астероида за счет гравитационного притяжения изменяется. Модель движения этих

тел относительно Солнца имеет следующий вид (см. формулы (1-7)):

Астероид:

$$\frac{d^2 \bar{r}_1}{dt^2} = -\frac{G \cdot m_2}{r_1^3} \cdot \bar{r}_1 - \frac{G \cdot m_3}{r_{1-3}^3} \cdot (\bar{r}_1 - \bar{r}_3); \quad (1)$$

Гравитационный тягач:

$$\frac{d^2 \bar{r}_3}{dt^2} = -\frac{G \cdot m_2}{r_3^3} \cdot \bar{r}_3 - \frac{G \cdot m_3}{r_{1-3}^3} \cdot (\bar{r}_3 - \bar{r}_1) - \bar{a}; \quad (2)$$

$$\frac{dm_1}{dt} = 0; \quad (3)$$

$$\frac{dm_3}{dt} = -\alpha; \quad (4)$$

где

$$r_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2 + z_1^2}; \quad (5)$$

$$r_3 = \sqrt{x_3^2 + y_3^2 + z_3^2}; \quad (6)$$

$$r_{1-3} = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2 + (z_3 - z_1)^2}; \quad (7)$$

Здесь

$m_3$  – масса тяжелого космического аппарата;

$\bar{r}_1$  – расстояние между астероидом и Солнцем;

$\bar{r}_3$  – расстояние между тяжелым космическим аппаратом и Солнцем;

$\bar{r}_{3-1}$  – расстояние между тяжелым космическим аппаратом и астероидом;

$\bar{a}$  – ускорение от тяги КА.

Схема расположения тел и обозначения в методе предотвращения астероидной опасности с помощью гравитационного тягача представлена на рис. 2.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для изучения и визуализации движения астероида нами был разработан программный комплекс в среде программирования Delphi. В программном комплексе можно задать необходимые характеристики гравитационного тягача, выбрать из списка необходимый астероид, задать расход вещества астероида и ввести дату, на которую мы хотим увидеть орбиту выбранного астероида.

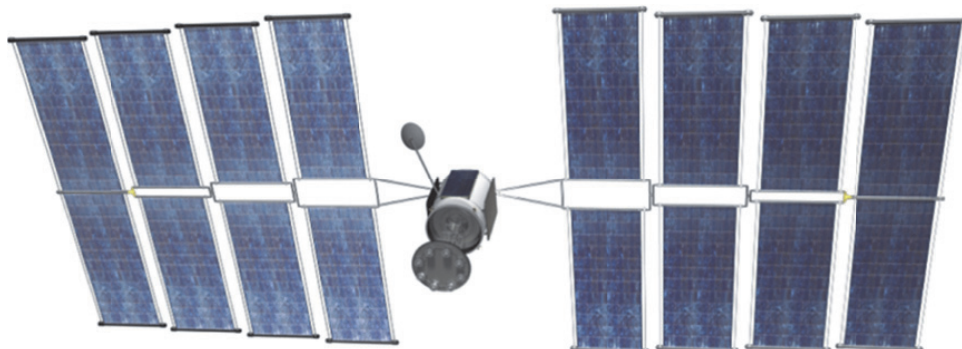


Рис. 1. Проектный облик электроракетного буксира с солнечной энергоустановкой мощностью 300 кВт

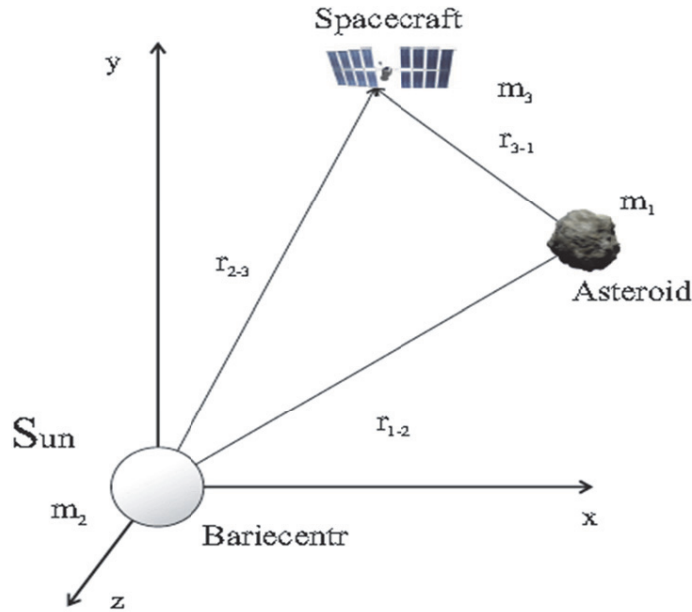


Рис. 2. Схема расположения тел и обозначения в методе предотвращения астероидной опасности с помощью гравитационного тягача

Будем считать, что тяжелый космический аппарат располагается на расстоянии 50 км от астероида.

