

УДК 358.423

**А.И. Аюпов**, доктор технических наук, профессор  
**А.Н. Детков**, доктор технических наук, профессор  
**И.В. Кожухов**

## **МЕТОД НАВЕДЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ПОДВИЖНУЮ НАЗЕМНУЮ ГРУППОВУЮ ЦЕЛЬ ДЛЯ ЕЁ ПОРАЖЕНИЯ НЕУПРАВЛЯЕМЫМИ АВИАЦИОННЫМИ БОМБАМИ**

*Предложен метод наведения ударного беспилотного летательного аппарата на подвижную наземную групповую цель в горизонтальной плоскости, обеспечивающий его всеракурсный вывод в область применения по указанной цели неуправляемых авиационных бомб. Показаны особенности селекции малоскоростных групповых наземных целей на фоне подстилающей поверхности, а также аэробаллистического прицеливания на конечном участке наведения.*

*Ключевые слова: ударный беспилотный летательный аппарат; подвижную наземную групповую цель; бортовая РЛС; селекция малоскоростных целей; аэробаллистическое прицеливание; авиационные бомбы.*

### **Введение**

Результативность процесса создания и применения ударных беспилотных авиационных комплексов зависит от выбора высокоточного оружия и информационных технологий, обеспечивающих решение целевых задач [1]. К высокоточному оружию относятся и авиационные управляемые ракеты. Такие ракеты, кроме высокой цены, имеют один существенный недостаток – соотношение массы их боевой части и общей массы боеприпаса составляет 0,2 ... 0,5, что крайне важно при ограниченной грузоподъемности беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Альтернативным вариантом высокоэффективных авиационных боеприпасов стали авиационные бомбы (АБ). В них возможность точного наведения сочетается с высокой эффективностью боевой части, масса которой достигает 0,7 ... 0,9 от общей массы [2].

Перспективным приёмом применения БЛА с неуправляемыми АБ по подвижной наземной групповой цели (ПНГЦ) (рисунок 1) является практически одновременное наведение нескольких АБ на несколько подвижных наземных целей из состава группы по заданному с борта БЛА виду целе-распределения, т.е. реализация индивидуального наведения АБ на заданную цель из состава группы.

Способы наведения ударного БЛА на наземные подвижные цели должны, в общем случае, обеспечивать их вывод в точку, расположенную на заданном расстоянии под заданным углом к вектору скорости ПНГЦ.

Необходимо отметить, что наибольший набор способов наведения реализуется при использовании в качестве основного датчика информации бортовой радиолокационной станции (БРЛС) в режиме землеобзора [3-5].

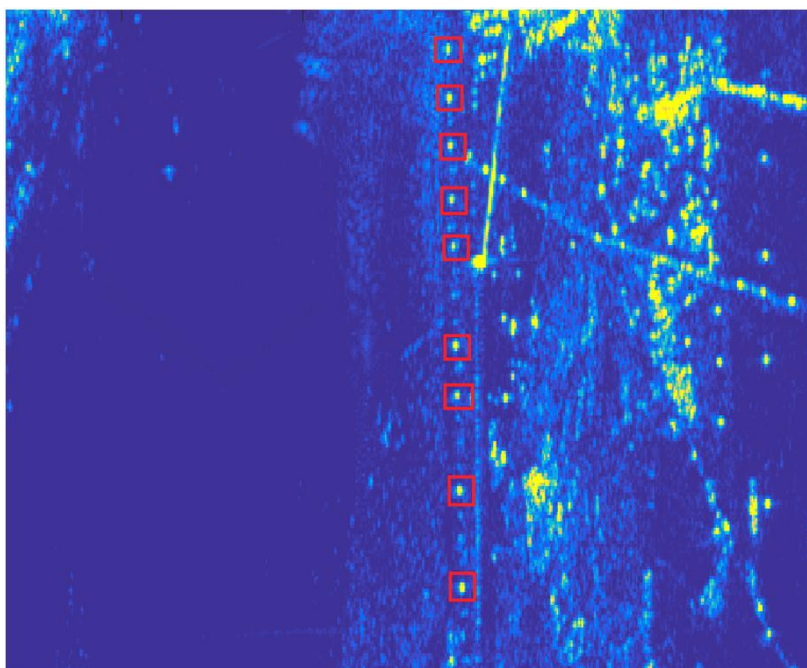


Рисунок 1 – Пример ПНГЦ – колонна движущихся по дамбе водохранилища автомобилей – на радиолокационном изображении *P*-диапазона с разрешением 5 м (красные квадраты – выделенные селектором БРЛС движущиеся цели)

Спецификой наведения БЛА на групповые цели является необходимость получения информации о пространственных размерах группы. При наличии такой информации наведение БЛА осуществляется на геометрический или энергетический центр группы, а наведение средств поражения – на головную часть группы.

