

УДК 51-74

Метод проектно-баллистического анализа зондов главного пояса астероидов

Малов Егор Антонович

egor241202@gmail.com

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Изучены тенденции в развитии основных технических решений автоматических межпланетных станций для исследования астероидов. Предложено новое направление исследований астероидов — геологическая разведка. Выявлены особенности, которые должны быть свойственны таким аппаратам. Предложен метод построения перелетных траекторий, аппаратов с двигателем малой тяги, к астероидам главного пояса. Предложен вариант уравнения массового анализа зонда. На основании исследования перелетных траекторий и уравнений массового анализа были предложены параметры траекторий и набор проектно-баллистических параметров специального вида. Предложен метод выбора этих проектно-баллистических параметров с учетом особенностей аппарата.

Ключевые слова: проектно-баллистические параметры, автоматические межпланетные станции, уравнения массового анализа, построение перелетных траекторий

Астероиды главного пояса представляют особый интерес с точки зрения промышленного освоения, ввиду возможности построения межорбитальных логистических маршрутов, как между этими астероидами, так и как перевалочный пункт на пути экспедиций к внешним планетам. Первым шагом к их освоению может служить программа по их геологической разведке. К текущему моменту времени уже было проведено несколько миссий к астероидам. Их стоимость оценивается в 100–1000 млн долл. [1]. При серийном выпуске стоимость аппарата можно уменьшить. Серийный выпуск предполагает использование одной конструкции аппарата для разных астероидов. Исследования в области проектирования таких аппаратов не проводятся, а имеющиеся методы не позволяют учесть специфические требования к характеристикам зонда. Поэтому требуется такую методику построить.

С учетом опыта проектирования существующих аппаратов для исследования астероидов, можно выделить требования к проектируемому аппарату: существенная способность к выбору перелетной траектории; малая зависимость от положения планет; применение освоенных технологий. Этим требованиям отвечает аппарат с такими особенностями:

- двигательная установка — электроракетный двигатель;
- схема полета — прямая, с выходом на орбиту целевого тела;
- источник электроэнергии — фотоэлектрические преобразователи (ФЭП);
- назначение — главный пояс астероидов.

Чтобы провести проектно-баллистический аппарата требуется разбить этот анализ на несколько частей: определение перелетных траекторий, построение уравнений массового анализа, получение проектно-баллистических параметров.

Определение перелетных траекторий было произведено при помощи комбинированного метода оптимизации, основанного на принципе максимума Понтрягина [2] и алгоритма последовательного синтеза транспортирующей траектории.

Для построения уравнений массового анализа были адаптированы таковые для солнечного буксира с электроракетным двигателем [3]. При помощи этих уравнений удалось определить параметры траекторий (1), определяющие эти уравнения относительно удельного импульса и проектно-баллистические параметры (2) определяющие массовые характеристики зонда:

$$V_{\text{хар}}, P_{\text{сб.з.}}^*, \frac{\partial P_{\text{сб.з.}}^*}{\partial I_{\text{эрд}}^*}, F_{\text{мах}}^*; \quad (1)$$

$$I_{\text{эрд}}^{**}, V_{\text{хар}}^{**}, P_{\text{сб.з.}}^{**}, F_{\text{мах}}^{**}, \quad (2)$$

где $V_{\text{хар}}$ — затраты характеристической скорости на траектории; $P_{\text{сб.з.}}^*$ — необходимая мощность солнечных батарей у Земли, при значении удельного импульса $I_{\text{эрд}}^*$; $F_{\text{мах}}^*$ — максимальная тяга двигателей на траектории; $I_{\text{эрд}}^{**}$ — удельный импульс двигателя; $V_{\text{хар}}^{**}$ — характеристическая скорость; $P_{\text{сб.з.}}^{**}$ — мощность ФЭП у Земли; $F_{\text{мах}}^{**}$ — максимальная тяга двигателей.

Получение проектно-баллистических параметров зонда основывалось на поиске таких (2), которые бы соответствовали наиболее широкому множеству параметров траекторий (1). Полезная нагрузка зонда при этом фиксируется.

Выше обозначенным образом определяется структура метода проектно-баллистического анализа зондов главного пояса астероидов. Метод позволяет получать основные параметры конструкции такого зонда при различных параметрах его отдельных узлов. Что позволяет использовать его на ранних этапах проектирования, при определении исходных данных для последующих этапов проектирования и технико-экономического анализа.

Список источников

- [1] McCurdy H.E. *Low-Cost Innovation in Spaceflight, National Aeronautics and Space Administration Office of External Relations History Division*. Washington, DC 2005, 86 p.
- [2] Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В. *Математическая теория оптимальных процессов*. Москва, Государственное издательство физико-математической литературы, 1961, 391 с.
- [3] Горшков Л.К., Мосин Д.А., Синявский В.В. Моделирование перелета Межорбитального буксира с солнечной электроракетной двигательной установкой. *Космическая техника и технологии*, 2023, № 1 (40), с. 75–93.