

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.9.4>

УДК 623.681.93

ОПТИМИЗАЦИЯ ТРАЕКТОРИИ РАДИОЛОКАЦИОННО-СПУТНИКОВОГО НАВЕДЕНИЯ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА НАЗЕМНУЮ ЦЕЛЬ

А. Н. Детков

ФГУП «Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем»,
125319 г. Москва, ул. Викторенко, д. 7

Статья поступила в редакцию 1 сентября 2020 г.

Аннотация. Рассмотрены траектории наведения беспилотного летательного аппарата, оснащенного радиолокатором с синтезированием апертуры антенны, в передней зоне обзора. Получена зависимость угла наблюдения цели от заданного линейного разрешения на местности. Показано, что наведение на наземную цель по оптимальной траектории по критерию экономичности требует изменения угла наблюдения цели по линейному закону и выдерживания постоянной угловой скорости линии визирования.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БЛА), наземная цель, траектория наведения БЛА, радиолокатор с синтезированием апертуры антенны (РСА), передняя зона обзора (ПО).

Abstract. The trajectories of guidance of an UAV equipped with a SAR in the front view area are considered. The dependence of the angle of observation of the target on the given linear resolution on the ground is obtained. It is shown that aiming at a ground target along the optimal trajectory according to the criterion of efficiency requires changing the angle of observation of the target according to a linear law and maintaining a constant angular velocity of the line of sight.

Key words: UAV, ground target, guidance trajectory, SAR, forward view area.

Введение

Одним из способов улучшения разрешающей способности бортовой РСА, предназначенной для наведения БЛА на наземные цели (НЦ), является

синтезирование апертуры антенны в реальном масштабе времени [1-3].

С помощью таких РСА стало возможным высокоточное наведение БЛА в любых метеоусловиях, днём и ночью в интересах решения задач народного хозяйства или военного дела, например, при наведении средств пожаротушения на очаги пожара в условиях радиационного или химического заражения и др. [4].

Однако желаемый эффект улучшения линейного разрешения по азимуту при использовании синтезирования апертуры антенны достигается лишь в том случае, если БЛА движется под достаточно большим углом к линии визирования НЦ по криволинейной траектории и характеризуется интенсивно нарастающей боковой перегрузкой по мере приближения БЛА к цели [4, 5]. В то же время, для наилучшего наведения линия пути БЛА должна совпадать с линией визирования на цель (ЛВ) [6], т.к. при полёте по криволинейной траектории возрастает расход энергии, затрачиваемой на управление БЛА. С другой стороны, сохранение нулевого текущего промаха приводит к тому, что угловая скорость ЛВ должна стремиться к нулю, а это существенно ухудшает разрешающую способность РСА по азимуту.

Такая ситуация является следствием того, что при попытке нахождения компромисса в обеспечении противоречивых требований использовались традиционные подходы к формированию изображения местности не по курсу БЛА, а в боковом секторе. Всё это не позволяло удовлетворить противоречащим друг другу требованиям обеспечения требуемой линейной разрешающей способности по азимуту, точности и экономичности наведения в условиях реальных ограничений на располагаемые поперечные перегрузки.

Цель работы: оптимизация траектории наведения БЛА при сохранении линейной разрешающей способности РСА в передней зоне обзора с учётом минимизации затрат на управление и уменьшение текущего промаха по мере подлёта к границе рубежа конечного наведения.

1. Особенности синтеза апертуры антенны при ориентации электрической оси диаграммы направленности синтезированной антенны в передней зоне обзора на наземную цель

Синтезирование апертуры антенны при ориентации в пространстве оси диаграммы направленности синтезированной антенны (СДН) в передней зоне обзора позволяет существенно расширить тактические области применения бортового РСА БЛА [1-7].

Будем считать, что при переднем обзоре (ПО), так же как и при передне-боковом обзоре (ПБО), отражённый сигнал $s_m(t)$ в пределах m -й полосы дальности описывается соотношением [2]

$$s_m(t) = \sum_i s_{mi}(t), \quad m = \overline{0, N_r - 1},$$

где N_r – число полосок дальности в кадре радиолокационного изображения (РЛИ); $i = 1, 2, 3, \dots$ – индекс принадлежности сигнала i -му отражателю. Будем полагать, что в пределах m -й полосы дальности находится точечная цель. Тогда

$$s_{mц}(t) = s_{mi}(t).$$

Однако описание элементарного сигнала $s_{mц}(t)$ отличается от сигнала, полученного при ПБО, в связи с необходимостью учёта расположения оси СДН относительно оси диаграммы направленности реальной антенны (ДНА) и более сложной зависимостью фазы сигнала от времени:

$$s_{mц}(t) = U_{ц} G_{ц}(t) \exp \left\{ -j \left(\frac{4\pi}{\lambda} R_{ц}(t) - \varphi_{ц} \right) \right\}, \quad (1)$$

где

$$R_{ц}(t) = \sqrt{(x - x_{ц})^2 + (y - y_{ц})^2 + z^2}, \quad (2)$$

$$G_{ц}(t) = G(\beta_{ц}(t) - \psi_a(t)) \quad (3)$$

– нормированная функция, характеризующая модуляцию сигнала ДНА; $\psi_a(t)$ – угол (рис. 1) между осью OX_g и осью ДНА, который определяется законом управления ДНА, $\beta_{ц}(t) = \beta_{н}$ – угол между вектором путевой скорости $\mathbf{V}_{ц}$ БЛА

и направлением на цель – углом наблюдения β_H ; x, y, z – текущие координаты БЛА; $x_{ц}, y_{ц}$ – координаты цели, расположенной в точке $O_{ц}(x_{ц}, y_{ц}, 0)$.

