

УДК 629.7.067.8

Математическое моделирование работы маловысотного контура автоматического управления летательного аппарата при полете над трехмерным рельефом местности

Ржанов Егор Алексеевич^(*)Egor.Rzhanov@okb.yakovlev.ru
SPIN-код: 2712-7785

ПАО «Яковлев», Москва, Россия

Аннотация. Рассмотрена задача математического моделирования работы маловысотного контура (МВК) автоматического управления летательного аппарата (ЛА) для обеспечения безопасного маловысотного полета (МВП) над трехмерным рельефом местности. Представлены разработанные алгоритмы сканирования пространства в вертикальной и горизонтальной плоскостях бортовой радиолокационной станцией (БРЛС) и формирования управляющих сигналов по углу тангажа и крена. Показаны результаты моделирования, подтверждающие корректность работы алгоритмов и возможность их применения в комплексных системах управления полетом. Сделаны выводы о перспективности дальнейшего развития алгоритмов для формирования наиболее оптимальной траектории полета.

Ключевые слова: маловысотный полет, маловысотный контур, бортовой радиолокатор, математическое моделирование, трехмерный рельеф местности, управление по крену, управление по тангажу

Введение. Одним из эффективных тактических приемов преодоления противовоздушной обороны являются полеты на малых высотах. Для обеспечения безопасности МВП требуется реализация МВК, способного обеспечивать облет препятствий не только в вертикальной, но и в горизонтальной плоскости. Это обуславливает необходимость расширения двумерной (2D) модели МВК до трехмерной (3D) и разработки соответствующих алгоритмов сканирования и анализа пространства [1]. Целью данной работы является разработка и исследование методов математического моделирования работы МВК при полете над 3D-рельефом местности.

Методы и материалы; результаты. Исследование выполнено с применением моделирующего комплекса на базе Matlab/Simulink [2, 3]. Для моделирования близких к реальным условий полета, разработан генератор 3D-рельефа, формирующий ландшафты с заданными углами наклона и пространственными границами, обеспечивающий воспроизводимость результатов.

Для имитации работы БРЛС создан алгоритм сканирования пространства в заданном секторе по азимуту, определяющий точки пересечения виртуальных лучей с поверхностью рельефа. С целью снижения вычислительной нагрузки реализована оптимизация, исключаяющая обработку нерелевантных участков местности. Особые случаи (отсутствие пересечений, бесконечное множество решений) обрабатываются с применением аппроксимации полиномиальными функциями.

На основе анализа рассчитанных дальностей разработан алгоритм формирования управляющего сигнала по тангажу ($\Delta\varphi$) и по крену ($\Delta\gamma$), направляющий ЛА в сторону наименьшей опасности. Для исключения циклического маневрирования в контур управления введена надстройка, корректирующая курс полета при значительном отклонении.

Заключение. Разработаны алгоритмы управления в вертикальной и горизонтальной плоскостях для МВП, синтезирована методика моделирования работы МВК без полетных данных от БРЛС и с возможностью формирования различных рельефов местности. Получены результаты моделирования процесса полета самолета на малых высотах, из которых видно, что исследуемый объект успешно облетает все заданные виды рельефов, выдерживая при этом требуемую высоту полета.

Список источников

- [1] Ржанов Е.А. Маловысотный контур для полетов на малых высотах в вертикальной плоскости по углу отклонения антенны радиолокатора. *LI Гагаринские чтения: сб. тез.* Москва, 2025, с. 217–218.
- [2] Гайдук А.Р. *Теория автоматического управления в примерах и задачах с решениями в MATLAB.* Санкт-Петербург, Лань, 2011, 464 с.
- [3] Бокарев М.А., Братчиков А.И. Применение средств математического моделирования при сопровождении процесса проведения летных испытаний. *Гагаринские чтения – 2018. XLIV Междунар. молодежная науч. конф.: сб. тез.* Москва, МАИ, 2018, т. 1, с. 89–90.