

Повышение точности наведения ЗУР на цель при использовании оценки мгновенного промаха в методе пропорциональной навигации

П.Ф. Джевандиров

ПАО «Научно-производственное объединение «Алмаз» имени академика А.А. Расплетина»

Введение

Одним из направлений развития зенитного управляемого оружия является повышение точности наведения зенитных управляемых ракет (ЗУР). В данной статье предлагается модифицированный метод пропорциональной навигации, использующий в качестве коэффициента пропорциональности оценку мгновенного промаха ЗУР. При этом реализуется наведение ракеты в мгновенную точку встречи.

В статье описан алгоритм расчета оценки мгновенного промаха ЗУР и приведены результаты математического моделирования, подтверждающие преимущества предложенного метода самонаведения перед методом пропорциональной навигации.

Постановка задачи

Наведение ракеты на подвижную цель заключается в создании таких боковых ускорений ракеты, при которых происходит пересечение траекторий движения ЗУР и цели. Методом наведения называется закон сближения ракеты с целью, согласно которому рассчитываются требуемые поперечные ускорения ЗУР и рассчитывается кинематическая траектория движения ракеты.

Наиболее распространенным методом самонаведения современных ЗУР является метод пропорциональной навигации (ПН). В данном методе требуемое поперечное ускорение ракеты пропорционально угловой скорости линии визирования (ЛВ) цели:

$$\lambda_P = \frac{N}{2} \cdot \dot{\theta}_{ЛВ}, \quad (1)$$

где N – коэффициент пропорциональности, $t_{ост}$ – оставшееся время полета до цели, $\dot{\theta}_{ЛВ}$ – угловая скорость ЛВ цели. Угловая скорость ЛВ цели $\dot{\theta}_{ЛВ}$ определяется, как:

$$\dot{\theta}_{ЛВ} = \frac{V_{\perp}}{|\mathbf{R}_{отн}|}, \quad (2)$$

где $\mathbf{R}_{отн} = \mathbf{R}_{ц} - \mathbf{R}_{р}$ (см. рис. 1а), а V_{\perp} – проекция вектора относительной скорости цели на направление, перпендикулярное ЛВ цели (см. рис. 1б).

В данной работе предлагается использовать в качестве аргумента в методе ПН оценку мгновенного промаха ракеты. Это позволит выполнять наведение ракеты в прогнозируемую точку пересечения траекторий ракеты и цели. Непрерывное уточнение оценки мгновенного

промаха на всем участке самонаведения уменьшить ошибку оценивания величины промаха и учесть возможные маневры цели.

