

УДК 629.762.5  
517.977.58

## **Сравнение прямого и непрямого методов в задаче оптимизации траектории полёта управляемой авиационной ракеты с РДТТ**

*Лёвин С.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Центральный Аэрогидродинамический Институт им. Н.Е. Жуковского

Цель работы заключалась в проведении сравнения результатов решения задачи оптимального управления прямым методом полиномов с решением, удовлетворяющим необходимым условиям оптимальности – принципом максимума Л.С. Понтрягина [1], даваемым непрямым методом. Актуальность решения задачи оптимизации траектории полёта авиационных управляемых ракет с РДТТ связана с необходимостью выбора наилучших параметров компоновки последней.

Полёт рассматриваемых летательных аппаратов имеет существенно нестационарный характер изменения как фазовых (высота, скорость, угол наклона траектории и т.д.), так и управляющих (угол атаки) переменных. В связи с этим, решение соответствующей задачи оптимального управления проводится численными методами, не допускающими упрощающих предположений для уравнений движения. Практический характер задачи также выражается в табличном способе задания исходных данных, наличии ограничений на управляющие переменные, необходимости учёта свойств атмосферы. Кроме того, к методу решения также предъявляются требования по быстродействию, связанные с необходимостью решения серии задач оптимизации траекторий полёта при различных параметрах аэродинамической компоновки и краевых условиях по высоте, скорости и углу наклона траектории.

Наиболее подходящим методом, применяемым в инженерной практике работы с НИИ и ОКБ, представляется метод полиномов. Суть метода заключается в аппроксимации траектории полёта последовательностью полиномов 5-й степени в плоскости "высота-дальность", сопрягающихся между собой по координате и первой производной, и решении задачи нелинейного программирования в пространстве коэффициентов полиномов.

Для получения решения, удовлетворяющего принципу максимума Л.С. Понтрягина, была использована комбинация методов "direct collocation" ("DC") и "multiple shooting" ("MS").

Сравнение показало, что решение задачи оптимизации траектории полёта управляемой авиационной ракеты с РДТТ методом полиномов близко к решению, удовлетворяющему принципу максимума Л.С. Понтрягина, по функционалу, управляющим и фазовым переменным (рис. 1).

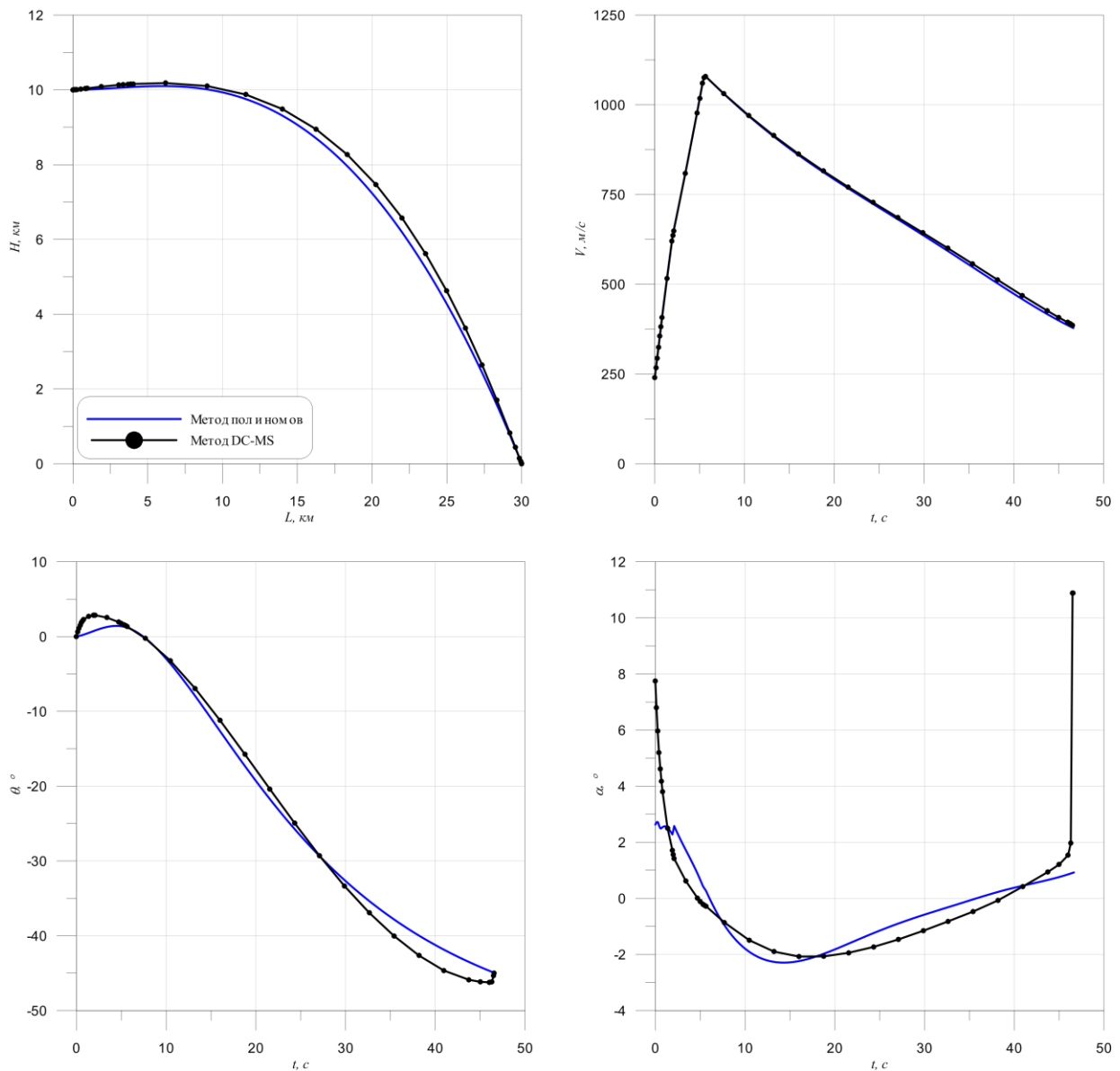


Рис. 1. Траектории, полученные методом полиномов и комбинацией методов "DC-MS". Точками отмечены узлы сетки по времени, применявшейся методе "MS".

### Литература

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. 4-е изд. – М.: Наука, 1983. 392 с.
2. Bulirsh R., von Stryk O. Direct and Indirect Methods for Trajectory Optimization // Annals of Operations Research, 1992, V. 37, P. 357-373.
3. Bulirsh R., Nerz E., Pesh H.J., von Stryk O. Combining Direct and Indirect Methods in Optimal Control: Range Maximization of a Hang Glider // International Series of Numerical Mathematics, 1993, V. 111. P. 273-286.