

УДК 629.76

Математическая модель движения баллистического летательного аппарата и алгоритмов расчета номинальных и возмущенных параметров движения баллистического летательного аппарата

Виноградов А.В.^{1*}, Борукаева А.О.^{2}, Бердигов П.Г.^{2***}**

¹*Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого, ул. Карбышева, 8, Балашиха, Московская область, 143900, Россия*

²*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, 2-я Бауманская ул., 5, стр. 1, Москва, 105005, Россия*

**e-mail: vavka8989@mail.ru,*

***e-mail: alexbmstu.b@yandex.ru*

****e-mail: palber96@gmail.com*

Статья поступила 09.12.2019

Аннотация

В связи с бурным развитием авиационной и ракетной техники, значительным усложнением конструкции летательных аппаратов (ЛА) и увеличением стоимости их создания возрастает значение эффективности ранних этапов проектирования, когда выбираются основные конструктивные характеристики аппарата и определяются номинальные параметры его движения.

В процессе производства ЛА различного вида возможно возникновение малых асимметрий, а также малых эксцентриситетов тяги для ЛА, имеющих двигательные установки, из-за технологических погрешностей изготовления компонентов аппарата и их сборки.

В статье рассматриваются алгоритмы номинальных и возмущенных параметров движения баллистического летательного аппарата при оперативном изменении целеуказаний в полете. Данные алгоритмы основываются на математической модели движения летательного аппарата, которая в свою очередь позволяет обеспечить достижения подвижной точки цели при условии оперативного изменения целеуказаний.

Ключевые слова: баллистический летательный аппарат, алгоритм расчета, наведение.

Введение

Основной особенностью боевого управления оружием РВСН является необходимость и возможность осуществления оперативного переприцеливания и наведения средств доставки и их боевого оснащения по поступающим (периодически обновляемым) целеуказаниям (ЦУ). Анализ процесса оперативного переприцеливания показал, что основные принципы и закономерности боевого управления РВСН в полной мере относятся и к наведению средств доставки и поражения, особенностью которого является подвижность стратегических морских целей и необходимость периодического решения задач целевой разведки, своевременного, достоверного и скрытного доведения ЦУ до средства доставки и поражения (СДП) в полете. На основе анализа алгоритмов функционирования системы управления (СУ) баллистического летательного аппарата (БЛА) и

оперативного переприцеливания СДЕЛАН ВЫВОД: Несмотря на то что в данное время ведутся исследования в области влияния включения спутниковых систем связи в контур управления перспективными СДП, в данных исследованиях не в полном объеме учтен вопрос возможности обработки полученных, непосредственно в полете, ЦУ средством доставки и поражения. Таким образом возникает необходимость разработки модели движения БЛА позволяющая обеспечить достижения подвижной точки цели при условии оперативного изменения целеуказаний. Предложенная модель позволит внедрить новые алгоритмы расчета номинальных и возмущенных параметров в СУ БЛА, о чем и пойдет речь далее.

Расчету нового значения угла тангажа предшествует определение номинальных параметров на основе исходных данных, при расчете номинальных параметров определяется угол наклона траектории, что является номинальным параметром и первым терминальным параметром, путем определения параметров номинального управления движения и расчетом величины кажущейся скорости. И определение второго номинального параметра дальности. Затем исследуется возмущенное движение при одинаковых начальных условиях и действующих возмущениях $S=0,1S_n$. Здесь путем ввода нового возмущенного значения, за которое берется разброс массового секундного расхода топлива, который принято считать стабильным, но по факту он таковым не является ($S_n=(m/m_0)_n=1,25*10^{-2}$ - разброс массового секундного расхода топлива $S=1,1*S_n$) следует расчет возмущенных параметров, определяются новые текущие значения угла наклона траектории в точке окончания АУТ и дальности. Определение рассогласования между первыми

номинальными параметрами и полученными новыми текущими значениями с учетом введенных возмущений, позволяет в дальнейшем, путем расчета скоростных производных, рассчитать новое значение угла тангажа. Таким образом ввод новых терминальных параметров дает нам улучшение точностных характеристик.

