

УДК 621.002

*Осинов К.Н.,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Приборные системы и автоматизация
технологических процессов»
Севастопольский государственный университет
г. Севастополь, Россия, 299000*

К ВОПРОСУ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ДВИЖЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Аннотация: в работе рассматриваются вопросы использования современных средств имитационного моделирования для решения задач оценки параметров движения беспилотных летательных аппаратов на примере исследования динамики полета управляемой ракеты на этапе разработки и проектирования.

Ключевые слова: адаптивная фильтрация, моделирование, оценка состояния, имитационное моделирование, УР.

Abstract: in the paper the questions of the use of modern means of simulation for solving the problems of estimation of the parameters of the motion of unmanned aerial vehicles is proposed.

Key words: missile, simulation, Simulink.

Задачи совершенствования методов управления движением беспилотных летательных аппаратов, в том числе управляемых ракет (УР), по-прежнему остаются актуальными [1], что объясняется постоянным ужесточением требований к точности наведения на цель, летным характеристикам, а также необходимостью сокращения затрат на испытания, доводку конструкторских решений и т.д. Кроме этого, актуальность исследований в данной области объясняется необходимостью

постоянного совершенствования и поддержания конкурентоспособности отечественных наукоемких импортозамещающих технологий [2]. Решение указанных задач неразрывно связано с совершенствованием методов и алгоритмов моделирования исследуемых изделий (динамических объектов) для проведения вычислительных экспериментов с целью оценки их технических состояний и кинематических параметров движения, а также оценки реакции систем на возможные управляющие воздействия на этапе проектирования и доводки.

Обзор современной научной и технической литературы, например, [1-4] показал, что в подавляющем большинстве решение задач имитационного моделирования с целью оценки состояний сложных динамических объектов и систем на этапе проектирования достигается использованием программных средств, основанных на высокоуровневых или метаязыках программирования, например, Maple, Payton, Java, C++ или Mathcad. Это объясняется гибкостью программных модулей, скоростью вычислений, небольшими системными требованиями, а в некоторых случаях и наличием бесплатного дистрибутива. Однако использование языков программирования высокого уровня, например, C++ в инженерной практике, инженерами и проектировщиками, которые незнакомы с парадигмами объектно-ориентированного программирования, вызывает многократное увеличение трудоемкости и снижение результативности процесса моделирования и оценки принимаемых конструктивных решений, а в некоторых случаях превращает процесс проектирования изделий в процесс изучения прикладных программных продуктов. Кроме этого многие используемые в настоящее время прикладные программы не поддерживают возможность визуализации процесса работы программ.

В результате возникает задача определения наилучшего, с точки зрения трудоемкости, прикладного программного продукта для решения задач

организации процесса имитационного моделирования сложных систем с возможностью визуализации процессов работы моделей, особенно в условиях реального времени.

Целью данной работы является анализ возможностей современного программного комплекса визуального моделирования MatLab/Simulink, для моделирования и оценки параметров движения динамических объектов и систем, используя демонстрационные модели и функции, предлагаемые компанией *mathworks*. В качестве исследуемого объекта выбран беспилотный летательный аппарат типа управляемой ракеты (УР).

Процесс движения беспилотного летательного аппарата состоит из нескольких основных этапов: старт, автономный полет, наведение на цель и сближение с целью [5]. При этом в процессе движения на беспилотный летательный аппарат (далее БЛА) действуют аэродинамические силы и моменты, которые можно свести к результирующим величинам R и M , соответственно. Однако в практике удобнее рассматривать не результирующие векторы, а их проекции на оси какой-либо системы координат, например, скоростной. Начало скоростной системы координат совпадает с центром масс БЛА, ось ox направлена по вектору скорости центра масс, ось oy лежит в плоскости симметрии летательного аппарата, ось oz перпендикулярна плоскости xOy и направлена в сторону правого крыла.

Аэродинамические силы и моменты в общем виде являются нелинейными величинами, которые являются функцией от большого числа переменных: параметров воздуха, скорости полета, ориентации ракеты, ее ускорения, маневра, внешних возмущений и т.д. Аналитическое описание этих функциональных зависимостей рассмотрено в работах [1,3].

В процессе движения управление БЛА осуществляется путем изменения величины ускорения центра масс ракеты по заданному закону, например, пропорционально скорости цели относительно летательного

аппарата или скорости вращения линии визирования (ЛВ) относительно мгновенного центра. Линия визирования – это прямая соединяющая центры масс БЛА и цели (рис.1).

