

DOI <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.12.1>

УДК 623.681 93

АНАЛИЗ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО- ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА К ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ ПРИ ЕГО НАВЕДЕНИИ НА НАЗЕМНУЮ ЦЕЛЬ С ПОМОЩЬЮ РЛС С СИНТЕЗИРОВАННОЙ АПЕРТУРОЙ АНТЕННЫ В РЕЖИМЕ ПЕРЕДНЕГО ОБЗОРА

А. Н. Детков

**Государственный научно-исследовательский институт авиационных систем, 125319,
Москва, ул. Викторенко, 7**

Статья поступила в редакцию 30 ноября 2020 г.

Аннотация. В рамках радиолокационно-спутникового метода наведения на основе методики оценки чувствительности информационно-вычислительных систем БЛА к точности используемых измерителей получены показатели чувствительности в случае использования для наведения на наземную цель РЛС с синтезированной апертурой антенны в режиме переднего обзора.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат (БЛА), информационно-вычислительная система (ИВС), показатели чувствительности, радиолокационная станция с синтезированной апертурой антенны в режиме переднего обзора (РСА ПО)

Abstract. Within the framework of the radar-satellite guidance method, based on the methodology for assessing the sensitivity of information and computing systems of UAVs to the accuracy of the meters used, sensitivity indicators were obtained in the case of using a forward looking SAR for pointing to a ground target.

Key words: UAV, information computing system, sensitivity indicators, forward looking SAR.

Введение

Появление РЛС с синтезированной апертурой антенны в реальном масштабе времени во многих случаях позволяет решать задачи наведения БЛА на цель в любых погодных условиях, независимо от времени суток. При этом

точность наведения во многом зависит от точности измерений (оценивания) фазовых координат, используемых при траекторном управлении БЛА. Однако повышение точности измерений дальномерного и угломерного каналов РСА ПО связано с увеличением времени когерентного накопления, что в условиях полёта БЛА в турбулентной атмосфере предъявляет повышенные требования к вычислительным ресурсам ИВС БЛА и к микронавигационному обеспечению, которое используется при синтезировании апертуры антенны, что в целом приводит к удорожанию и увеличению массогабаритных характеристик аппаратуры БЛА.

Вместе с тем, следует отметить, что погрешности оценивания различных фазовых координат в разной степени влияют на точность формирования сигнала траекторного управления (параметра рассогласования), поскольку эти координаты учитываются в законе управления с различными весами [1].

В связи с этим весьма актуальным является вопрос о целесообразности повышения точности различных измерителей БЛА с РСА ПО, применяемых в процессе наведения. Решить эту задачу можно путем исследования чувствительности используемого алгоритма траекторного управления к точности измерителей.

В простейшем случае чувствительность оценивается по величинам установившейся динамической ошибки и дисперсии погрешностей формирования параметров рассогласования, обусловленных погрешностями оценивания (измерения) фазовых координат [1].

Цель работы: анализ чувствительности информационно-вычислительной системы БЛА, в состав которой входит РСА ПО, к погрешностям измерителей при наведении БЛА на наземную цель с учётом требований к разрешающей способности РСА ПО по азимуту.

1. Алгоритм траекторного управления БЛА при радиолокационно-спутниковом методе наведения на наземную цель

Будем полагать, что выполняются следующие условия:

– самонаведение БЛА выполняется по радиолокационно-спутниковому методу

наведения в условиях турбулентной атмосферы [2];

- все применяемые измерители имеют динамические и флуктуационные погрешности;
- флуктуационные погрешности представляют собой независимые центрированные гауссовские процессы с известными дисперсиями;
- каналы траекторного управления БЛА в различных плоскостях независимы и не влияют друг на друга.

Последнее предположение даёт возможность проводить анализ только для одного канала, например, горизонтального.

Алгоритм траекторного управления БЛА в горизонтальной плоскости в режиме синтезирования апертуры РСА ПО, обеспечивающий вывод БЛА на наземную цель, может формироваться по правилу [2]:

$$\Delta_h = \frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} (\hat{a}_1 + \hat{\alpha} - \hat{\varphi}_h) + \frac{b_\omega}{\hat{R}} (a_2 - \hat{\omega}_h) - \hat{j}_h,$$

$$\hat{a}_1 = \frac{\hat{R} \lambda \Delta F}{2 \hat{V} \Delta l_T}, \quad a_2 = \frac{\lambda \Delta F}{2 \Delta l_T}, \quad b_\varphi = \frac{q_\varphi}{k_j}, \quad b_\omega = \frac{q_\omega}{k_j}, \quad (1)$$

где \hat{R} , $\hat{V}_{сб}$, \hat{V} , \hat{j}_h – оценки дальности до цели, скорости сближения с ней, собственной скорости и ускорения БЛА; $\hat{\alpha}$ – оценка угла сноса, $\hat{\varphi}_h$, $\hat{\omega}_h$ – оценки угла пеленга и угловой скорости линии визирования цели; Δl_T – требуемое линейное разрешение на местности по азимуту; λ – длина волны; ΔF – полоса пропускания доплеровского фильтра; q_φ и q_ω – штрафы за точность управления по углу и угловой скорости; k_j – штраф за величину сигнала управления.