Далее представлены алгоритмы расчета:



Рисунок 1 – Алгоритм расчета номинальных параметров движения БЛА.

При заданных исходных данных осуществляется расчет конечных значений параметров номинального управляемого движения:

$$V_{\xi k}(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) = \cos(\theta_0) \cdot (V_0 + U_{ен} \cdot f_v(n, S_\epsilon)) - t_{k(n)} \cdot g_0 \cdot \sin(\phi_0) \quad (1)$$

$$V_{\eta k}(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) = \sin(\theta_0) \cdot (V_0 + U_{ен} \cdot f_v(n, S_\epsilon)) - t_{k(n)} \cdot g_0 \cdot \cos(\phi_0) \quad (2)$$

Затем для выбранных начальных условий рассчитываем величину кажущейся скорости:

$$W_k(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) = \sqrt{W_{\xi k}(U_{ен}, \theta_0, n, S_\epsilon)^2 + W_{\eta k}(U_{ен}, \theta_0, n, S_\epsilon)^2} \quad (3)$$

Путем прогноза активного участка траектории (АУТ) рассчитываем первый терминальный параметр невязки краевых условий:

$$X_k(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) = \tan(\theta_0(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon)) \quad (4)$$

Путем прогноза пассивного участка траектории (ПУТ) рассчитываем второй терминальный параметр невязки краевых условий:

$$L_o(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) = L_k(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) + L_n(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\epsilon) \quad (5)$$

Расчет значения терминальной кажущейся скорости:

$$W_{\xi k}(U_{en}, \theta_0, n, S_e) = \cos(\theta_0) \cdot U_{en} \cdot f_v(n, S_e) \quad (6)$$

$$W_{\eta k}(U_{en}, \theta_0, n, S_e) = \sin(\theta_0) \cdot U_{en} \cdot f_v(n, S_e) \quad (7)$$

Далее, при одинаковых начальных условиях вводим возмущенное значение и повторяем расчет согласно алгоритму расчета номинальных параметров. С этого этапа и начинается алгоритм расчета возмущенных параметров движения:

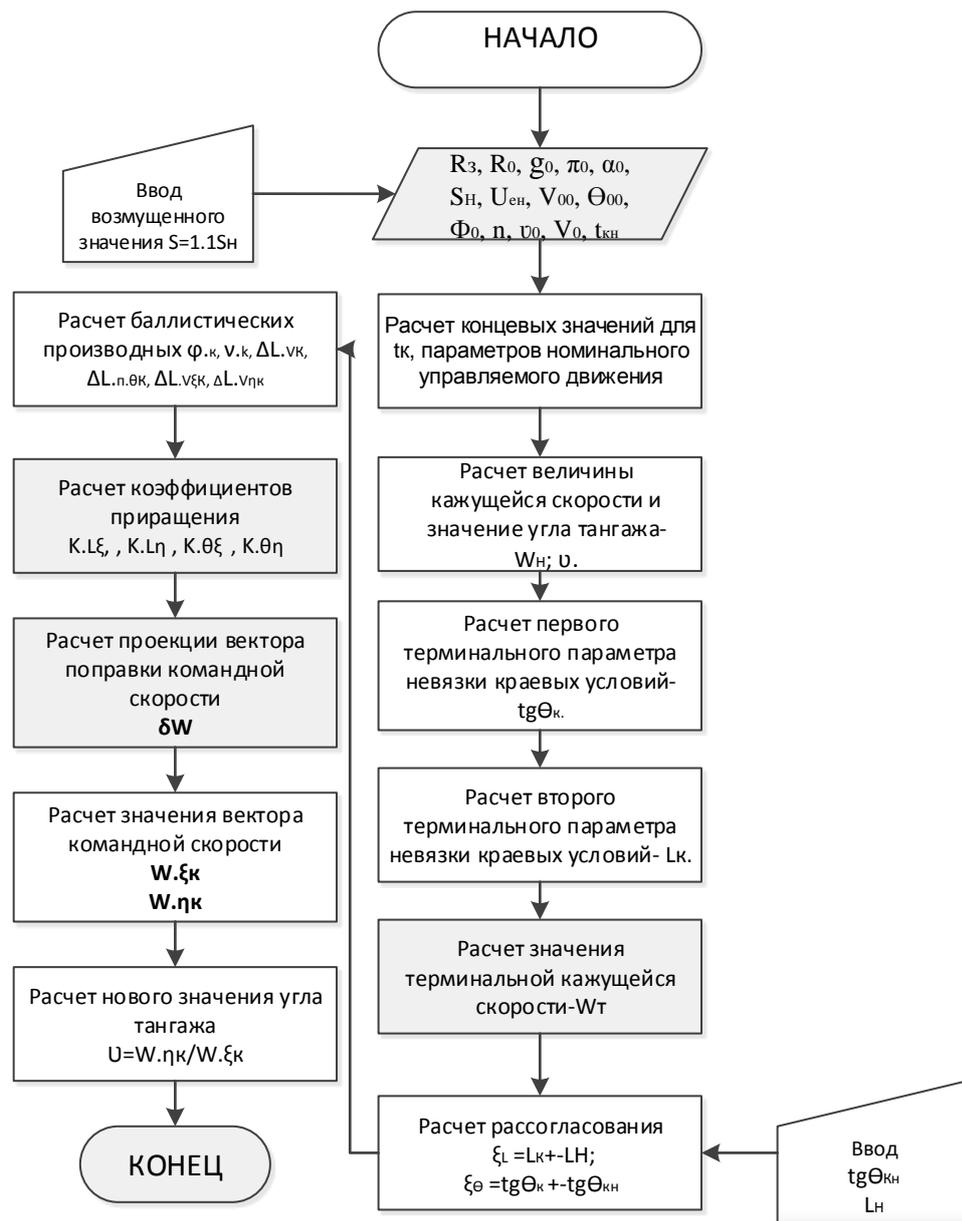


Рисунок 2 – Алгоритм расчета возмущенных параметров движения БЛА.

Затем рассчитываем рассогласование между новыми полученными значениями и номинальными значениями (невязки):

$$\varepsilon_L(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_n, S_\varepsilon) = L_o(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_\varepsilon) + -L_o(U_{ен}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_n) \quad (8)$$

$$\varepsilon_{\theta}(U_{en}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_n, S_e) = \tan(\theta_k(U_{en}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_e)) + -\tan(\theta(U_{en}, V_0, \theta_0, \phi_0, n, S_n)) \quad (9)$$

Затем рассчитываются баллистические производные, коэффициенты приращения, проекция вектора терминальной скорости, проекция уточненного вектора терминальной скорости, расчет вектора командной скорости и на основании значения вектора командной скорости, производится расчет нового значения угла тангажа.

В конце необходимо отметить, что к параметрам движения БЛА в начале и конце баллистического участка предъявляются особые требования. Требования на правом конце (условия встречи) определяют задачу полёта, а на левом конце (концевые или граничные условия полёта) описывают семейство попадающих траекторий.

Тогда задачу теории наведения можно трактовать как нахождение такого управления, воздействующего на БЛА, которое обеспечило бы в определенном смысле наилучшее выполнение концевых условий за время активного этапа движения. При этом следует учесть, что в общем случае выбор указанного управления стеснен различными ограничениями энергетического, конструктивного и другого характера.