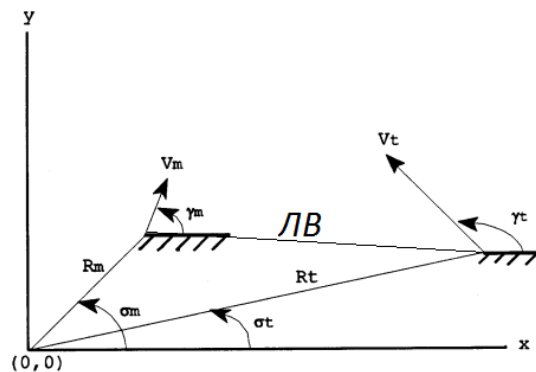


Рисунок 1 – Кинематика движения БЛА и цели

В каждый момент времени требуемые значения управляющего воздействия формирует автопилот, основываясь на параметрах движения БЛА и цели, которые определяются по результатам измерений и оценки основных параметров, которыми являются следующие (рис.1):

R_m – расстояние до БЛА;

R_t – расстояние до цели;

V_m и V_t – скорость БЛА и цели, соответственно;

γ_m и γ_t – угол, определяющий направление вектора скорости БЛА и цели, соответственно.

σ_m и σ_t – угол, определяющий положение БЛА и цели, соответственно.

Детальное аналитическое описание процесса формирования управляющего воздействия отражено в работах [1-4].

Для реализации задач оценки кинематических параметров движения УР на этапе проектирования комплексная модель должна содержать часть описывающую формирование координат цели, часть описывающую процесс движения ракеты, а также часть описывающую процесс ее автоматизированного управления. Решение указанной задачи может быть достигнуто использованием современного ППО MatLab/Simulink.

Визуализированная имитационная модель полета БЛА построенная в среде MatLab/Simulink на базе уравнений, описанных в [1-4], а также с использованием библиотек и свободно распространяемых прототипов компании *MathWorks Inc* представлена на рис.2.

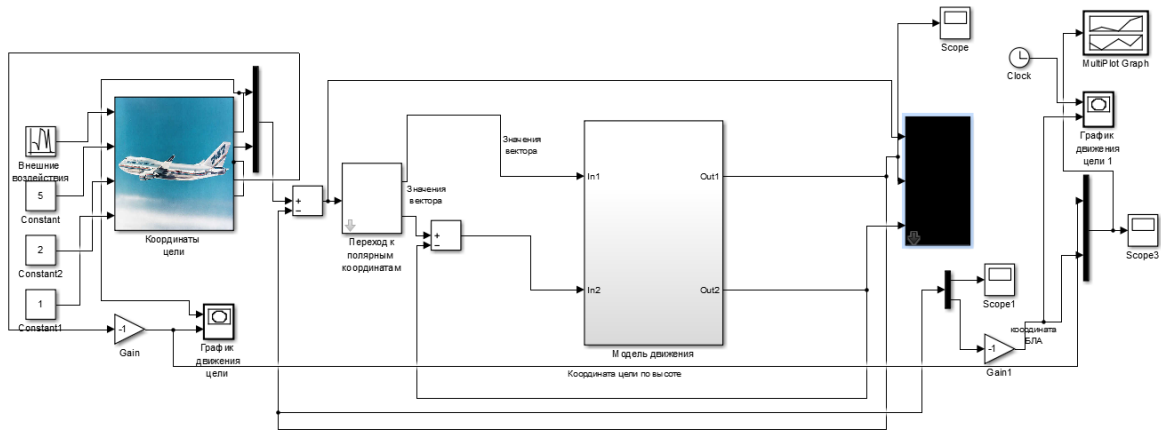


Рисунок 2. – Модель управляемого движения БЛА

Фрагмент результатов моделирования представлен на рисунках 3-5.