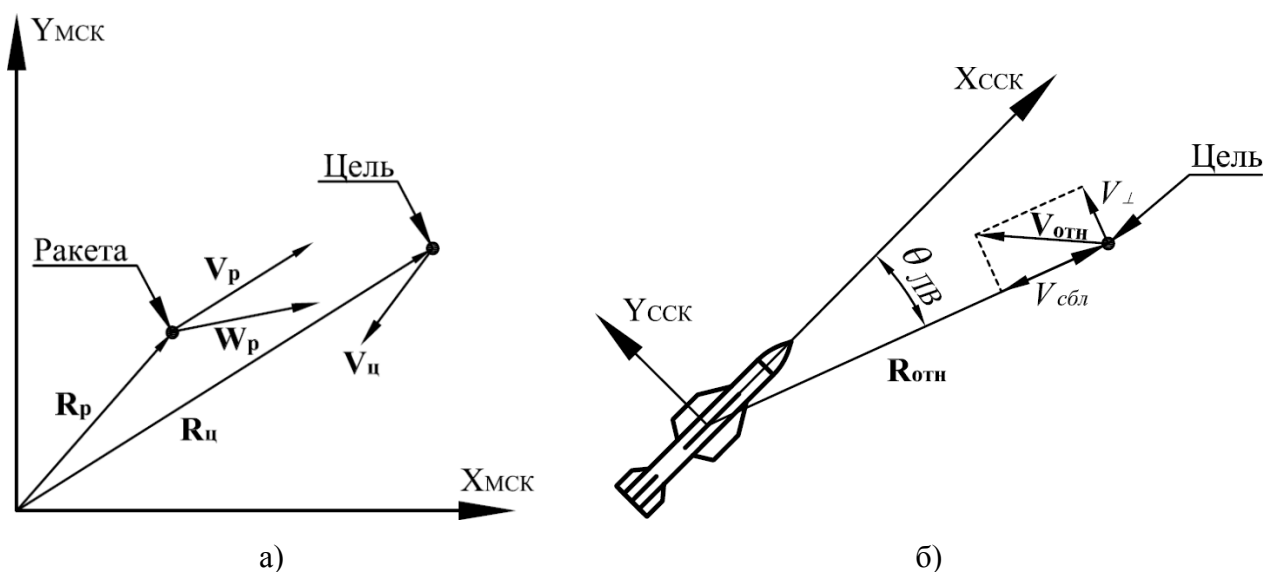


Рис. 1 Параметры движения ракеты и цели в плоскости XOY неподвижной (а) и подвижной (б) систем координат

Оценка мгновенного промаха

Для определения мгновенного промаха ЗУР введем понятие мгновенной точки встречи (МТВ). МТВ – точка, в которой произошла бы встреча ракеты и цели в случае, если с момента определения МТВ их движение было бы прямолинейным и равномерным. Мгновенный промах h – это отклонение ЗУР от МТВ.

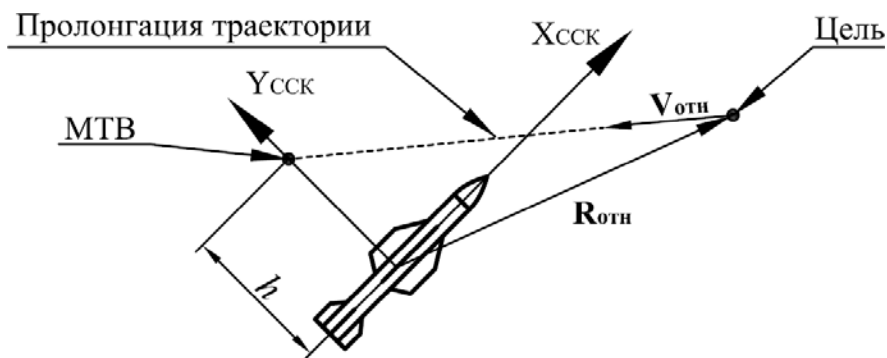


Рис. 2 Определение мгновенного промаха h и МТВ в подвижной системе координат, связанной с центром масс ракеты

Исходными данными для расчета вектора оценки мгновенного промаха $\tilde{\mathbf{h}} = [\tilde{h}_x \quad \tilde{h}_y \quad \tilde{h}_z]^T$ являются оценки векторов состояния ракеты и цели:

$$\tilde{\mathbf{h}} = \tilde{\mathbf{R}}_{отн} + \tilde{\mathbf{V}}_{отн} \cdot t_{осм}, \quad (3)$$

где $\tilde{\mathbf{R}}_{отн}$ – оценка вектора относительной дальности до цели, $\tilde{\mathbf{V}}_{отн}$ – оценка вектора относительной скорости цели.

Оценка времени полета ракеты до цели определяется по формуле:

$$\tilde{t}_{осм} = -\frac{|\tilde{\mathbf{R}}_{отн}|}{\tilde{V}_{сбл}}, \quad (4)$$

где $\tilde{V}_{сбл}$ – оценка скорости сближения с целью.

Требуемое поперечное ускорение ракеты, рассчитанное согласно предложенному методу описывается выражением:

$$\lambda_{Y(Z)} = \frac{N}{\tilde{t}_{осм}^2} \cdot \tilde{h}_{Y(Z)}. \quad (5)$$

Так как продольное ускорение ЗУР не является управляемым параметром, оценка мгновенного промаха \tilde{h}_x учитывается корректировкой времени срабатывания боевой части ЗУР.

Оценки относительных параметров движения цели могут быть получены как при помощи прямых измерений бортовой головки самонаведения (ГСН) ракеты, так и в результате информационного взаимодействия с наземной РЛС.

Оценка относительных параметров движения цели

Оценка относительных параметров движения цели состоит в определении оценок векторов относительной дальности $\tilde{\mathbf{R}}_{отн}$ и относительной скорости $\tilde{\mathbf{V}}_{отн}$. Бортовое оборудование современных ЗУР позволяет полностью определять положение и параметры движения ракеты в пространстве [1].