На практике могут быть ситуации, когда интервал времени (в пределах которого элементы ПНГЦ разрешаются) либо вообще не существует (соизмерим со временем самонаведения БЛА), либо он таков, что цели разрешаются частично. При этом ПНГЦ будет наблюдаться в БРЛС как одиночная цель. Следовательно, БЛА будет наводиться на энергетический центр ПНГЦ.

Анализ существующих методов самонаведения БЛА и ракет «воздух-поверхность» [3; 6] позволяет заключить, что в большинстве случаев они разработаны для наведения на одиночные наземные цели. Кроме того, рассмотренные методы самонаведения не являются оптимальными по критерию минимума промаха при наведении на элементы ПНГЦ.

Поэтому в дальнейшем возникает необходимость синтеза новых методов самонаведения БЛА на элементы ПНГЦ, которые вместе с минимальным промахом при самонаведении обеспечивают и минимальный промах при аэробаллистическом падении неуправляемых АБ.

В настоящей статье предложен метод наведения БЛА для поражения подвижной групповой цели неуправляемыми авиационными бомбами.

## **1. Оптимальный алгоритм наведения на подвижную наземную групповую цель**

Анализ базовых методов наведения БЛА тех или иных типов в приложении к решению задач наведения на наземные цели показывает, что [6]:

использование для наведения БЛА большой дальности метода пропорционального наведения, основанного на учёте угловой скорости линии визирования «БЛА – ПНГЦ», не оправдывает себя из-за плохой управляемости на начальных участках траектории, особенно при боковом ветре, и наличия начальных ошибок управления;

прямой метод наведения, использующий угловые ошибки управления, также нецелесообразен из-за низкой точности наведения на движущиеся цели на конечном участке.

В связи с этим желательно получить алгоритм траекторного управления, в котором учитываются как ошибки наведения по углу, так и по угловой скорости линии визирования. Такой закон будет одинаково эффективным как на больших, так и малых расстояниях до цели.

Ниже рассматривается один из возможных вариантов траекторного управления БЛА в горизонтальной плоскости при наведении на ПНГЦ при условии соблюдения следующих допущений:

самонаведение БЛА выполняется на основе информации, поступающей от БРЛС при её периодической кратковременной работе в активном режиме;

ПНГЦ движется с постоянной скоростью, величина которой существенно меньше скорости полёта наводимого БЛА.

Необходимо подчеркнуть, что самонаведение БЛА на наземные цели выполняется обычно лишь в горизонтальной плоскости. В математическом плане задачу траекторного управления БЛА можно сформулировать следующим образом.

Пусть на БЛА, центр масс которой находится в точке  $O_{БЛА}$  – начале невращающейся системы координат  $O_{БЛА}X_g Y_g Z_g$  (рисунок 2), с помощью БРЛС решается задача определения координат цели, находящейся в точке  $O_c$  – в общем случае – энергетическом центре ПНГЦ. При её решении достаточно измерить угол  $\varepsilon$  между направлением на цель и невращающейся осью  $O_{БЛА}X_g$  и дальность  $D$ . Эта задача соответствует самонаведению БЛА в одной плоскости [6].

Для её решения требуется определять как минимум две координаты. Но измерение каждой из них производится с независимыми ошибками, поэтому каждый из измерительных каналов БРЛС можно рассматривать отдельно.

В простейшем случае для решения задачи самонаведения необходимо и достаточно удерживать продольную ось  $O_{БЛА}X_1$  БЛА в направлении на цель так, чтобы угол  $\varphi$  – бортовой пеленг цели был равен нулю в течение всего времени полёта (прямое наведение). При подвижной цели ( $V_{ц} \neq 0$ ) такой метод может оказаться непригодным из-за большой кривизны траектории БЛА.

Более приемлемыми для наведения на подвижные объекты являются методы, связанные с измерением производной угла  $\varepsilon$ , например метод параллельного сближения, характеризуемый тем, что производная  $d\varepsilon/dt$  в течение всего времени полёта должна быть равна нулю [6].