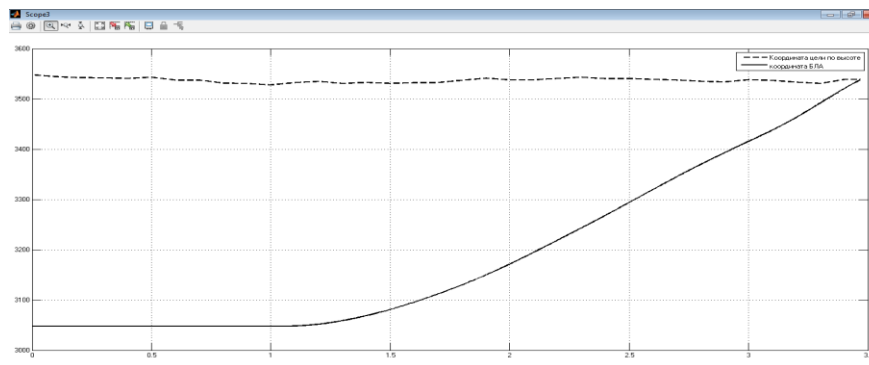


Рисунок 3 – Результат моделирования процесса сближения БЛА и цели

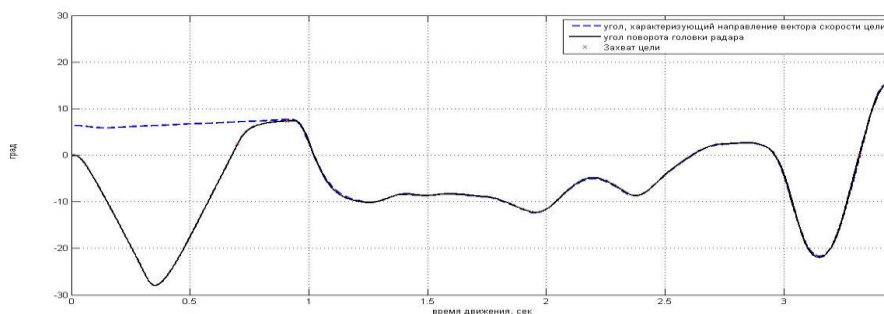


Рисунок 4 – Результат моделирования захвата цели

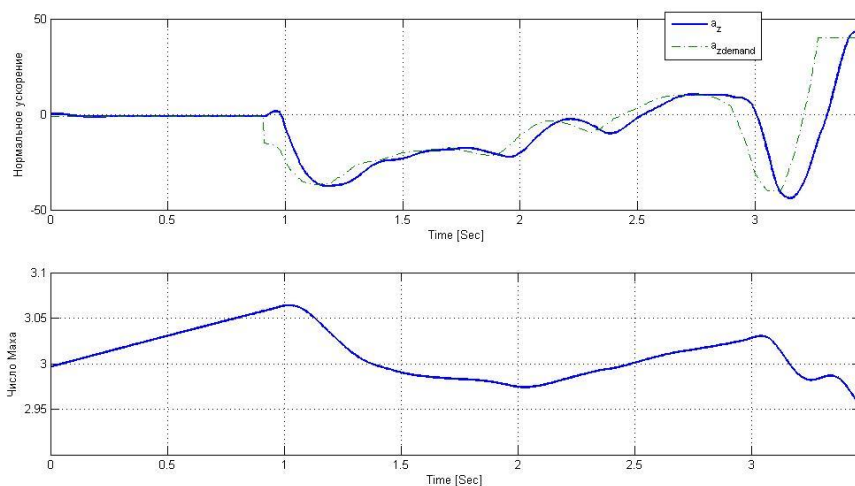


Рисунок 5 – Параметры движения БЛА: нормальное ускорение (сверху) и число маха (снизу)

На рисунке 3 сплошной линией изображен график, иллюстрирующий изменение координаты БЛА в вертикальной плоскости, пунктиром – цели. По оси абсцисс отложено время полета. Результаты моделирования совпадают с эталонными значениями из [7], что позволяет сделать предположение об адекватности модели.

Анализ процесса моделирования показал, что система имитационного моделирования Simulink, с меньшей трудоемкостью, по сравнению с языками программирования высокого уровня и мета языками, позволяет решать задачи анализа характеристик сложных динамических объектов и систем на этапе их проектирования и доводки. В перспективе, полученные результаты моделирования могут быть использованы для исследования алгоритмов оценки ненаблюдаемых параметров движения БЛА, в том числе в условиях априорной неопределенности.

Библиографический список

1. Мизрохи В.Я. Проектирование управления зенитных ракет. – М.: Изд-во ООО «Экслибрис-Пресс», 2010. – 252 с.

2. Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации: Указ от 07 июля 2011 г. № 899 [Электронный ресурс] // <http://www.kremlin.ru>.
3. Мизрохи В.Я. Новый подход к использованию фильтра Калмана при перехвате энергично маневрирующих целей // Полет, №12, 2013, с.1-25.
4. Подивилова Е.О., Ширяев В.И. Сравнение оценок минимаксного фильтра и фильтра Калмана // Вестник ЮУрГУ, №40 (299), 2012, с.182 – 186.
5. Джеванширов П. Ф., Молоканов К. В. Повышение точности наведения зенитных управляемых ракет на участке самонаведения // Вестник концерна ПВО «Алмаз-Антей». №1. 2015 г. С. 55 – 58.
6. Финогенов С.В. Использование математической системы matlab для моделирования системы наведения летательного аппарата Математическая морфология. // Электронный математический и медико-биологический журнал. Том 10. Вып. 2. 2011. С.1 – 6.
7. Peppas D.A. Computer Analysis of Proportional Navigation and Command to Line of Sight of a Command Guided Missile for a Point Defence System," M.S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey CA, December 1992.