Полагая, что за время интервала синтезирования T_c БЛА летит с постоянной скоростью $V_{п}$, выражения (1) – (3) можно привести к виду [2]

$$s_{mц}(t) = U_{Gц} \exp \left\{ -j \frac{2\pi}{\lambda} \left(2V_{rc}(\beta_H)t - a_{rc}(\beta_H)t^2 \right) + j\varphi_{ц} \right\}. \quad (4)$$

Здесь учтено, что $\psi_{ц} = -\frac{4\pi R_{ц}}{\lambda} + \varphi_{ц}$, $U_{Gц} = U_{ц} G(\beta_{ц} - \psi_a)$. Следует заметить,

что выражение (4) справедливо при $|t| \leq T_c$.

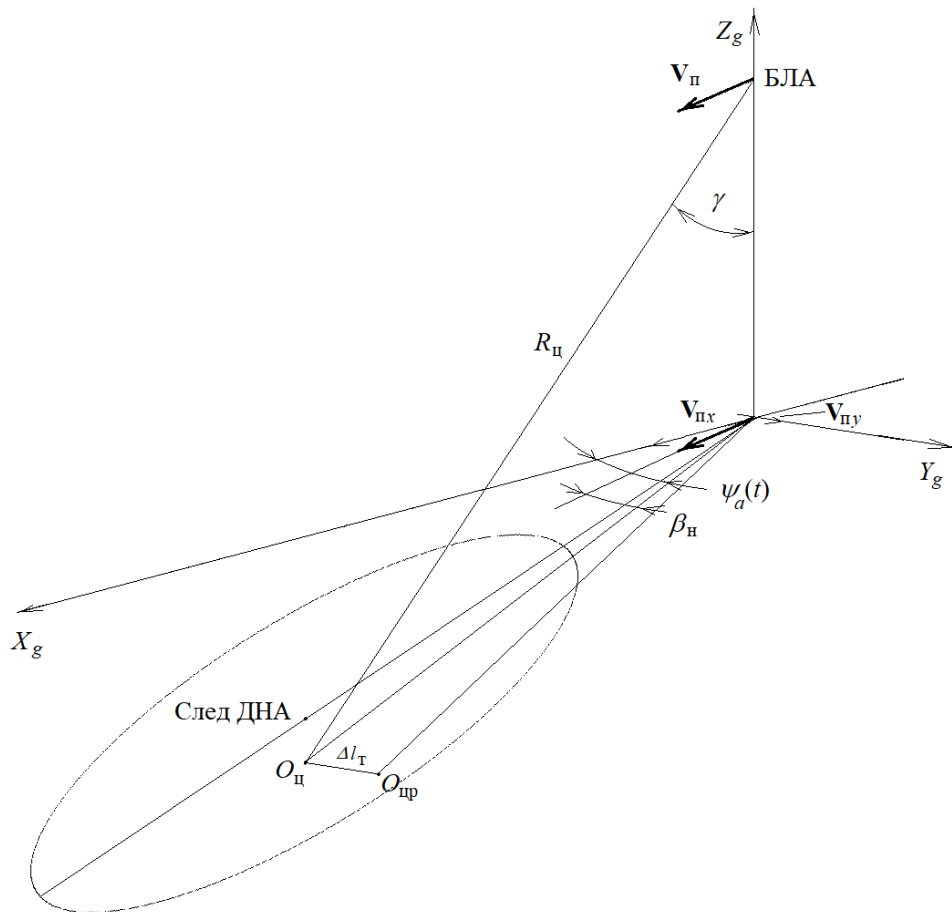


Рис. 1. Система координат при переднем обзоре.

Анализ (4) показывает, что ориентация СДН под углом наблюдения $\beta_H = \beta_{ц}$ (рис. 1) приводит к тому, что появляется:

1. доплеровское смещение несущей частоты сигнала

$$\omega_{\text{дц}} = \frac{4\pi}{\lambda} V_{\text{п}} \cos \beta_{\text{н}} \sin \gamma = \frac{4\pi}{\lambda} V_{\text{рц}};$$

2. зависимость знака доплеровского смещения несущей частоты сигнала в зависимости от того, с какой стороны от вектора путевой скорости приходит отражённый сигнал (далее для простоты будем считать, что антенная система РСА моноимпульсная и знак доплеровского смещения известен);

3. зависимость квадратичной составляющей фазы отражённого сигнала, определяющей возможности РСА по фокусировке, от угла наблюдения $\beta_{\text{н}}$.