Для повышения точности оценки параметров движения цели в начале участка самонаведения используется процедура третичной обработки информации от двух источников – наземной РЛС и ГСН ЗУР. Решение задачи третичной обработки радиолокационной информации заключается в объединении векторов оценок от каждого из источников. Объединение векторов оценок от двух источников заключается во взвешивании разницы оценок $\tilde{\mathbf{R}}_{отн1}$ и $\tilde{\mathbf{R}}_{отн2}$, полученные от РЛС и ГСН соответственно [2, 3]:

$$\tilde{\mathbf{R}}_{отн} = \tilde{\mathbf{R}}_{отн1} + \mathbf{K} \cdot (\tilde{\mathbf{R}}_{отн2} - \tilde{\mathbf{R}}_{отн1}). \quad (6)$$

Оптимальный по Калману вес \mathbf{K} определяется выражением:

$$\mathbf{K} = \mathbf{P}_1 \cdot (\mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2)^{-1}, \quad (7)$$

где \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_2 – ковариационные матрицы, полученные от РЛС и ГСН соответственно.

Моделирование самонаведения ракеты

Для оценки эффективности предложенного метода перед методом пропорциональной навигации в среде MATLAB/Simulink была разработана математическая модель динамики

полета и наведения зенитной управляемой ракеты (ЗУР). Предложенный метод наведения используется на конечном этапе полета ЗУР – участке самонаведения. Проведено моделирование наведения ЗУР на цель с использованием классического метода ПН – ПН₀ и метода ПН с использованием оценки мгновенного промаха – ПН_h.

В результате моделирования наведения ЗУР на цель для каждого метода наведения получено математическое ожидание промаха h ЗУР в картинной плоскости в точке встречи на максимальной и минимальной высотах, во всем диапазоне дальности полета ракеты (см. рис. 3). Величина промаха h приведена относительно максимального допустимого значения h_{max} . Значение дальности полета ЗУР D приведено относительно максимальной дальности полета ЗУР D_{max} .

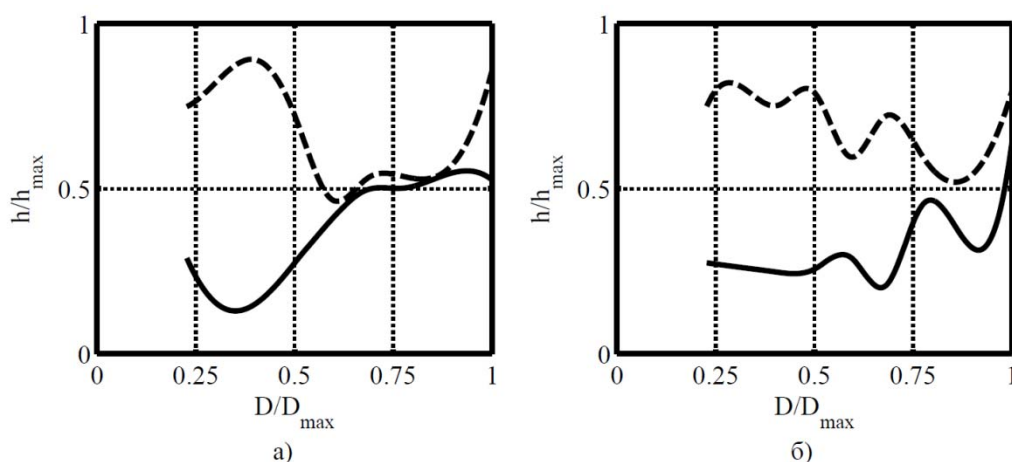


Рис. 3 Математическое ожидание промаха ЗУР в картинной плоскости в точке встречи для минимальной (а) и максимальной (б) высоты полета ракеты: сплошная линия – метод ПН_h, штриховая линия – метод ПН₀

Из представленных результатов следует, что во всем диапазоне дальности полета ЗУР предложенный метод обеспечивает самонаведение ракеты с промахом в точке встречи равным или меньшим по сравнению с классическим методом ПН. Согласно предложенному методу ЗУР осуществляет наведение в упрежденную точку. При этом, по мере сближения ракеты с целью величина оценки мгновенного промаха уменьшается (см. рис. 4), тогда как из (2) видно, что по мере сближения ракеты с целью угловая скорость ЛВ будет увеличиваться, что приведет к увеличению требуемого поперечного ускорения. Таким образом, при прочих равных условиях, величина требуемого поперечного ускорения ЗУР λ , рассчитанная по предложенному методу будет меньше по сравнению с классическим методом ПН (см. рис. 5). Величина требуемого поперечного ускорения ЗУР $\lambda = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_z^2}$ приведена относительно максимально допустимого поперечного ускорения ЗУР λ_{max} .