На основании методики, изложенной в [3, 4], разложив (1) в ряд Тейлора относительно точных значений всех фазовых координат, и ограничившись линейными членами разложения после вычитания точных значений параметров рассогласования, получим:

$$\Delta_{\Delta h} = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{R}} - \frac{b_\omega}{\hat{R}^2} (a_2 - \hat{\omega}_h) \right) \Delta R + \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}^2} (\hat{\varphi}_h - \hat{a}_1 - \hat{\alpha}) \right) \Delta V_{сб} -$$

$$-\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{V}} \Delta V - \frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \Delta \varphi_h + \frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \Delta \alpha - \frac{b_\omega}{\hat{R}} \Delta \omega_h - \Delta j_h, \quad (2)$$

где $\Delta_{\Delta h}$ – погрешность формирования параметра рассогласования: $\Delta R = R - \hat{R}$, $\Delta V_{сб} = V_{сб} - \hat{V}_{сб}$, $\Delta V = V - \hat{V}$, $\Delta \varphi_h = \varphi_h - \hat{\varphi}_h$, $\Delta \alpha = \alpha - \hat{\alpha}$, $\Delta \omega_h = \omega_h - \hat{\omega}_h$, $\Delta j_h = j_h - \hat{j}_h$ – соответственно погрешность измерения (оценивания) дальности до цели, скорости сближения с ней, собственной путевой скорости БЛА, угла сноса, бортового пеленга цели и угловой скорости линии визирования в горизонтальной плоскости и нормального ускорения БЛА. При детерминированном характере изменения используемых фазовых координат, опираясь на метод замороженных коэффициентов [1], можно получить выражения для установившихся значений динамических ошибок из (2) путём замены в них мгновенных ошибок на их установившиеся значения.

Чувствительность алгоритма траекторного управления к точности измерителей зависит не только от ошибок оценивания используемых фазовых координат, но и от требований к точности и экономичности, предъявляемых к системе наведения, и условий её применения, обуславливающих значения \hat{R} , $\hat{V}_{сб}$, \hat{V} , $\hat{\varphi}_h$, $\hat{\alpha}$, $\hat{\omega}_h$, \hat{j}_h [3].

Чем выше требования к экономичности процесса управления, определяемые значениями коэффициентов штрафов k_j , тем менее он чувствителен к ошибкам оценивания. Высокоточные системы наведения, характеризующиеся большими значениями коэффициентов q_φ , q_ω , более чувствительны к точности оценивания фазовых координат [1].

2. Чувствительность алгоритма траекторного управления БЛА с РСА ПО к точности измерителей

В общем случае в (2) можно выделить три группы погрешностей:

$$\Delta_{\Delta h} = \Delta_{\Delta h_a} + (\Delta_{\Delta R} + \Delta_{\Delta V_{сб}}) + (\Delta_{\Delta \varphi_h} + \Delta_{\Delta \omega_h}), \quad (3)$$

обусловленных влиянием различных типов измерителей. Первая из них определяется автономными датчиками:

$$\Delta_{\Delta h_a} = -\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{V}} \Delta V + \frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \Delta \alpha + \Delta j_h, \quad (4)$$

вторая зависит от точности дальномерного канала РСА ПО

$$\Delta_{\Delta R} = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{R}} - \frac{b_\omega}{\hat{R}^2} (a_2 - \hat{\omega}_h) \right) \Delta R, \quad (5)$$

$$\Delta_{\Delta V_{сб}} = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}^2} (\hat{\varphi}_h - \hat{a}_1 - \hat{\alpha}) \right) \Delta V_{сб}, \quad (6)$$

а третья обусловлена погрешностями угломерного канала РСА ПО:

$$\Delta_{\Delta \varphi_h} = -\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \Delta \varphi_h, \quad (7)$$

$$\Delta_{\Delta \omega_h} = -\frac{b_\omega}{\hat{R}} \Delta \omega_h. \quad (8)$$

В (3) – (8) нижние индексы ΔR , $\Delta V_{сб}$, ΔV , $\Delta \varphi_h$, $\Delta \alpha$, $\Delta \omega_h$, Δj_h означают, что соответствующие составляющие погрешностей формирования параметра рассогласования обусловлены соответственно погрешностями оценивания \hat{R} , $\hat{V}_{сб}$, \hat{V} , $\hat{\varphi}_h$, $\hat{\alpha}_{сн}$, $\hat{\omega}_h$, \hat{j}_h .