Последнее приводит к появлению зависимости потенциальных характеристик РСА от угла наблюдения $\beta_{\text{н}}$. Оценим эту зависимость для разрешающей способности РСА, отношения сигнал-шум и точности определения координат в передней зоне обзора при $|\beta_{\text{н}}| \leq 10^\circ$.

В качестве оценки разрешающей способности РСА часто используется ширина сигнальной функции, под которой понимается реакция РСА на одиночную цель. В этом случае в качестве оценки разрешающей способности РСА по азимуту используется ширина ρ_{β} , на уровне 3 дБ азимутальной сигнальной функции [2]

$$\rho_{\beta} = -\text{tg}\beta_{\text{н}} + \sqrt{\text{tg}^2\beta_{\text{н}} + \frac{\lambda}{V_{\text{п}}T_c \cos \beta_{\text{н}} \sin \gamma}}.$$

γ – угол падения радиоволн (рис. 1).

При малых значениях азимутального угла цели ($\beta_{\text{н}} \ll 1$)

$$\rho_{\beta} = -\beta_{\text{н}} + \sqrt{\beta_{\text{н}}^2 + \frac{\lambda}{V_{\text{п}}T_c \sin \gamma}}. \quad (6)$$

Соотношение (6) позволяет получить оценку разрешающей способности для частных случаев, включая обзор в направлении вектора путевой скорости [1], когда $\beta_{\text{н}} = 0$:

$$\rho_{\beta} = \sqrt{\frac{\lambda}{V_{\text{п}}T_c \sin \gamma}}. \quad (7)$$

Не менее важной характеристикой РСА ПО, чем разрешение, является точность определения координат цели. Задача измерения сводится к определению с минимально возможными погрешностями положения цели в пределах элемента разрешения, в котором эта цель обнаружена. Так как предполагается, что цель обнаруживается с помощью РСА, система обработки которой согласована с заданным набором радиолокационных координат, положение цели будет известно [1] с точностью, пропорциональной размеру элемента разрешения по каждой из координат. Таким образом, потенциальная точность определения азимутальной координаты цели зависит от угла наблюдения так же, как и разрешение.

Зависимость отношения сигнал-шум в РСА от угла наблюдения при картографировании можно представить в следующем виде [2]:

$$q = \frac{P_{\text{ср}} S_a^2 \rho_r \sigma^0}{4\pi \lambda^2 r_m^3 f_3 k T_0 \Delta f} \rho_\beta, \quad (8)$$

где $P_{\text{ср}}$ – средняя мощность РЛС; r_m – расстояние до элемента разрешения; σ^0 – удельная эффективная поверхность фона; S_a – эффективная площадь апертуры антенны; $kT_0\Delta f F_{\text{ш}}$ – мощность теплового шума приёмника; f_3 – частота зондирования.

Анализ (8) показывает, что отношение сигнал-шум при картографировании земной (морской) поверхности зависит от разрешающей способности по дальности и от угла наблюдения. При уменьшении угла наблюдения происходит улучшение отношения сигнал-шум.

2. Разрешающая способность РСА в передней зоне обзора при наведении на наземную цель

Пусть на БЛА, находящийся на удалении $R_{\text{ц}}$ от неподвижной цели $O_{\text{ц}}$ и движущейся со скоростью $V_{\text{п}}$ под углом $\beta_{\text{н}}$ к ней (рис. 1), по отражённому сигналу формируется отметка от цели. Тогда доплеровская частота отражённого сигнала определяется как

$$F_{\text{д}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda} \cos \beta_{\text{н}} \sin \gamma, \quad (9)$$

а частота сигнала, отраженного от точки $O_{\text{цр}}$, отстоящей от $O_{\text{ц}}$ на расстояние $\Delta l_{\text{т}}$, равное требуемому линейному разрешению по азимуту, может быть рассчитана по формуле

$$F_{\text{др}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda} \cos \left(\beta_{\text{н}} + \frac{\Delta l_{\text{т}}}{R_{\text{ц}}} \right) \sin \gamma. \quad (10)$$

С учётом малости углов и используя тригонометрические преобразования, перепишем (10) в виде

$$F_{\text{др}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda} \left(\cos \beta_{\text{н}} - \beta_{\text{н}} \frac{\Delta l_{\text{т}}}{R_{\text{ц}}} \right) \sin \gamma = F_{\text{д}} - \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda} \frac{\beta_{\text{н}} \Delta l_{\text{т}}}{R_{\text{ц}}} \sin \gamma,$$

где было учтено равенство (9).

