

АЛГОРИТМ КОРРЕКЦИИ БЕСПЛАТФОРМЕННОЙ ИНЕРЦИАЛЬНОЙ НАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОТ ГОЛОВКИ САМОНАВЕДЕНИЯ УПРАВЛЯЕМОЙ БОМБЫ

Информационным ядром современных и управляемых авиационных бомб (УАБ) является бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС). Она обеспечивает высокую помехозащищённость и автономность наведения. Однако на больших дальностях сброса УАБ точность наведения становится неудовлетворительной. Это обусловлено тем, что ошибки БИНС возрастают с увеличением дальности сброса и в процессе наведения не устраняются. Повысить точность наведения УАБ можно с помощью установки головки самонаведения (ГСН), которая обеспечивает захват цели на траектории полёта.

Часто возникает ситуация, когда необходимо уничтожить замаскированный объект, координаты которого известны. Для поражения объекта существует возможность наведения на цель по вынесенной точке – по ориентиру с известными координатами и известным положением относительно цели. Координаты цели и ориентира могут быть получены с использованием спутниковой радионавигационной системы.

При решении задачи наведения в системе управления УАБ используется информация о её положении относительно цели в стартовой системе координат. При этом вычисление параметров управления производится по формулам:

$$\Delta x = X_b - X_u, \quad \Delta y = Y_c - Y_u, \quad \Delta z = Z_b - Z_u,$$

$$D = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}, \quad V = \sqrt{V_{bx}^2 + V_{by}^2 + V_{bz}^2},$$

$$v = -\arctg\left(\frac{\Delta z}{\Delta x}\right), \quad \varphi = -\arctg\left(\frac{V_{bz}}{V_{bx}}\right),$$

$$\varepsilon = -\arctg\left(\frac{\Delta y}{\sqrt{\Delta x^2 + \Delta z^2}}\right), \quad \theta = \arctg\left(\frac{V_{by}}{\sqrt{V_{bx}^2 + V_{bz}^2}}\right).$$

$$\omega_{Dy} = -V(\sin\theta \cos\varepsilon - \cos\theta \cos(\varphi - v)\sin\varepsilon)/D, \quad (1)$$

$$\omega_{Dz} = -V \cos\theta \sin(\varphi - v)/(D \cos\varepsilon), \quad (2)$$

где X_b, Y_b, Z_b – координаты УАБ, вычисленные алгоритмами БИНС; X_u, Y_u, Z_u – гринвичские координаты цели; D – модуль вектора дальности; V – модуль вектора скорости УАБ; ε – угол места цели; θ – угол наклона траектории, φ – угол курса, v – азимут,

ψ – угол рыскания, ω_{Dz} , ω_{Dz} – угловые скорости линии визирования в вертикальной и горизонтальной плоскостях, соответственно.

В соответствии с законом наведения, требуемая управляющая перегрузка в вертикальной плоскости определяется методом пропорционального наведения:

$$n_y^{пр} = \begin{cases} k_2(\omega_{Dz} + \omega_{уст}), & \text{при } (\varphi - \nu) < 90^\circ; \\ k_2\omega_{уст}, & \text{при } (\varphi - \nu) \geq 90^\circ. \end{cases} \quad (3)$$

В горизонтальной плоскости требуемая перегрузка определяется соотношением:

$$n_z^{пр} = \begin{cases} k_1\omega_{Dz}, & \text{при } (\varphi - \nu) < 90^\circ; \\ k_\varphi(\psi - \varphi), & \text{при } (\varphi - \nu) \geq 90^\circ, \end{cases} \quad (4)$$

где k_1, k_2 – коэффициенты пропорциональности, $\omega_{уст}$ – параметр компенсации веса.

Структурная схема работы алгоритма представлена на рис. 1.