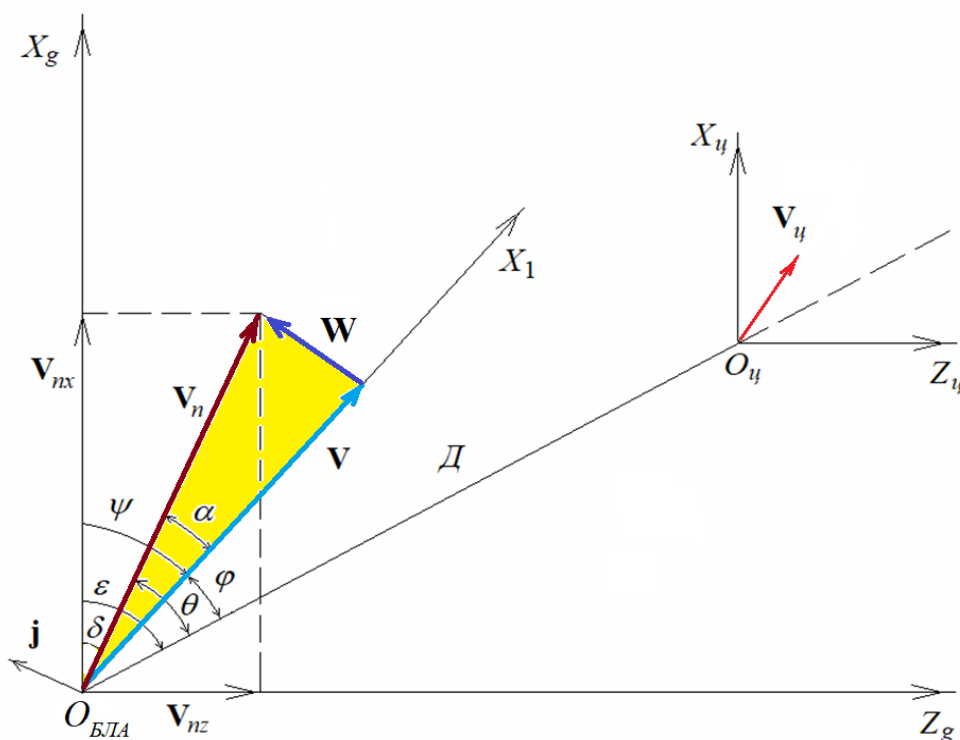


Рисунок 2 – Геометрические соотношения при самонаведении БЛА на ПНГЦ:

$\mathbf{V}$  – вектор воздушной скорости БЛА,  $\mathbf{V}_n$  – вектор путевой скорости БЛА с составляющими –  $\mathbf{V}_{nx}$  и  $\mathbf{V}_{nz}$ ,  $\mathbf{W}$  – вектор скорости ветра,  $\mathbf{V}_u$  – вектор скорости цели

Изменения во времени угла бортового пеленга цели  $\varphi$  обусловлены двумя причинами: относительным движением точек  $O_{БЛА}$ ,  $O_u$  и колебаниями продольной оси  $O_{БЛА}X_1$  БЛА. Из рисунка 2 видно, что

$$\varphi = \varepsilon - \psi$$

где  $\psi$  – угол рыскания.

Угловое положение БЛА относительно подвижной цели определяется системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{d\phi}{dt} = \omega \\ \frac{d\omega}{dt} = -\frac{2V_{c\phi}}{D}\omega + \frac{j_u}{D} - \frac{j}{D} + \sqrt{\frac{N_\omega}{2}}\xi_\omega \end{cases}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость линии визирования «БЛА – цель»;  $j$ ,  $j_u$  – модули вектора бокового ускорения БЛА и цели соответственно;  $D$  и  $V_{c\phi} = dD/dt < 0$  – дальность до цели и скорость сближения с ней;  $\xi_\omega$  – белый гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и единичной интенсивностью, величина  $N_\omega$  характеризует флуктуации угловой скорости  $\omega$  линии визирования.