Для того чтобы разрешить точки $O_{\text{ц}}$ и $O_{\text{цр}}$, полоса пропускания доплеровского фильтра в приёмнике РСА БЛА не должна превышать величины

$$\Delta F = F_{\text{д}} - F_{\text{др}} = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda} \frac{\sin \beta_{\text{н}} \Delta l_{\text{т}}}{R_{\text{ц}}} \sin \gamma = \frac{1}{T_c}. \quad (11)$$

Тогда требуемое линейное разрешение на местности $\Delta l_{\text{т}}$ имеет вид

$$\Delta l_{\text{т}} = \frac{2V_{\text{п}}}{R_{\text{ц}} \Delta F \lambda} \sin \beta_{\text{н}} \sin \gamma = \frac{2V_{\text{п}} T_c}{R_{\text{ц}} \lambda} \sin \beta_{\text{н}} \sin \gamma. \quad (12)$$

Отсюда следует, что для реализации требуемого линейного разрешения на местности $\Delta l_{\text{т}}$ траектория движения БЛА должна быть такой, чтобы бортовой пеленг цели $\varphi_{\text{т}}$ удовлетворял условию:

$$\varphi_{\text{т}} = \beta_{\text{н}} = \arcsin \frac{\lambda \Delta F R_{\text{ц}} \sin \gamma}{2V_{\text{п}} \Delta l_{\text{т}}} = \arcsin \frac{\lambda R_{\text{ц}} \sin \gamma}{2V_{\text{п}} T_c \Delta l_{\text{т}}}. \quad (13)$$

С учётом (6) разрешающая способности РСА по азимуту ρ_{β} в передней зоне обзора связана с требуемым линейным разрешением на местности $\Delta l_{\text{т}}$ следующим соотношением

$$\Delta l_T = \rho_\beta R_{ц} = \left(-\beta_H + \sqrt{\beta_H^2 + \frac{\lambda}{V_{п} T_c \sin \gamma}} \right) R_{ц}. \quad (14)$$

Из (14) следует, что

$$\beta_H = \frac{\lambda}{2V_{п} T_c \sin \gamma} R_{ц} - \frac{\Delta l_T}{2R_{ц}}. \quad (15)$$

На рис. 2 представлены зависимости угла наблюдения β_H в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора от дальности до цели при различной путевой скорости БЛА.

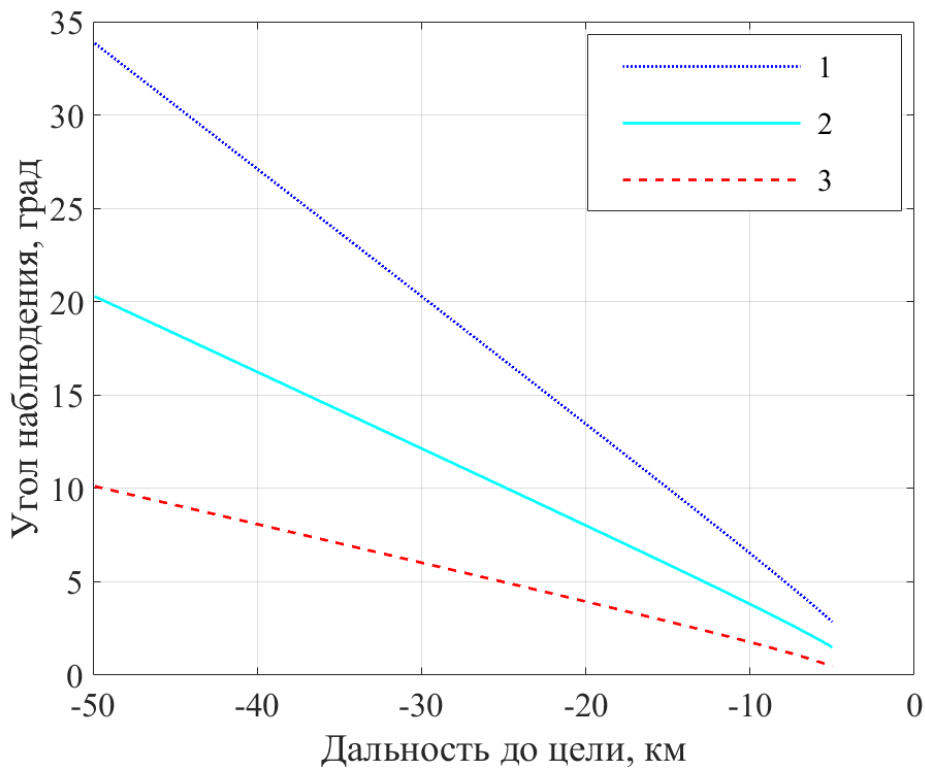


Рис. 2. Зависимость угла наблюдения β_H в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора от дальности до цели при $R_{ц0} = 50$ км, $\Delta l_T = 20$ м; $T_c = 2$ с; $\lambda = 3$ см. Цифрами обозначено: 1 – $V_{п} = 300$ м/с; 2 – $V_{п} = 500$ м/с; 3 – $V_{п} = 1000$ м/с

Из графиков рис. 2 следует важный вывод: при уменьшении дальности до цели и при постоянном требуемом линейном разрешении на местности Δl_T угол наблюдения β_H стремится к нулю в районе начала рубежа конечного

наведения. В этом случае требуемое линейное разрешение на местности $\Delta l_{\text{ТКН}}$ определяется как

$$\Delta l_{\text{ТКН}} = \sqrt{\frac{\lambda}{V_{\text{П}} T_{\text{СКН}} \sin \gamma}} R_{\text{ЦКН}}. \quad (14)$$

В случае если $\Delta l_{\text{ТКН}} > \Delta l_{\text{Т}}$ необходимо увеличить время когерентного накопления $T_{\text{СКН}}$. При дальнейшем уменьшении дальности до цели требуемое линейное разрешение на местности достигается и в режиме реального луча.