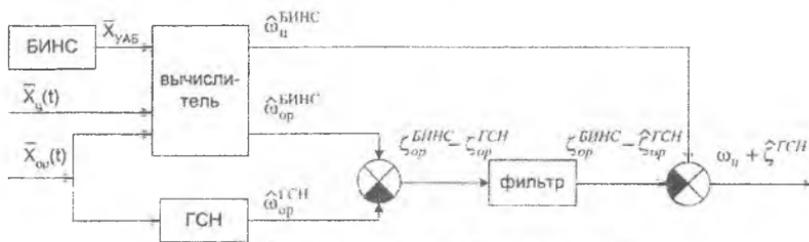


Рис. 1. Структурная схема работы алгоритма

В процессе наведения на конечном участке предусматриваются одновременные вычисления по формулам (1), (2) значений угловых скоростей линий визирования цели и ориентира. Результаты этих вычислений имеют ошибки, вызванные ошибками работы БИНС. Ввиду близости положения цели и ориентира можно считать, что ошибки определения угловых скоростей их линий визирования одинаковы. Ошибку измерения нужной угловой скорости линии визирования цели можно устранить, определив разницу между значениями угловой скорости вектора дальности до ориентира, вычисленной по сигналам БИНС, и значениями, измеренными ГСН.

Ошибка вычислителя для цели и ориентира является аддитивной низкочастотной составляющей $\zeta^{БИНС}$. С учетом этой ошибки, выходные сигналы вычислителя можно представить выражениями:

$$\hat{\omega}_ц^{БИНС} = \omega_ц + \zeta_ц^{БИНС};$$

$$\hat{\omega}_ор^{БИНС} = \omega_ор + \zeta_ор^{БИНС};$$

где ω_{op} , ω_u – истинные значения угловых скоростей векторов дальности ориентира и цели.

В соответствии с принятым допущением, ошибки определения угловых скоростей по сигналам БИНС являются равными величинами:

$$\zeta_{op}^{БИНС} = \zeta_{\psi}^{БИНС}.$$

Точность измерения координатором угловой скорости $\hat{\omega}_{op}^{ГСН}$ значительно выше, чем по сигналам БИНС, но в его выходных сигналах содержится высокочастотная ошибка $\zeta_{op}^{ГСН}$. Выходной сигнал пеленгатора описывается выражением:

$$\hat{\omega}_{op}^{ГСН} = \omega_{op} + \zeta_{op}^{ГСН}.$$

Разница между значениями угловых скоростей линий визирования, вычисленными БИНС, и значениями, измеренными ГСН, определяется по выражению:

$$\Delta\omega = \hat{\omega}_{op}^{ГСН} - \hat{\omega}_{op}^{БИНС} = \zeta_{op}^{ГСН} - \zeta_{op}^{БИНС}.$$

Использование частотного фильтра позволяет подавлять высокочастотную помеху, не искажая низкочастотную составляющую сигнала. При этом в качестве фильтра целесообразно применить апериодическое звено.

$$\Delta\tilde{\omega} = \tilde{\zeta}_{op}^{ГСН} - \tilde{\zeta}_{op}^{БИНС}.$$

На выходе алгоритма требуемая величина искомого сигнала равна

$$\tilde{\omega}_u = \omega_u + \tilde{\zeta}_{op}^{ГСН}.$$

В алгоритме учитывается, что измерение угловой скорости ГСН производится в системе координат пеленгатора, а используется в земной системе координат. Поэтому в вычисленной величине в общем случае содержится ошибка, вызванная несоответствием этих двух систем координат. Для её устранения необходимо осуществлять перевод измеренной угловой скорости в земную систему координат с помощью матрицы перехода. Последнее также может вносить ошибку в решение задачи.

Ввиду принятых допущений (ошибки определения по сигналам БИНС угловых скоростей векторов дальности до цели и до ориентира одинаковы), использование алгоритма наведения УАБ по вынесенной точке накладывает ограничения на расположение ориентиров относительно цели. Увеличение расстояния от ориентира до цели делает указанные допущения более грубыми.

Оценка качества наведения УАБ в условиях, когда невозможен захват цели и наведение осуществляется по разработанному алгоритму, проводилась методом стати-

стических испытаний математической модели процесса наведения. Точность наведения оценивалась по 150 реализациям сброса бомбы для различного расположения ориентиров на местности относительно цели.

На рис. 2 представлены возможные зоны расположения вынесенных точек относительно цели. По оси абсцисс (X) отложена горизонтальная дальность до цели, по оси ординат (Z) – боковое отклонение от требуемой траектории полёта УАБ. Цель расположена в начале координат. Направление захода УАБ обозначено вектором скорости.