Прикладная направленность теории наведения подтверждается тем, что в систему управления СУ БЛА обязательно входит в качестве составной части система наведения как материализованный результат применения теории наведения к решению конкретной задачи управления движения центра масс летательного

аппарата. Тем самым можно сказать, что разработанные алгоритмы расчетов параметров движения и математическая модель движения БЛА позволяет обеспечить достижение подвижной точки цели при условии оперативного изменения целеуказаний.

Библиографический список

1. Титков О.С. Особенности гиперзвуковых маневрирующих боевых частей летательных аппаратов в проекте быстрого глобального удара // Авиационные системы. 2017. № 7. С. 32 - 37.
2. Лысенко Л.Н. Анализ эффективности применения аэродинамического маневрирования ГЧ БРДД в качестве средства преодоления систем противоракетной обороны // Военно-промышленный курьер. 2005. № 1 (61). С. 5.
3. Федосов Е.А. Разработка в США концепции и элементов системы ПРО авиационного базирования. – М.: ГосНИИАС, 2014. – 63 с.
4. Ашурбейли И.Р. Средства воздушно-космического нападения и воздушно-космической обороны. Состояние и развитие. – М.: Планета, 2017. – 336 с.
5. Горченко Л.Д., Евсеев И.В., Мишин А.А. Моделирование конфликтных ситуаций между планирующим летательным аппаратом и зенитной управляемой ракетой-перехватчиком // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2013. Т. 137. № 6. С. 23 - 30.

6. Панов В.В., Горчица Г.И., Балыко Ю.П. и др. Формирование рационального облика перспективных авиационных систем и комплексов. - М.: Машиностроение, 2010. – 157 с.
7. Архангельский И.И., Афанасьев П.П., Голубев И.С. и др. Проектирование зенитных управляемых ракет. - М.: Изд-во МАИ, 2001. – 730 с.
8. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. - М.: Воениздат, 1991. – 343 с.
9. Оркин Б.Д., Оркин С.Д., Дьячук А.К. Структура алгоритма целераспределения средств противовоздушной обороны корабельной группы // Труды МАИ. 2012. № 62. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35531>
10. Обносков Б.В., Данеко А.И., Захаров И.В., Трубников А.А., Решетников Д.А. Функциональный контроль подсистем ракеты класса «воздух-воздух» малой дальности // Труды МАИ. 2012. № 62. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=35574>
11. Айден К., Фибельман Х., Крамер М. Аппаратные средства РС. - СПб.: Изд-во ВНУ, 1996. – 544 с.
12. Новые средства ведения радиоэлектронной борьбы // Зарубежное военное обозрение. 2014. № 1. URL: <http://www.zvo.su/VVS/novye-sredstva-vedeniya-radioelektronnoy-borby.html>
13. Филатов В.И. Перспектива развития средств РЭБ // 3-й Международный научный симпозиум «Специальная связь и безопасность информации: технологии, управление, экономика»: сборник трудов (Терскол, 25-28 апреля 2014). – М.: Русайнс, 2017. С. 109 - 111.

14. Акуличев А.Б. Проблемы цифровизации военных сетей связи и пути их решения // Военная мысль. 2006. № 9. С. 76 – 80.
15. Давыдов Г.Б. Информация и сети связи. - М.: Наука, 1984. – 128 с.
16. Крушевский А.В. Теория игр. – Киев: Вища школа, 1977. – 216 с.
17. Пенин П.И. Системы передачи цифровой информации. – М.: Советское радио, 1976. – 364 с.
18. Хохлачев Е.Н. Оптимизация затрат при обеспечении живучести наземных объектов системы управления спутниками // Вестник НПО им. С.А. Лавочкина. 2010. №1 (3). С. 36 – 43.
19. Кузнецов И.Н. Информация: сбор, защита, анализ. - М.: Изд -во Яуза, 2001. - 107 с.
20. Дьяконов В.П., Образцов А.А., Смердов В.Ю. Электронные средства связи. М.: СОЛОН-Пресс, 2009. – 430 с.