Для решения задачи синтеза алгоритма наведения БЛА на ПНГЦ можно использовать математический аппарат статистической теории оптимального управления. В наиболее простом варианте локальной оптимизации этот аппарат позволяет получить сигнал управления БЛА наилучший по точности и экономичности. Для этого необходимо найти требуемый сигнал управления  $j_T$ , оптимальный по минимуму функционала качества [6]:

$$I = \mathbf{M} \left\{ \begin{bmatrix} \varphi_y - \varphi \\ 0 - \omega \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} q_\varphi & 0 \\ 0 & q_\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_y - \varphi \\ 0 - \omega \end{bmatrix} + \int_0^t j^2 k_j d\tau \right\}, \quad (2)$$

где  $\varphi_y$  – угол упреждения, равный углу сноса  $\alpha$  за счёт скорости ветра;  $q_\varphi$  и  $q_\omega$  – штрафы за точность управления;  $k_j$  – штраф за значение сигнала управления  $j$ , под которым понимается боковое ускорение ракеты;  $\mathbf{M}\{\cdot\}$  – оператор усреднения по множеству реализаций,  $\tau$  – оператор транспонирования.

Следует отметить, что система уравнений (1) инвариантна к боковому ускорению цели, в частности, когда боковое ускорение цели равно нулю. Такая ситуация справедлива как для неподвижной цели, так и для малоподвижной цели, движущейся с постоянной скоростью.

Необходимо отметить, что при наличии ветра, направление и скорость которого характеризуются вектором  $\mathbf{W}$ , полёт к цели по прямой

$O_{БЛА}O_{ц}$  возможен в том случае, если требуемый бортовой пеленг  $\varphi_T$  будет равен углу упреждения  $\varphi_y$ . Вполне очевидно, что при полёте БЛА к цели по линии  $O_{БЛА}O_{ц}$  (под углом  $\varphi_T = \varphi_y$ ) угловая скорость линии визирования будет равна нулю, т.е.  $\omega_T = 0$ . Из этого следует, что в такой ситуации текущий промах  $h_T = D^2 \omega_T / V$  будет также равен нулю. Данное обстоятельство поясняет способность функционала (2) учитывать требования точности наведения.

При использовании математического аппарата статистической теории оптимального управления по методике [7] алгоритм траекторного управления БЛА при наведении на ПНГЦ имеет вид:

$$\Delta_0 = j_T - j^* = \frac{q_\phi}{k_j V_{сб}^*} (\phi_y^* - \phi^*) + \frac{q_\omega}{k_j D^*} \omega^* - j^*, \quad (3)$$

где знак «\*» обозначает оценку соответствующего параметра, полученную по результатам измерений.

Алгоритм наведения (3), реализуя минимум функционала качества (2), позволяет получить систему самонаведения, совместно наилучшую как по точности управления, так и по его экономичности.

В состав информационно-вычислительной системы (ИВС) БЛА, реализующей алгоритм управления (3), должны входить устройства формирования оценок дальности  $D$ , скорости сближения  $V_{сб}$ , угла сноса  $\alpha$ , бортового пеленга  $\varphi$ , угловой скорости  $\omega$  линии визирования и собственного ускорения  $j$ . При этом оценки  $D$ ,  $V_{сб}$ ,  $\varphi$  и  $\omega$  могут быть сформированы в БРЛС, оценка  $j$  – может быть путём обработки показаний акселерометров навигационного комплекса БЛА, а для получения оценок  $\varphi_y$  необходимо использовать либо доплеровский измеритель скорости и угла сноса, либо бортовой спутниковый угломер-интерферометр ГНСС навигационного комплекса БЛА [7].

Кроме того, бортовые неавтономные измерители параметров движения навигационного комплекса БЛА должны включать измерения следующих параметров:  $x, y, z$  – координаты БЛА в системе координат  $O_{БЛА}X_g Y_g Z_g$ ;  $V_{nx}, V_{nz}, V_{ny}$  – составляющие вектора путевой скорости БЛА;  $\psi, \gamma, \vartheta$  – углы рыскания, крена и тангажа соответственно.

## 2. Особенности селекции малоскоростных групповых наземных целей на фоне подстилающей поверхности

Современные многофункциональные БРЛС ударных и разведывательно-ударных БЛА широко используются для обнаружения движущихся объектов (целей) [5].

Доплеровская частота сигнала движущейся цели  $f_{\text{ду}}$  определяется азимутальным углом визирования  $\varepsilon$  и радиальной скоростью цели  $V_{\text{ру}}$ , т.е.

$$f_{\text{ду}} = \frac{2V_n}{\lambda} \cos \varepsilon + \frac{2V_{\text{ру}}}{\lambda},$$

где  $\lambda$  – длина волны БРЛС.

