УДК 621.002.56

В. С. СЕНЬКИН, С. В. СЮТКИНА-ДОРОНИНА

СОВМЕСТНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СЛУЧАЙНОГО ПОИСКА С ГРАДИЕНТНЫМИ МЕТОДАМИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ПРОГРАММ УПРАВЛЕНИЯ РАКЕТНЫМ ОБЪЕКТОМ

Институт технической механики
Национальной академии наук Украины и Государственного космического агентства Украины,
ул. Лешко-Попеля, 15, 49005, Днепр, Украина; e-mail: svetasut2012@gmail.com

Цель статьи – разработка методического обеспечения для оптимизации на начальном этапе проектирования основных характеристик управляемого объекта (УО) с маршевым ракетным двигателем на твёрдом топливе, включающая формализацию комплексной задачи совместной оптимизации проектных параметров, параметров траектории и программ управления движением УО, который может осуществлять полёт по баллистической, аэробаллистической или комбинированной траекториям. Задача сформулирована как задача теории оптимального управления с ограничениями в виде равенств и дифференциальных связей. В состав оптимизируемых параметров включены проектные параметры УО и параметры, позволяющие формировать программы управления движением УО на различных участках траектории. Предложен подход к формированию программ управления УО в виде полиномов, позволивший свести задачу теории оптимального управления к задаче нелинейного математического программирования. Проведен обзор методов оптимизации и выполнен сравнительный анализ методов случайного поиска с градиентными методами. Показана целесообразность применения на первом этапе генетического алгоритма случайного поиска, с помощью которого проводится быстрое и полное исследование всего пространства поиска оптимального решения и находится решение, наиболее приближенное к глобальному оптимуму целевого функционала. Затем на последующем этапе предлагается использовать градиентный метод покоординатного спуска в окрестности найденного на первом этапе решения для нахождения глобального оптимума целевого функционала. Предложенный подход для решения сформулированной задачи позволяет с необходимой для проектных исследований точностью определять оптимальные в заданном классе функций программы управления движением и рациональные значения проектных параметров УО. Приведенные алгоритмы, использованные для оптимизации проектных параметров, параметров траектории и программ управления УО, могут использоваться проектными организациями на начальном этапе проектирования объектов ракетно-космической техники различного назначения.

Ключевые слова: *управляемый объект, маршевый ракетный двигатель на твёрдом топливе, начальный этап проектирования, проектные параметры, программы управления движением, целевой функционал, оптимизация, методы случайного поиска, градиентные методы.*

1. *Тарасов Е. В.* Алгоритм оптимального проектирования летательного аппарата. М.: Машиностроение. 1970. 364 с.
2. *Разумев В. Ф., Ковалев Б. К.* Основы проектирования баллистических ракет на твердом топливе. М.: Машиностроение, 1976. 356 с.
3. Tewari Ashish. Advanced control of aircraft, spacecraft and rockets. Kanpur: John Wiley & Sons, 2011. 456 p.
4. *Сенькин В. С., Сарычев А. П.* Выбор проектных параметров и программ управления на начальном этапе проектирования ракет-носителей. Техническая механика. 2014. № 3. С. 33–47.
5. *Сенькин В. С.* Комплексная задача оптимизации проектных параметров и программ управления твердотопливной ракеты-носителя сверхлегкого класса. Техническая механика. 2012. № 2. С. 106–121.
6. *Кротов В. Ф., Гурман В. И.* Методы и задачи оптимального управления. М.: Наука, 1973. 446 с.
7. *Алпатов А. П., Сенькин В. С.* Комплексная задача оптимизации основных проектных параметров и программ управления движением ракет космического назначения. Техническая механика. 2011. № 4. С. 98–113.
8. *Пантелеев А. В., Летова Т. А.* Методы оптимизации в примерах и задачах: учебник для вузов. М.: Высш. шк., 2005. 544 с.
9. *Рассел Стюарт, Норвиг Питер* Искусственный интеллект: современный подход. Пер. с англ. М. : Издательский дом «Вильямс», 2007. 1408 с.

Получено 24.05.2018,
в окончательном варианте 15.06.2018