

УДК 629.78:531.55

О задаче соревнования GTOC 13 «Первое роботизированное исследование человечеством гипотетической экзопланетной системы»

Самохин Александр Сергеевич^{1(*)}samokhin@ipu.ru
SPIN-код: 7994-9153Самохина Марина Александровна¹ph@ipu.ru
SPIN-код: 7993-9470Галяев Андрей Алексеевич¹galaev@ipu.ru
SPIN-код: 4632-0472Самохина Людмила Александровна²

ludasamokhina@gmail.com

¹ ИПУ РАН, Москва, Россия² АНО ВО «Центральный Университет», Москва, Россия

Аннотация. В докладе представлены постановка и решение задачи 13-го международного конкурса по оптимизации траекторий GTOC о проектировании многолетней исследовательской миссии в экзопланетной системе Альтаира. Основная сложность задачи состояла в строгих ограничениях: 200-летний срок миссии, отсутствие химического топлива и необходимость использования гравитационных маневров и солнечного паруса. Для построения траектории использовался комбинированный подход, основанный на решениях задачи Ламберта и методе стрельбы. В результате удалось реализовать программный комплекс, строящий семейства баллистических траекторий, в которых осуществляются пролеты 20 и более планет системы.

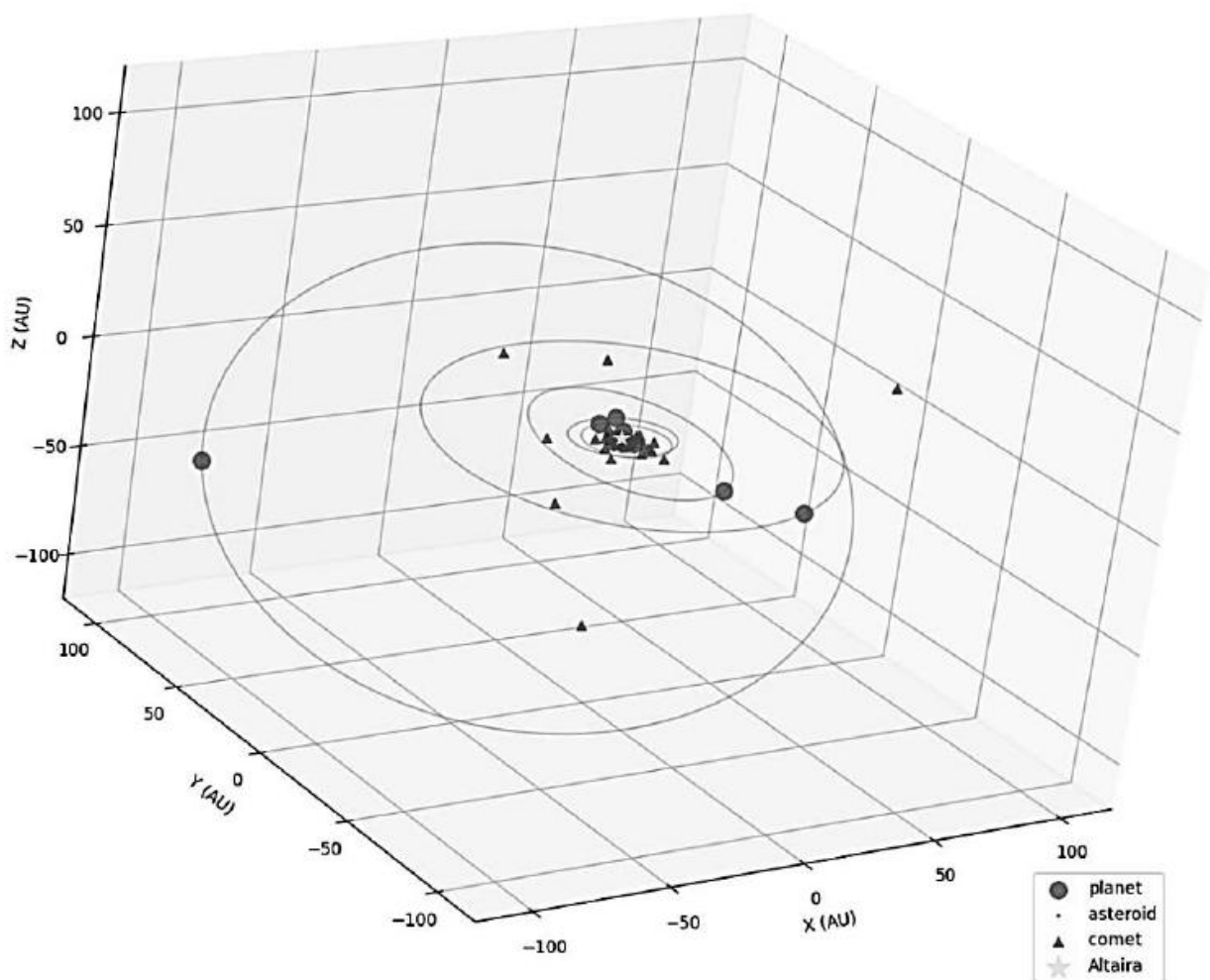
Ключевые слова: GTOC, оптимизация траектории, гравитационные маневры, проектирование межпланетных путешествий, проектирование космических миссий, задача Ламберта, метод стрельбы, импульсные перелеты