Наибольшую техническую сложность представляют случаи селекции малоскоростных объектов, движущихся на фоне земной поверхности БРЛС. При этом спектр сигнала, отраженного от малоскоростной цели, оказывается смещённым в область частот, соответствующих мощным отражениям от подстилающей поверхности (на рисунке 1 выделены жёлтым цветом).

Известны алгоритмы [8] обнаружения малоскоростных объектов, использующие весовое суммирование с суммарно-разностной обработкой, заключающейся в пространственной режекции помехового сигнала и согласованной с полезным сигналом доплеровской фильтрации. Однако для их реализации необходимо применение моноимпульсной антенны с двумя каналами обработки: суммарным и разностным, что требует значительных аппаратных и вычислительных затрат. В [9] показано, что система обработки БРЛС с однолучевой антенной, сканирующей по азимуту, позволяет за счёт временного взвешивания и когерентного накопления сигналов снизить минимальную радиальную скорость обнаруживаемого объекта до нескольких метров в секунду.

Зависимость вероятности правильного обнаружения движущейся цели на фоне пассивной помехи от радиальной скорости цели, рассчитанная по методике [8, С. 441], приведена на рисунке 3 для следующих условий: вероятность ложной тревоги  $P_{\text{лт}} = 10^{-3}$ ;  $\lambda = 3$  см; отношение сигнал/шум – 20 дБ; отношение пассивная помеха/шум – 25 дБ; ширина диаграммы направленности антенны  $\theta_a = 3$  град.



Возможность наблюдения движущейся цели на фоне отражений от подстилающей поверхности, определяется также соотношением мощностей сигналов, отражённых от движущихся целей и неподвижных отражателей.

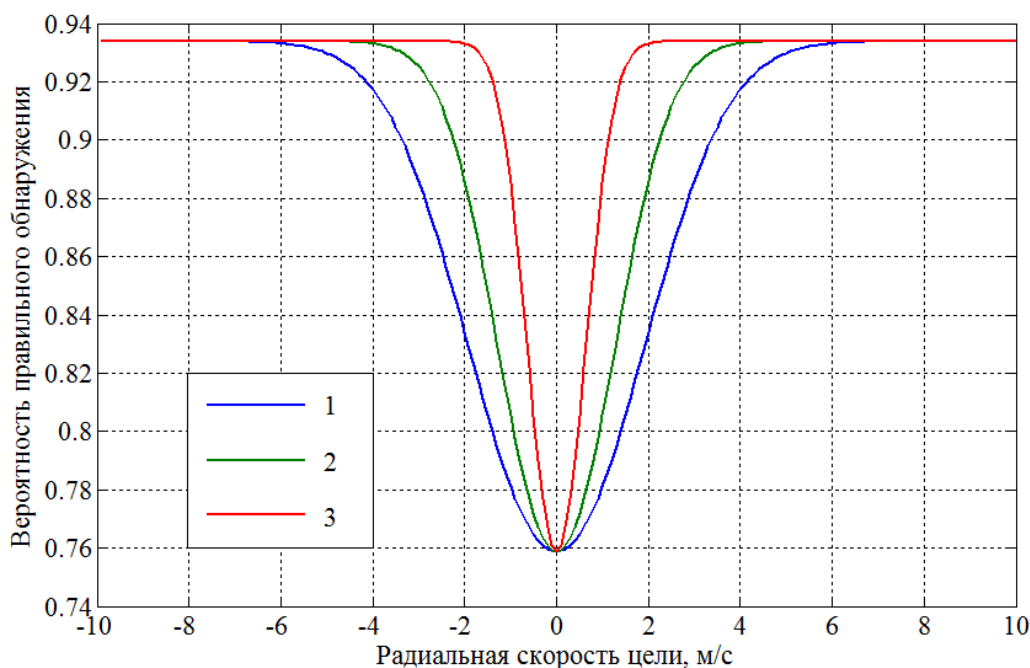


Рисунок 3 – Зависимость вероятности правильного обнаружения движущейся цели на фоне пассивной помехи от радиальной скорости цели. Цифрами обозначены значения тангенциальной скорости БЛА  $V_T$  относительно цели:

$$1 - V_T = 150 \text{ м/с}; 2 - V_T = 100 \text{ м/с}; 3 - V_T = 50 \text{ м/с}$$

Мощность помеховых отражений от подстилающей поверхности на выходе системы обработки БРЛС уменьшается примерно в  $K_{сж}$  раз за счёт высокой разрешающей способности по азимуту.