Поскольку флуктуационные составляющие погрешности измерителей представляют собой центрированные процессы, математические ожидания флуктуационных компонент погрешностей (2) будут равны нулю. На основании (2) дисперсию погрешностей формирования параметра рассогласования $D_{\Delta h}$ можно представить в виде суммы:

$$D_{\Delta h} = D_R + D_{V_{сб}} + D_V + D_\varphi + D_\alpha + D_\omega + \sigma_j^2, \quad (9)$$

где

$$D_R = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{R}} - \frac{b_\omega}{\hat{R}^2} (a_2 - \hat{\omega}_h) \right)^2 \sigma_R^2, \quad D_{V_{сб}} = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}^2} (\hat{\varphi}_h - \hat{a}_1 - \hat{\alpha}) \right)^2 \sigma_{V_{сб}}^2,$$

$$D_V = \left(-\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{V}} \right)^2 \sigma_V^2, \quad D_\varphi = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \right)^2 \sigma_\varphi^2, \quad D_\alpha = \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \right)^2 \sigma_\alpha^2, \quad D_\omega = \left(\frac{b_\omega}{\hat{R}} \right)^2 \sigma_\omega^2$$

– погрешности формирования параметра рассогласования за счёт погрешностей измерения (оценивания) соответственно дальности до цели;

скорости сближения, собственной скорости БЛА, бортового пеленга цели, угла сноса и угловой скорости линии визирования в горизонтальной плоскости; σ_R^2 , $\sigma_{V_{сб}}^2$, σ_V^2 , σ_φ^2 , σ_α^2 , σ_ω^2 и σ_j^2 – соответственно дисперсии погрешностей измерения (оценивания) дальности до цели, скорости сближения, собственной скорости БЛА, бортового пеленга цели, угла сноса и угловой скорости линии визирования в горизонтальной плоскости и бокового ускорения БЛА.

В качестве частных показателей чувствительности алгоритма траекторного управления БЛА с РСА ПО удобно рассматривать допустимые значения ошибок оценивания фазовых координат, при которых погрешности формирования параметра рассогласования не превышают установленной величины. Для их определения воспользуемся принципом равнопрочности [1], в соответствии с которым предполагается, что в известное максимально допустимое значение погрешности формирования параметра рассогласования $\Delta_{\Delta h \max}$ все составляющие, обусловленные погрешностями оценивания различных фазовых координат, вносят равный вклад. В этом случае допустимые значения погрешностей оценивания фазовых координат можно определить по аналогии с [4] по следующим формулам:

$$\Delta R = \frac{\Delta_{\Delta h \max}}{7} \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{R}} - \frac{b_\omega}{\hat{R}^2} (a_2 - \hat{\omega}_h) \right)^{-1}, \quad (10)$$

$$\Delta V_{сб} = \frac{\Delta_{\Delta h \max}}{7} \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}^2} (\hat{\varphi}_h - \hat{a}_1 - \hat{\alpha}) \right)^{-1}, \quad (11)$$

$$\Delta V = \frac{\Delta_{\Delta h \max}}{7} \left(-\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \frac{\hat{a}_1}{\hat{V}} \right)^{-1}, \quad (12)$$

$$\Delta \varphi_h = \frac{\Delta_{\Delta h \max}}{7} \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \right)^{-1}, \quad (13)$$

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta_{\Delta h \max}}{7} \left(\frac{b_\varphi}{\hat{V}_{сб}} \right)^{-1}, \quad (14)$$

$$\Delta \omega_h = \frac{\Delta_{\Delta h \max}}{7} \left(\frac{b_\omega}{\hat{R}} \right)^{-1}, \quad (15)$$

$$\Delta j_h = \frac{\Delta \Delta h_{\max}}{7}. \quad (16)$$

Из выражений (10) – (15) видно, что допустимые погрешности оценивания фазовых координат зависят не только от максимально допустимого значения погрешности формирования параметра рассогласования $\Delta \Delta h_{\max}$, коэффициентов штрафов за точность/экономичность, величины требуемого линейного разрешения Δl_T , но и от конкретных условий применения при которых формируются оценки: \hat{R} , $\hat{V}_{сб}$, \hat{V} , $\hat{\varphi}_h$, $\hat{\alpha}$, $\hat{\omega}_h$, \hat{j}_h .