Моделирование движения тел осуществлялось численно, методом Рунге-Кутты четвертого порядка. Программный комплекс позволяет визуализировать траектории движения всех тел, входящих в систему. При моделировании изменения орбиты мы задавали следующие параметры тяжелого космического аппарата (тягача):

Для расчетов был выбран астероид Эрос, его орбиты под действием гравитационного тягача представлена на рис. 3.

Тяжелый космический аппарат без управления не сможет долгое время двигаться по орбите

астероида. Если взять в качестве управляющего ускорения возмущение от гравитации астероида, то КА может находиться в заданной точке относительно астероида длительное время. Такое управляющее воздействие использовалось при моделировании движения гравитационного тягача. График зависимости угла между векторами тяги и радиус-вектором КА представлен рис. 4.

На рис. 5 представлены зависимости компонент векторов скорости и перемещения КА от времени.

На рис. 6 видим, что данный метод применим для астероидов и его можно использовать для отклонения их с опасных траекторий движения.

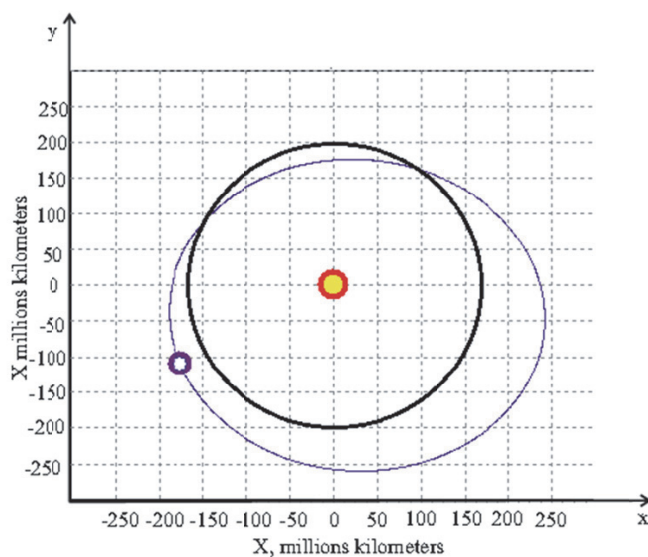
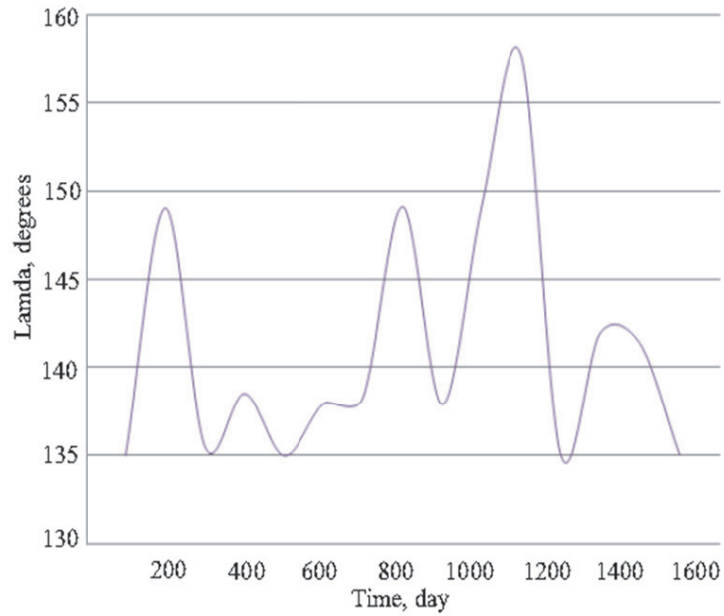
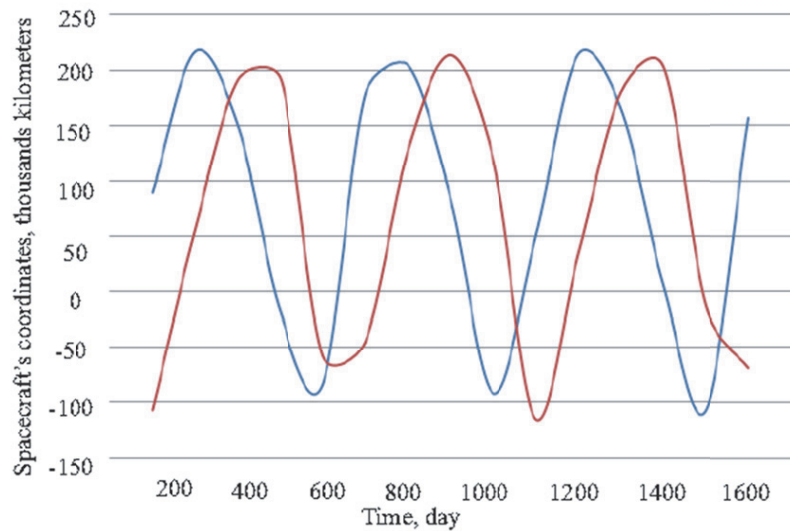