Таким образом, когда доплеровская частота сигнала цели превышает частоту, соответствующую отражениям, приходящим с направлений, соответствующих боковым лепесткам диаграммы направленности антенны, обнаружение сигнала цели наиболее эффективно. При этом минимальная радиальная составляющая скорости наблюдаемой цели определяется мощностью отражений от подстилающей поверхности, тангенциальной скоростью носителя и шириной диаграммы направленности антенны БРЛС.

Чем меньше тангенциальная скорость БЛА, тем уже спектр мощности помеховых отражений, тем при меньшей величине радиальной скорости цели отраженный от неё сигнал будет наблюдаться. Для снижения минимальной радиальной скорости селектируемой цели необходимо также уменьшать ширину диаграммы направленности реальной антенны  $\theta_a$ .

Таким образом, селекторы движущихся целей БРЛС БЛА, основанные на доплеровской фильтрации, обычно эффективно выделяют ПНГЦ, движущиеся с радиальной скоростью  $V_{rc} \geq 2 \dots 6$  м/с в зависимости от геометрии системы.

### 3. Решение задачи аэробаллистического прицеливания в ИВС БЛА при бомбометании на конечном участке наведения

Система автоматического управления ударного БЛА, в общем случае, по сигналам самонаведения на ПНГЦ обеспечивает вывод БЛА в точку, расположенную на заданном расстоянии под заданным углом к вектору скорости ПНГЦ.

Чтобы решить задачу бомбометания, необходимо знать характеристики движения центра массы АБ, в качестве которых используются следующие баллистические элементы: штилевой относ  $A_0$  (линейное отставание  $\Delta$ ); время падения бомбы  $T$ . На практике значения баллистических элементов обычно автоматически вычисляются в ИВС БЛА на основе текущих пилотажно-навигационных параметров полёта БЛА и известного значения характеристического времени АБ  $\theta$  [10].

Для организации управления полётом БЛА при бомбометании в ИВС по данным БРЛС должны быть сформированы определённые параметры прицеливания. Чтобы решить задачу прицеливания, необходимо оценивать векторы требуемой  $\mathbf{D}_{mp}$  и  $\mathbf{D}$  фактической дальности до цели. При бомбометании серии АБ вектор  $\mathbf{D}_{tp}$  определяется выражением [11]:

$$\mathbf{D}_{tp} = \mathbf{D} - \mathbf{R}_1,$$

где  $\mathbf{R}_1$  – вектор выноса точки падения первой прицельно сбрасываемой бомбы относительно цели. Величина  $\mathbf{R}_1$  обычно задается до полёта на бомбометание.

В процессе прицеливания в ИВС БЛА непрерывно определяется вектор

$$\Delta = \mathbf{D} - \mathbf{D}_{\text{тр}},$$

на основе которого формируются такие сигналы управления САУ БЛА, под действием которых вектор  $\Delta$  сводится к нулю, т.е. выполняется условие попадания АБ (серии АБ) в цель или в район цели.

Для определенности рассмотрим бомбометание с горизонтального полёта. При прицеливании в процессе бомбометания требуемые координаты цели в ИВС БЛА обычно рассчитываются, исходя из гипотезы о постоянстве и горизонтальности вектора ветра ( $\mathbf{W} = \text{const}$ ). С учётом этого выразим вектор требуемой дальности до цели через баллистические элементы АБ

$$\mathbf{D}_{\text{тр}} = \mathbf{A}_{\text{п}} - H\mathbf{y}_0 = \mathbf{A}_0 + \mathbf{W}T - H\mathbf{y}_0,$$

где  $\mathbf{y}_0$  – орт оси  $O_{\text{БЛА}}Y_g$ ;  $\mathbf{A}_{\text{п}}$  – вектор полного относительного АБ;  $\mathbf{A}_0$  – вектор штилевого относительного АБ;  $H$  – высота полёта БЛА над уровнем точки падения АБ.

Если ось  $O_{\text{БЛА}}X_g$  системы координат  $O_{\text{БЛА}}X_gY_gZ_g$  лежит в плоскости курса БЛА, то при бомбометании серии АБ по подвижной цели для требуемых координат цели справедливы уравнения:

$$x_{\text{тр}} = A_0 + W_x T - V_{\text{цх}} T - R_{1x}, \quad (4)$$

$$z_{\text{тр}} = W_z T - V_{\text{цз}} T - R_{1z}, \quad (5)$$

где  $R_{1x}$ ,  $R_{1z}$ ,  $V_{\text{цх}}$ ,  $V_{\text{цз}}$  – проекции векторов  $\mathbf{R}_1$  и  $\mathbf{V}_{\text{ц}}$  на оси горизонтальной системы координат  $OX_gZ_g$  соответственно.