3. Анализ траекторий БЛА при наведении в передней зоне обзора

Определим уравнения траектории наведения БЛА в горизонтальной плоскости ($\gamma = 0$) при обеспечении требуемого линейного разрешения на местности $\Delta l_{\text{Т}}$ при переднем обзоре, когда угол наблюдения цели $\beta_{\text{Н}}$ находится в пределах сектора РЛИ $\pm 10^\circ$, в предположении, что движение БЛА осуществляется с постоянной путевой скоростью $V_{\text{П}}$.

Пусть цель совмещена с центром полярной системы координат $\{R, \phi\}$, где происходит движение БЛА с постоянной скоростью $V_{\text{П}}$. В начальный момент времени ($t_0 = 0$) положение БЛА описывается дальностью до цели $R_{\text{Ц0}}$, начальным углом наблюдения цели $\beta_{\text{Н0}}$ и углом ϕ_0 .

Уравнение траектории, обеспечивающей условие (12), является решением системы дифференциальных уравнений [5]:

$$\frac{dR_{\text{Ц}}}{dt} = -V_{\text{П}} \cos \beta_{\text{Н}} \cong -V_{\text{П}}, \quad R_{\text{Ц}}(0) = R_{\text{Ц0}}; \quad (15)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{\Delta\theta}{T_c} = \frac{\lambda}{2T_c \Delta l_{\text{Т}}}, \quad \phi(0) = \phi_0 = 0; \quad (16)$$

$$\frac{d\beta_{\text{Н}}}{dt} = -\frac{\lambda}{2T_c \Delta l_{\text{Т}}}, \quad \beta_{\text{Н}}(0) = \beta_{\text{Н0}}; \quad (17)$$

где $\frac{d\phi}{dt} = -\frac{d\beta_{\text{Н}}}{dt} = \omega$ – угловая скорость линии визирования,

$\Delta\theta = \frac{V_{\text{П}} T_c \sin \beta_{\text{Н}}}{R_{\text{Ц}}} \cong \frac{V_{\text{П}} T_c \beta_{\text{Н}}}{R_{\text{Ц}}} = \frac{\lambda}{2\Delta l_{\text{Т}}}$ – угловой размер интервала синтезирования.

Решение (15) – (17) имеет вид:

$$R_{ц}(t) = R_{ц0} - V_{п}t, \quad (18)$$

$$\phi(t) = \phi_0 + \frac{\lambda \Delta F}{2\Delta l_T} t, \quad (19)$$

$$\beta_{н}(t) = \beta_{н0} - \frac{\lambda \Delta F}{2\Delta l_T} t. \quad (20)$$

Уравнения (18) и (19) параметрически определяют окружность в полярной системе координат $\{R, \phi\}$ с радиусом $\rho_o = \frac{1 + \sin^2 \beta_{н0}}{2 \sin \beta_{н0}} R_{ц0}$, центр которой соответствует положению цели.

При этом движение БЛА по окружности характеризуется постоянной перегрузкой

$$n = \frac{V_{п}^2}{g\rho_o} = \frac{2V^2}{gR_{ц0}} \frac{\sin \beta_{н0}}{1 + \sin^2 \beta_{н0}}, \quad (21)$$

где g – ускорение свободного падения.