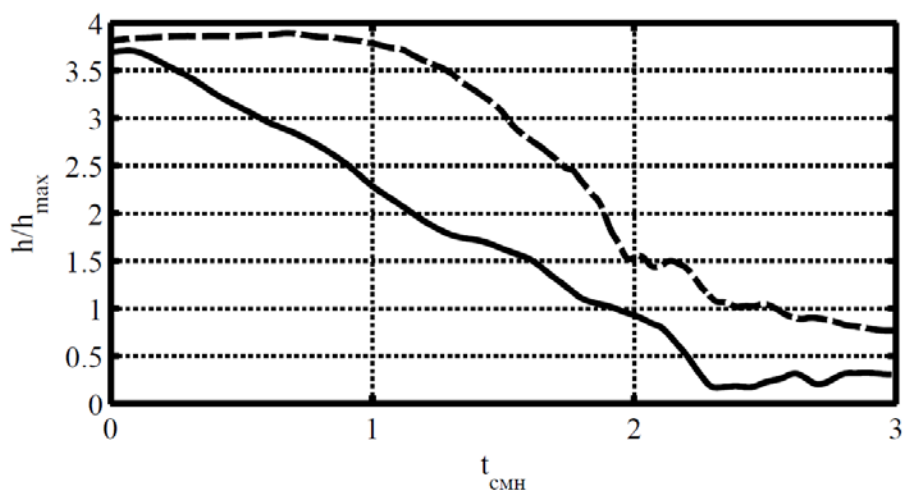


Рис. 4 Изменение промаха ЗУР в картинной плоскости на участке самонаведения: сплошная линия – метод ПН_h, штриховая линия – метод ПН₀

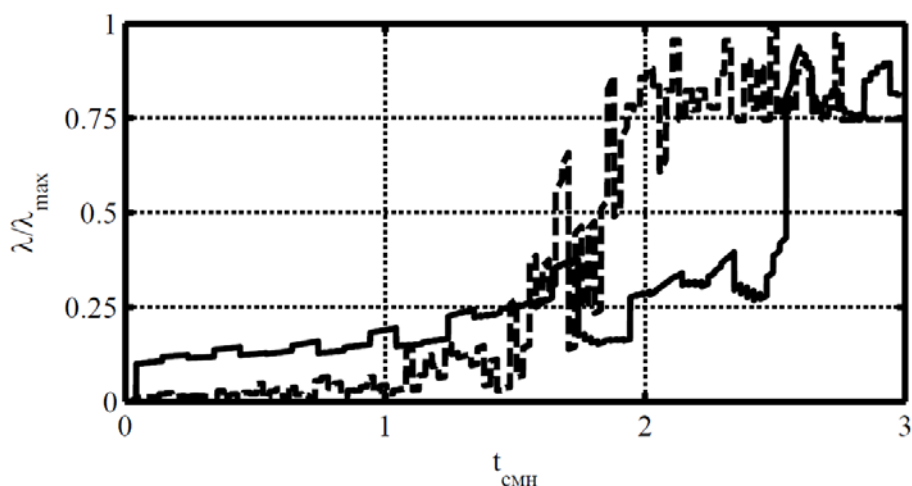


Рис. 5 Требуемое поперечное ускорение ЗУР на участке самонаведения: сплошная линия – метод ПН_h, штриховая линия – метод ПН₀

Вывод

Предложен метод наведения ЗУР с использованием информации о мгновенном промахе ракеты. Результаты моделирования подтверждают преимущество предложенного метода перед классическим методом пропорциональной навигации по точности наведения ЗУР. Предложенный метод обеспечивает равномерную отработку промаха ЗУР и меньший уровень требуемого поперечного ускорения ракеты по сравнению с классическим методом пропорциональной навигации.

К недостаткам предложенного метода можно отнести необходимость получения на ЗУР оценки вектора состояния цели, что накладывает ограничения на область применения данного метода.

Список литературы

1. *Веремеенко К.К., Головинский А.Н., Инсаров В.В. [и др.] Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Серебрякова. – М.: Физматлит, 2005.*
2. *Виноградов В.Н. Корреляционная теория фильтрации и управления многомерными случайными процессами: Линейная корреляционная теория фильтрации и управления. – М.: КРАСАНД, 2012.*
3. *Уилкс С. Математическая статистика. – М.: Наука, 1967.*