Соотношения (4) и (5) не отражают динамики процесса прицеливания по направлению, который предшествует прицеливанию по дальности. После того как первый раз выполнено условие прицеливания по направлению ( $z_{\text{тр}} = z$ ), БЛА должен быть выведен на линию боевого пути (ЛБП) и в дальнейшем удерживаться на ней до выхода в точку сброса АБ. При бомбометании с горизонтального полёта и с пикирования ЛБП представляет собой прямую линию, поэтому движение БЛА до точки сброса АБ должно осуществляться с постоянным курсом.

Таким образом, бомбометание должно осуществляться при выполнении «привязки» не только к цели, но и к расчётной точке встречи.

На рисунке 4 изображены основные геометрические соотношения между параметрами, определяющими условия бомбометания, и приняты следующие обозначения: точки  $O_{БЛА}$  и  $O_{сб1}$  отображают положение БЛА (в проекции на горизонтальную плоскость  $O_{БЛА}X_gZ_g$ ) соответственно в текущий момент времени  $t_0$ , а также в момент сброса  $t_{сб1}$  первой АБ серии;  $\mathbf{V}$ ,  $\mathbf{V}_п$ ,  $\mathbf{W}$  – соответственно векторы воздушной, путевой скорости БЛА и скорости ветра соответственно;  $W_x$ ,  $W_z$  и  $V_{пх}$ ,  $V_{пз}$  – проекции векторов  $\mathbf{W}$  и  $\mathbf{V}_п$ ; точки  $O_{ц}$ ,  $O_{ц1}$  – фактическое (при сбросе первой АБ серии в момент  $t_{сб1}$ ) и экстраполируемое положение цели в момент приземления первой АБ серии.

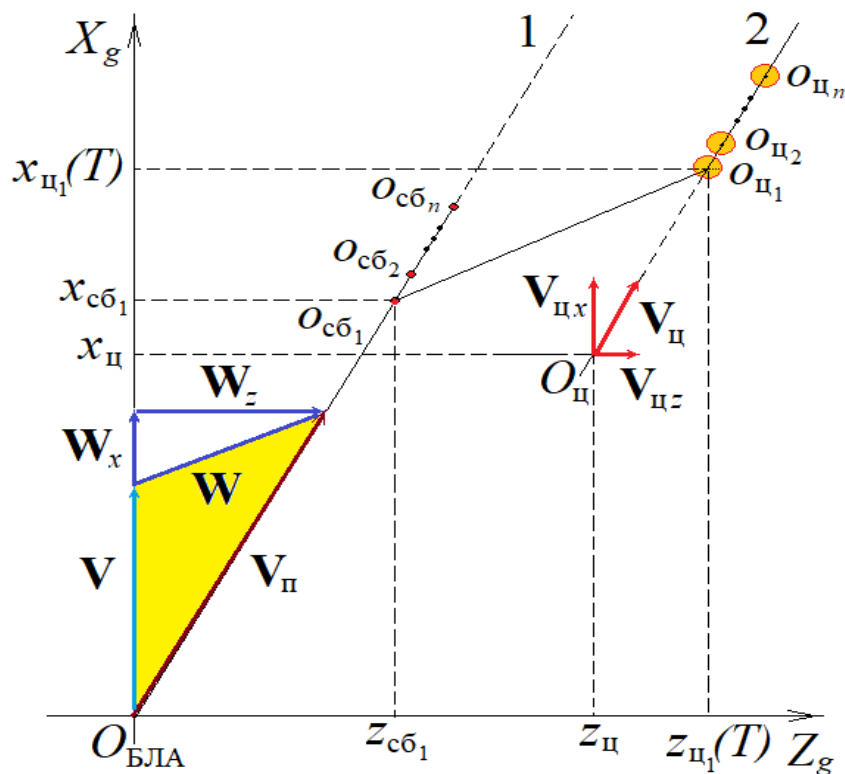


Рисунок 4 – Геометрические соотношения при бомбометании на конечном участке наведения БЛА. Цифрами обозначено: 1 – линии боевого пути; 2 – линия разрывов АБ

Если при полёте БЛА на высоте  $H_0 = \text{const}$  по линии боевого пути, которая совпадает с направлением вектора путевой скорости  $V_{\Pi}$ , в различные моменты времени  $t_{\text{сб}1}, t_{\text{сб}2}, \dots, t_{\text{сб}n}$  будут сброшены  $n$  бомб, то точки их падения расположатся на ЛР, параллельной ЛБП:  $O_{\text{ц}1}, O_{\text{ц}2}, \dots, O_{\text{ц}n}$ .