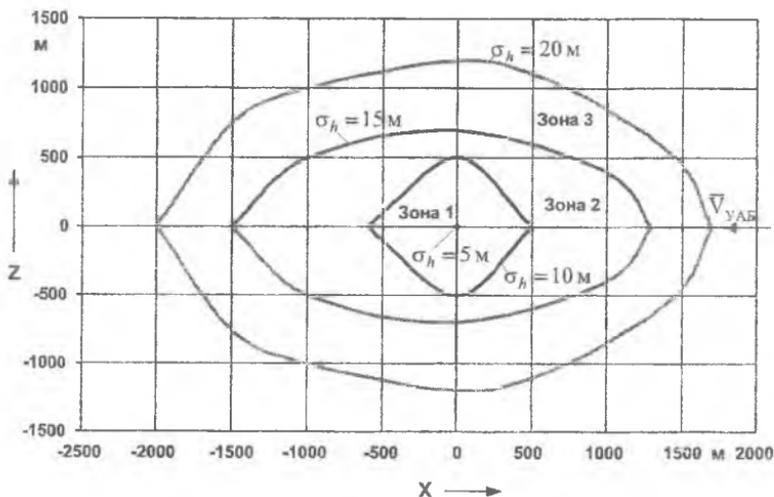


Рис. 2. Возможные зоны расположения вынесенных точек относительно цели
Обработка полученных результатов позволила выделить три зоны.

При нахождении вынесенной точки в пределах зоны 1 точность наведения характеризуется величиной среднего квадратичного отклонения (СКО) промаха не более 10 м при математическом ожидании, близком к нулю. Если вынесенная точка располагается в зоне 2, то величина СКО не превысит 15 м. При нахождении вынесенной точки в зоне 3 величина СКО возрастает максимум до 20 м.

Таким образом, полученные зоны определяют положение ориентиров, обеспечивающее достижению заданной точности наведения УАБ.

На рис. 3, в качестве примера, показаны зависимости вероятности попадания УАБ в прямоугольную область, соответствующую приведённой площади поражения, для типовой цели от СКО промаха. Для поражения цели по типу А с вероятностью не хуже 0,7, необходимо выбирать ориентир в пределах зоны 1 (рис. 3), по типу В – в зоне 2 и по типу С – в зоне 3.

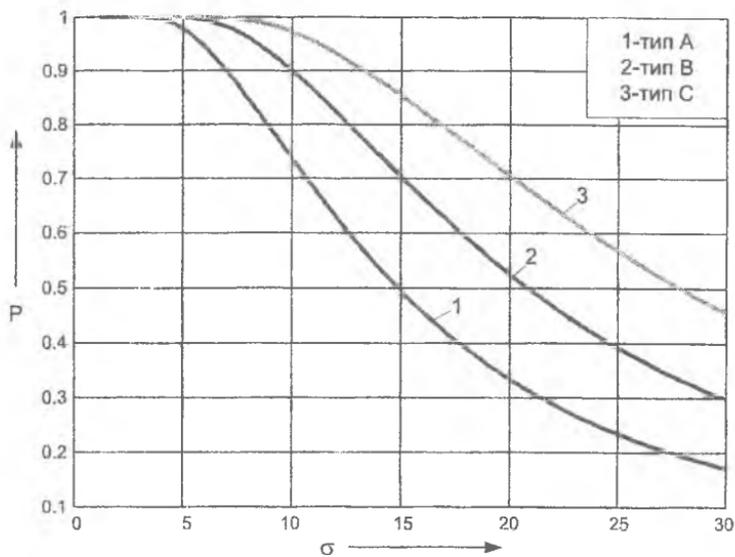


Рис. 3. Зависимость вероятности попадания УАБ в прямоугольную область от среднего квадратичного отклонения промаха

Анализ результатов оценки точности наведения УАБ на замаскированную цель по вынесенной точке позволяет сделать следующие выводы:

- точность наведения с использованием разработанного алгоритма при выборе ориентира в пределах зоны 1 по сравнению с точностью наведения бомбы по сигналам БИНС и спутниковой радионавигационной системы повысилась как минимум в два раза, а при выборе ориентира в зоне 2 – не менее чем в 1,3 раза;
- если на конечном участке ГСН обнаружит и захватит саму цель, то будет обеспечена наилучшая точность, которая соответствует режиму самонаведения со средне квадратичной ошибкой, равной 5 м.