Введение. Global Trajectory Optimization Competition (GTOC) — это мероприятие, проводимое раз в два года, которое собирает ведущих мировых инженеров и математиков для решения сложных задач в области астродинамики. В 13-м конкурсе GTOC, организованном Лабораторией реактивного движения НАСА, участникам была предложена задача под названием «Первое роботизированное исследование человечеством гипотетической экзопланетной системы». Она требовала от команд разработки многолетней миссии по исследованию системы Альтаира [1].

Постановка задачи и методы решения. Космический корабль начинает свою миссию с высокой межзвездной скоростью на расстоянии 200 а.е. от Альтаира, причем практически все химическое топливо уже исчерпано к началу миссии после межзвездного перелета, поэтому траектория должна полностью состоять из баллистических маневров, гравитационных маневров вблизи массивных планет и дополнительное солнечное парусное движение. Миссия осуществляется в строго ограниченном временном интервале в 200 лет, начиная с начальной эпохи, когда положение космического корабля в плоскости u – z ,

перпендикулярной направлению входящей скорости, можно выбирать свободно.

Научной целью миссии является всестороннее изучение системы, изображенной на рисунке, а ее достижение оценивается с помощью сложной системы баллов. Каждое небесное тело имеет определенный вес, отражающий его научную ценность, от 0,1 для Вулкана до 50 для Планеты X, при этом астероиды оцениваются в 1 балл, а кометы — в 3. Система оценки включает в себя штраф за скорость, уменьшающий вознаграждение за пролеты с высокой скоростью, штраф за сезонное разнообразие, стимулирующий наблюдения при различных фазовых углах, бонус за посещение всех планетных тел и не менее 13 малых тел — функционал умножается на 1,2, а также бонус за время сдачи решения, который линейно уменьшается в течение периода соревнования.



GTOS 13: Система Altaira — Кеплеровские орбиты и начальные положения тел

Наша команда Pink Elephants Group начала с анализа функционала и математической модели задачи. Вместо того чтобы пытаться решить всю оптимизационную задачу напрямую, мы сосредоточились на построении допустимых

траекторий с относительно высокими значениями функционала. На начальном этапе мы отказались от использования солнечных парусов и строили траектории на основе упрощенной, чисто баллистической модели движения.

Мы использовали решения Ламберта для получения первоначальных оценок скорости для баллистических участков траектории между гравитационными маневрами, которые затем использовались в методе стрельбы для получения решений, удовлетворяющих граничным условиям и строгим ограничениям задачи. Для решения задачи использовался подход разбиения задачи на подзадачи с их последовательным решением, задача рассматривалась как динамическая задача коммивояжера. Метод решения задач Ламберта нашей командой, и дальнейшего уточнения полученных траекторий на основе построения лестницы вспомогательных задач в рамках соревнований ГТОС подробно описан в работах [2, 3].

Заключение. Такой подход позволил нашей команде за короткое время построить тривиальное решение — перелет к планете X с начальной скоростью 1,711 км/с и значением функционала 53,231. В результате дальнейшего исследования нами был реализован программный комплекс, просчитывающий цепочки облетов от 1 до пары десятков планет системы Altaira, и выдающий решения, удовлетворяющие строгой проверке организаторов. Комплекс позволил построить траектории с цепочками из более чем 20 планет, но лучшее по функционалу нетривиальное решение, которое нам удалось получить во время соревнований состоит из облета 10 планет системы с начальной скоростью 8,061 км/с за 199,99 лет с итоговым значением функционала 143,353.

Список источников

- [1] *GTOC 13 Official Homepage*. URL: <https://gtoc.jpl.net/gtoc13> (дата обращения 17.11.2025).
- [2] Samokhin A. Method for solving the problem of multiple objects interception by a group of guided spacecraft in impulsive formulation. *Acta Astronautica*, 2026, vol. 239, pp. 32–38. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.10.058>
- [3] Galyaev A., Samokhin A., Samokhina M. Automated mission design method for multiple target interception using low-thrust spacecraft groups. *Acta Astronautica*, 2026, vol. 239, pp. 546–552. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.10.076>