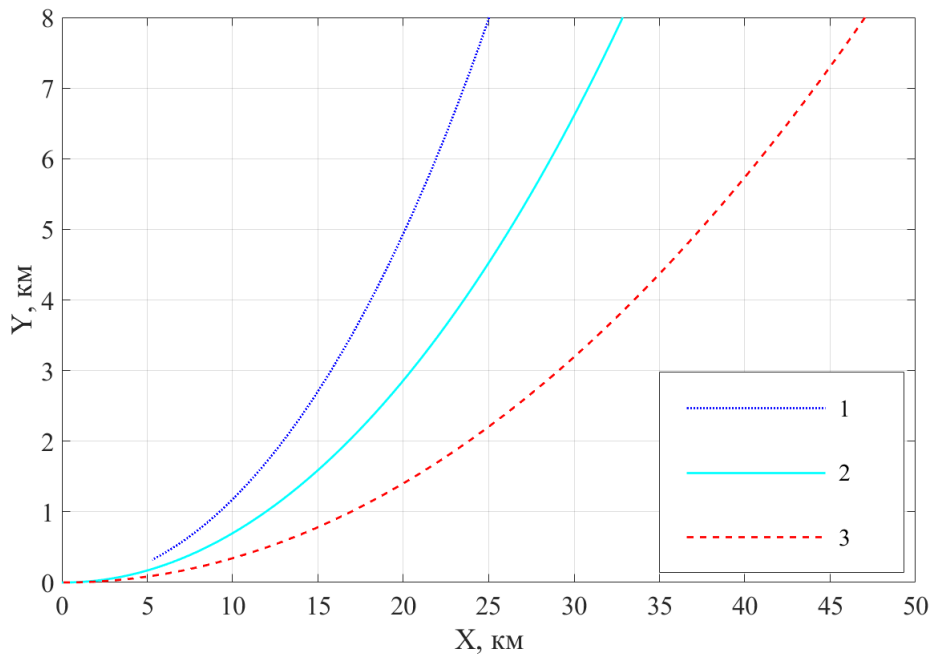


Рис. 3. Траектории наведения БЛА на цель (в начале координат) в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора при $R_{ц0} = 50$ км, $\Delta l_T = 20$ м; $T_c = 2$ с; $\lambda = 3$ см. Цифрами обозначено: 1 – $V_{п} = 300$ м/с; 2 – $V_{п} = 500$ м/с; 3 – $V_{п} = 1000$ м/с.

На рис. 3 показаны траектории наведения БЛА на цель в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора при различной путевой скорости БЛА. Расчётные значения радиуса траекторий и боковые перегрузки для тех же значений путевой скорости БЛА представлены в табл. 1.

Таблица 1. Зависимость радиуса траектории и боковой перегрузки от путевой скорости ($\lambda = 3$ см)

Путевая скорость БЛА, м/с	300	500	1000
Радиус траектории наведения, км	58,8	80,77	146,7
Боковая перегрузка	0,156	0,316	0,695

4. Оптимизация закона управления боковой перегрузкой БЛА при радиолокационно-спутникового наведении на наземную цель в передней зоне обзора

При радиолокационно-спутниковом методе наведения (РСМН) [7] угловое положение БЛА относительно неподвижной наземной цели в горизонтальной плоскости $\varphi_{\Gamma} \equiv \beta_{\text{H}}$ характеризуется системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{d\varphi_{\Gamma}}{dt} &= \omega, \\ \frac{d\omega}{dt} &= -\frac{2V_{\text{сб}}}{R_{\text{ц}}} \omega - \frac{j_{\text{б}}}{R_{\text{ц}}} + \sqrt{\frac{N_{\omega}}{2}} \xi_{\omega}, \end{aligned} \quad (22)$$

где ω – угловая скорость линии визирования «БЛА-цель»; $j_{\text{б}}$ – модуль вектора бокового ускорения БЛА; $R_{\text{ц}}$ и $V_{\text{сб}} = dR_{\text{ц}}/dt < 0$ – дальность до цели и скорость сближения с ней; ξ_{ω} – белый гауссовский шум с нулевым математическим ожиданием и единичной интенсивности, величина N_{ω} характеризует флуктуации угловой скорости ω линии визирования.

Полагая каналы управления независимыми, требуется синтезировать в рамках РСМН алгоритм наведения БЛА в горизонтальной плоскости наилучший по точности и экономичности. Для этого необходимо найти

требуемый сигнал управления j_T , оптимальный по минимуму функционала качества [5]

$$I = \mathbf{M} \left\{ \begin{bmatrix} \varphi_y - \varphi_T \\ \omega_T - \omega \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} q_\varphi & 0 \\ 0 & q_\omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varphi_y - \varphi_T \\ \omega_T - \omega \end{bmatrix} + \int_0^t j_6^2 k_j d\tau \right\}, \quad (23)$$

где φ_y – угол упреждения, равный углу сноса α за счёт скорости ветра; ω_T – требуемая угловая скорость линии визирования «БЛА-цель»; q_φ и q_ω – штрафы за точность управления; k_j – штраф за значение сигнала управления j_6 ; $\mathbf{M}\{\cdot\}$ – операция усреднения по множеству реализаций.

Необходимо отметить, что при наличии ветра, направление и скорость которого характеризуются вектором \mathbf{U} , полёт к цели по прямой $O_{\text{БЛА}}O_{\text{ц}}$ (рис. 4, прямая обозначенная цифрой 4) возможен в том случае, если требуемый бортовой пеленг φ_T будет равен углу упреждения φ_y . Вполне очевидно, что при полёте БЛА к цели по линии $O_{\text{БЛА}}O_{\text{ц}}$ (под углом $\varphi_T = \varphi_y$) угловая скорость линии визирования будет равна нулю, т.е. $\omega_T = 0$. Однако при синтезировании апертуры антенны в передней зоне обзора полёт БЛА к цели происходит по дуге окружности (под углом $\varphi_T = \varphi_y + \beta_n$, где β_n определяется из (20)) (рис. 4, кривые, обозначенные цифрами 1, 2, 3) с заданным начальным углом наблюдения β_{n0} и с требуемой угловой скоростью линии визирования «БЛА-цель»

$$\omega_T = \frac{\lambda}{2T_c \Delta l_T}. \quad (24)$$

Из этого следует, что в такой ситуации текущий промах h_T до начала границы зоны конечного наведения будет определяться выражением

$$h_T = \frac{R_{\text{ц}}^2 \lambda \Delta F}{2V_{\text{п}} \Delta l_T}. \quad (25)$$