При счислении координат в процессе движения БЛА по ЛБП для текущего момента времени имеем:

$$S_x(t) = \int_{t_0}^t V_{\text{пх}}(\tau) d\tau$$

$$S_z(t) = \int_{t_0}^t V_{\text{пз}}(\tau) d\tau$$

Проекции  $V_{\text{пх}}, V_{\text{пз}}$  вектора  $V_{\Pi}$  в общем случае являются функциями времени. Их оценки определяются по данным сопровождения подвижной наземной групповой цели БРЛС БЛА.

Время  $t_{\text{ос}}$ , оставшееся до момента  $t_{\text{сб}1}$  сброса серии АБ в точке  $O_{\text{сб}1}$ , можно определить по формуле:

$$t_{\text{ос}} = \frac{x_{\Pi} - S_x(t) - A_0 - W_x T + V_{\text{пх}} T}{V_{\text{пх}}}$$

## Заключение

Повышение боевой эффективности перспективных комплексов с БЛА напрямую связано с совершенствованием способов его боевого применения при поражении подвижных наземных групповых целей. Возможности современного и тем более перспективного БЛА с неуправляемыми АБ в качестве всепогодного эффективного ВТО в значительной степени определяются качеством его многофункциональной бортовой РЛС и уровнем «интеллекта» ИВС, основу которого составляют его программно-математическое обеспечение. При построении алгоритмов сопровождения подвижных наземных групповых целей необходимо учитывать особенности, присущие процессу формирования образов движущихся целей и их радиолокационного изображения наблюдаемой земной поверхности.

### Список использованных источников

1. Аюпов А.И. Системный подход к организации технического развития авиации. В кн.: Материалы X Всероссийской научно-технической конференции «Научные чтения по авиации, посвященные памяти Н.Е. Жуковского». М.: Издательский дом ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2013. С. 12-33.
2. Буравлёв А.И., Брезгин В.С. Методы оценки эффективности применения высокоточного оружия. М.: ИД Акад. Жуковского, 2018. 231 с.
3. Информационно-измерительные и управляющие радиоэлектронные системы и комплексы / Под ред. В.С. Вербы. М.: Радиотехника, 2020. 490 с.
4. Верба В.С., Татарский Б.Г. Основные аспекты многоцелевого сопровождения наземных целей в бортовых многофункциональных РЛС // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2019. Т. 17. № 1. С. 55-64.
5. Ануфриев О.Н., Герасимов А.А., Меркулов В.И., Самарин О.Ф., Чернов В.С. Ударные беспилотные летательные аппараты и их радиолокационные системы // Успехи современной радиоэлектроники. 2007. № 7. С. 51-65.
6. Авиационные системы радиопередачи / Под ред. В.И. Меркулова. М.: Издательство ВВИА имени профессора Н.Е. Жуковского, 2008. 423 с.
7. Детков А.Н., Трегубенков С.Ю. Радиолокационно-спутниковая система наведения ракет класса «воздух-поверхность» на наземные цели // Общероссийский научно-технический журнал «Полёт». 2019. № 11. С. 20-27.
8. Авиационные системы радиовидения / Под ред. Г.С. Кондратенкова. М.: Радиотехника, 2015. 648 с.
9. Антипов В.Н., Ефимов В.А., Умнов И.Н. Селектор малоскоростных целей на фоне подстилающей поверхности // Радиотехника. 1994. № 4-5. С. 59-63.
10. Мубаракшин Р.В. Комплексное наведение летательных аппаратов и отделяемых средств. М.: Машиностроение, 1990. 271 с.
11. Ярлыков М.С., Богачев А.С., Меркулов В.И., Дрогалин В.В. Радиоэлектронные комплексы навигации, прицеливания и управления вооружением летательных аппаратов. Т. 2. Применение авиационных радиоэлектронных комплексов при решении боевых и навигационных задач / Под ред. М.С. Ярлыкова. М.: Радиотехника, 2012. 256 с.