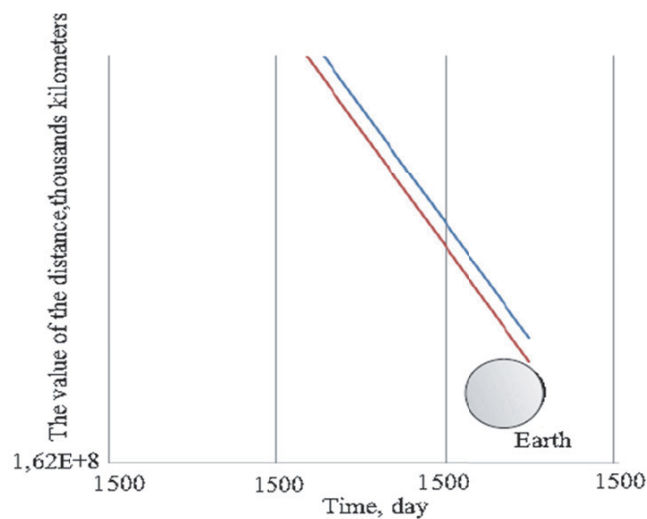
Рис. 3. Орбита астероида Эрос под действием гравитационного тягача



**Рис. 4.** Зависимость угла между радиус-вектором гравитационного тягача-астероида и направления вектора тяги от времени



**Рис. 5.** Зависимости величины скорости и перемещения КА с управлением от времени



**Рис. 6.** Отклонение с опасной орбиты астероида Эрос

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Анализируя проделанную работу, можем сделать выводы, что при расчетах с заданными характеристиками тягача увести Эрос с опасной орбиты можно менее чем за 5 лет. Таким образом, можем сделать выводы, что космический аппарат с такими расчетными характеристиками может быть использован в качестве противодействия астероидной опасности. Кроме того, такие проектно-баллистические характеристики имеют КА с электроракетными двигателями установками, проектирующимися ОАО «РКК Энергия», предназначенные для осуществления транспортных операций для Лунной программы. Это позволит использовать такой буксир и для отклонения от Земли потенциально опасного астероида.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Энеев Т.М.* К вопросу об астероидной опасности. М: Препринт ИПМ им. М.В.Келдыша, 2011. № 35. С. 40-47.
2. *Шустов Б.М., Рыхлова Л.В.* Астероидно-кометная опасность: новые подходы. М: Вестник Российской академии наук, 2009. Т. 79. № 7. С. 379-586.
3. *Зайцев А.В.* Некоторые принципы построения системы предотвращения столкновений Земли с астероидами и кометами // Труды XXIII Чтения К.Э. Циолковского (Калуга, 13-16 сентября 1988 г.). Секция «Проблемы ракетной и космической техники». М.: ИИЕТ АН СССР, 1989. С. 141-147
4. *Андрущенко В. А., Шевелев Ю.Д.* Обстрел Земли из космоса – хроники столетия // Компьютерные исследования и моделирование, 2013. Т. 5. № 6. С. 907-916.
5. *Карпенко Ю. А., Суперанская А.В.* Глава VII. Астероиды. Названия звездного неба. М.: Наука, 1981. 184 с
6. *Алексеев А. С., Ведерников Ю.А., Лаврентьев М.М.* Обзор проектов систем противодействия столкновениям астероидов с Землей. М.: Большая Медведица, 2002. № 1. С 144 – 157.

**THE USE OF HEAVY SPACE TUG TO DIVERT AN ASTEROID OF DANGER**

© 2017 E. A. Nikolaeva, O. L. Starinova

Samara National Research University named after Academician S. P. Korolyov

The present work is devoted to one of the methods of protecting the Earth from asteroid's danger, namely, the use of the gravitational space tug. A 3D mathematical model of control movement asteroid, space tug and Earth taking into account the gravity perturbation from all bodies including in system and the real position of celestial bodies. A software package the simulation and visualization of the trajectories is designed. The obtained simulation results confirm the possibility of the deviation of the asteroid from a dangerous trajectory by the use of modern spacecraft.

*Keywords:* potentially hazardous asteroids, traffic simulation, trajectory, mathematical model, software system, spacecraft.

---

*Elizaveta Nikolaeva, Student.*

*E-mail: nikolaevalizaveta@mail.ru*

*Starinova Olga Leonardovna, Doctor of Technics, Professor at the Space Engineering Department.*

*E-mail: solleo@mail.ru*