Внутри зоны конечного наведения когда $\beta_n \rightarrow 0$ угловая скорость линии визирования будет стремиться к нулю и тогда текущий промах h_T также будет

стремиться к нулю. Данное обстоятельство поясняет способность функционала (23) учитывать требования точности наведения.

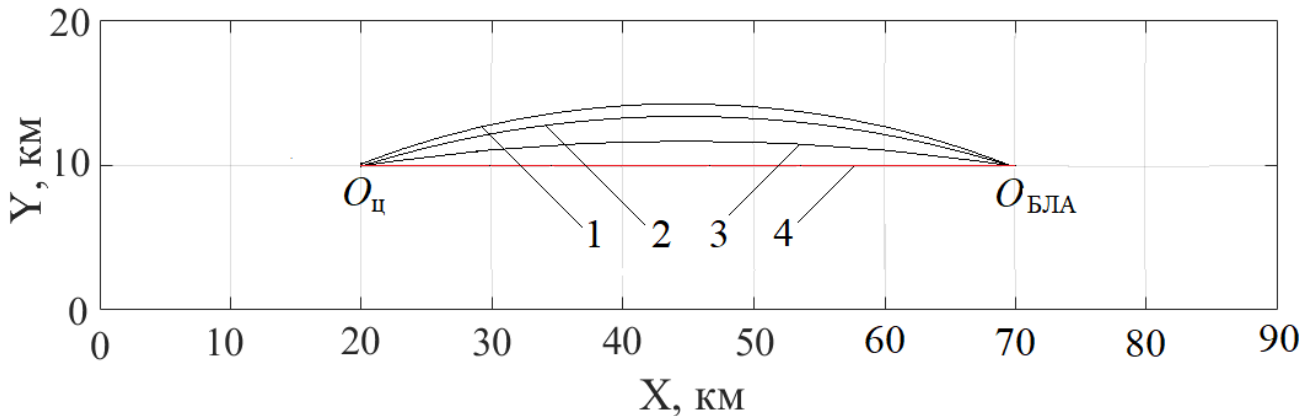
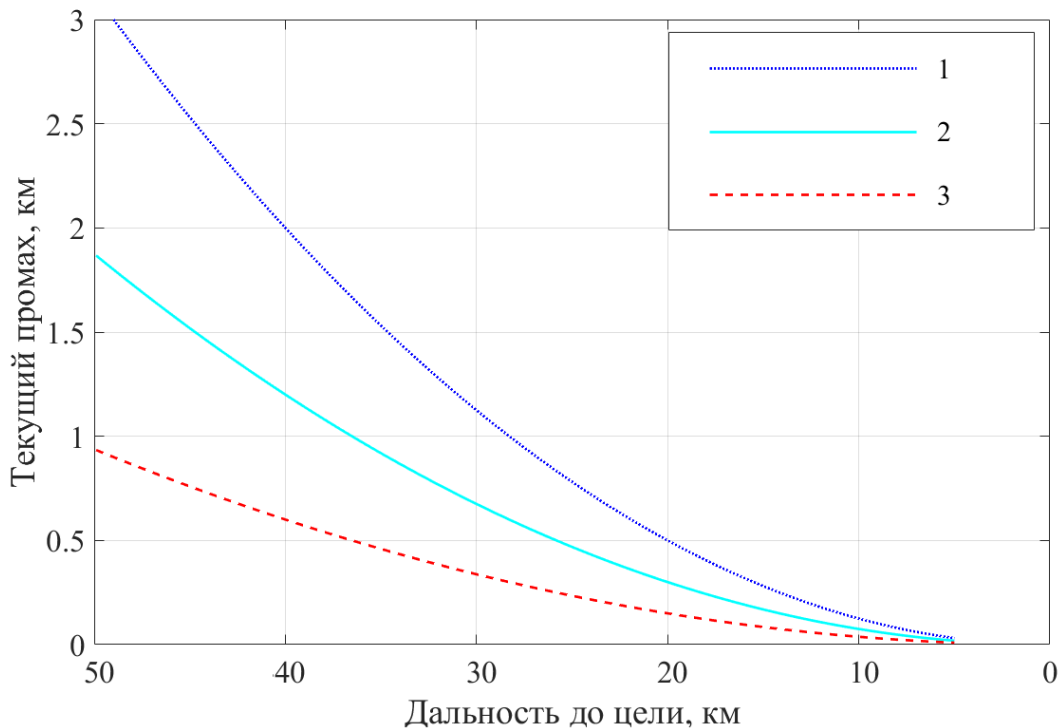


Рис. 4. Расчётные траектории наведения БЛА на цель в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора при $R_{ц0} = 50$ км, $\Delta l_T = 20$ м; $T_c = 2$ с; $\lambda = 3$ см. Цифрами обозначено: 1 – $V_{п} = 300$ м/с; 2 – $V_{п} = 500$ м/с; 3 – $V_{п} = 1000$ м/с; 4 – линия визирования «БЛА-цель» в момент $t = 0$.

Расчётные значения текущего промаха наведения БЛА на цель в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора приведены на рис. 5.



Рису. 5. Расчётные значения текущего промаха наведения БЛА на цель в режиме синтезирования апертуры в передней зоне обзора при $R_{ц0} = 50$ км, $\Delta l_T = 20$ м; $\Delta F = 0,5$ Гц; $\lambda = 3$ см. Цифрами обозначено: 1 – $V_{п} = 300$ м/с; 2 – $V_{п} = 500$ м/с; 3 – $V_{п} = 1000$ м/с

При использовании математического аппарата статистической теории оптимального управления алгоритм траекторного управления БЛА в горизонтальной плоскости при наведении на наземную цель при РСМН имеет вид [7]:

$$\Delta_{\Gamma} = j_{\Gamma} - j^{*} = \frac{q_{\varphi}}{k_j V_{сб}^{*}} (\varphi_y^{*} - \varphi^{*}) + \frac{q_{\omega}}{k_j R_{ц}^{*}} (\omega_{\Gamma} - \omega^{*}) - j^{*}, \quad (26)$$

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

В соответствии с теоремой разделения в (26) истинные значения измеряемых параметров заменяются их оценками.

Метод наведения (26) является частным случаем метода последовательных упреждений и отличается от него нестационарным характером коэффициентов, учитывающих в требуемом законе наведения веса ошибок управления $(\varphi_y - \varphi)$ и $(\omega_{\Gamma} - \omega)$. При этом на больших расстояниях до цели, когда дальность R до цели велика, он вырождается в разновидность прямого метода, называемую иногда путевым методом [5].

Заключение

Таким образом, получена зависимость угла наблюдения цели $\beta_{\text{н}}$ от заданного линейного разрешения на местности.

Траекторное наведение БЛА на наземную цель в передней зоне обзора включает 3 этапа:

1. Наведение на наземную цель по оптимальной траектории по критерию экономичности. Синтезирование апертуры антенны при этом требует изменения угла наблюдения цели по линейному закону и выдерживания постоянной угловой скорости линии визирования.

2. При уменьшении дальности до цели в районе начала рубежа конечного наведения угол наблюдения $\beta_{\text{н}}$ стремится к нулю. В этом случае требуемое линейное разрешение на местности $\Delta l_{\text{ткн}}$ определяется в результате

синтезирования апертуры по вектору путевой скорости. В случае если $\Delta l_{\text{ткн}} > \Delta l_{\text{т}}$ необходимо увеличить время когерентного накопления $T_{\text{скн}}$.

3. При дальнейшем уменьшении дальности до цели требуемое линейное разрешение на местности достигается и в режиме реального луча.

Требуемые боковые перегрузки при различных скоростях БЛА на этапе синтеза апертуры антенны незначительны и не превышают 0,16 ... 0,7.

Отношение сигнал-шум при картографировании земной (морской) поверхности зависит от разрешающей способности по дальности и от угла наблюдения. При уменьшении угла наблюдения происходит увеличение отношения сигнал-шум, что улучшает качество радиолокационного изображения.

Литература

1. Кондратенков Г.С. Радиолокационные станции обзора Земли / Г.С. Кондратенков, В.А. Потехин, А.П. Реутов, Ю.А. Феоктистов; Под ред. Г. С. Кондратенкова. – М.: Радио и связь, 1983. – 272 с.
2. Антипов В.Н., Горяинов В.Т., Кулин А.В. и др. Радиолокационные станции с цифровым синтезированием апертуры антенны / Под ред. В.Т. Горяинова. – М.: Радио и связь, 1988. – 304 с.
3. Школьный Л.А., Толстов Е.Ф., Детков А.Н. и др. Радиолокационные системы воздушной разведки, дешифрирование радиолокационных изображений / Под ред. Л.А. Школьного. – М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2008. – 532 с.
4. Радиовидение наземных объектов в сложных метеоусловиях / Под ред. В.А. Павельева. М.: Радиотехника, 2007.
5. Антипов В.Н., Колтышев Е.Е., Сухомлинов Д.В. Оптимизация траектории наведения объекта в радиолокационных системах с синтезированием апертуры // Радиотехника. 2009. № 6. С. 112-116.
6. Авиационные системы радиопреуправления / Под ред. В.И. Меркулова. М.: Изд. ВВИА им. проф. 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.

Для цитирования:

Детков А.Н. Оптимизация траектории радиолокационно-спутникового наведения беспилотного летательного аппарата на наземную цель. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.9.4>