В то же время фазовые координаты и их оценки опосредовано являются функциями коэффициентов штрафов за точность/экономичность b_φ , b_ω , максимальных значений погрешностей формирования параметра рассогласования $\Delta \Delta h_{\max}$ и требуемого азимутального разрешения РСА ПО Δl_T . Поэтому получение конкретных числовых значений для максимально допустимых погрешностей оценивания фазовых координат аналитическим путём является сложной задачей, поэтому, как правило, используется имитационное моделирование.

3. Результаты моделирования

Для исследования чувствительности алгоритма траекторного управления БЛА с РСА ПО (1) к точности оценивания фазовых координат и коэффициентам штрафов за точность/экономичность было проведено имитационное моделирование соотношений (10) – (16) в широком поле возможных значений дальностей и требуемых значений линейного разрешения РСА ПО по азимуту.

Моделирование осуществлялось при предположениях, использованных в [5]. При этом имитировались законы изменения дальности R в процессе полёта БЛА к цели в нормальной земной системе координат $Ox_g Z_g$:

$$z = \sqrt{\rho_0^2 - \left(x - \frac{R_{ц0}}{2}\right)^2} - \sqrt{\rho_0^2 - \frac{R_{ц0}^2}{4}}, \quad (17)$$

где $R_{ц0}$ – начальная дальность до цели, ρ_0 – радиус окружности – заданной траектории движения БЛА с РСА ПО [5]

$$\rho_0 = \frac{R_{ц0}}{2} \frac{1 + \sin^2 \beta_{н0}}{\sin \beta_{н0}}.$$

Заданные траектории движения БЛА с РСА ПО с различной требуемой разрешающей способностью по азимуту Δl_T , иллюстрирует рис. 1 при $V = 100$ м/с; $\lambda = 3$ см; $\Delta F = 1$ Гц.

Возникающие в процессе полёта БЛА в турбулентной атмосфере эволюции бортового пеленга цели φ_h и угловой скорости линии визирования ω_h – как динамической системы, определялись системой стохастических дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \frac{d\hat{\varphi}_h}{dt} &= \hat{\omega}_h, \\ \frac{d\hat{\omega}_h}{dt} &= -2\alpha_\omega \hat{\omega}_h - \chi_\omega^2 \hat{\varphi}_h + \sqrt{4\alpha_\omega \chi_\omega^2 \sigma_\omega^2} \xi_\omega, \end{aligned} \quad (18)$$

где $\alpha_\omega = \frac{\hat{V}_{сб}}{\hat{R}}$; $\chi_\omega = \frac{\hat{V}_{сб}}{\hat{R}}$; σ_ω^2 – дисперсия угловой скорости линии визирования «БЛА-цель»; ξ_ω – белый гауссовский шум с нулевыми математическим ожидание и единичной интенсивностью.

Результаты моделирования эволюции бортового пеленга цели φ_h и угловой скорости линии визирования ω_h при различной требуемой разрешающей способностью по азимуту Δl_T в соответствии с (17), (18) приведены на рис. 2 при следующих априорных данных: $V = 100$ м/с; $\lambda = 3$ см; $\Delta F = 1$ Гц, $\sigma_\omega = 10^{-4}$ рад/с.

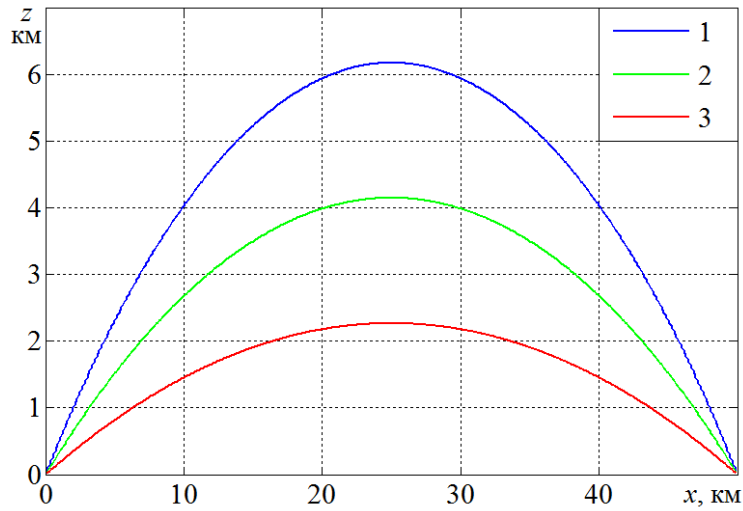


Рис. 1. Заданные траектории движения БЛА с РСА в режиме переднего обзора с различной требуемой разрешающей способностью по азимуту Δl_T . Начало координат соответствует положению цели. Цифрами обозначено: 1 – $\Delta l_T = 10$ м; 2 – $\Delta l_T = 20$ м; 3 – $\Delta l_T = 40$ м.

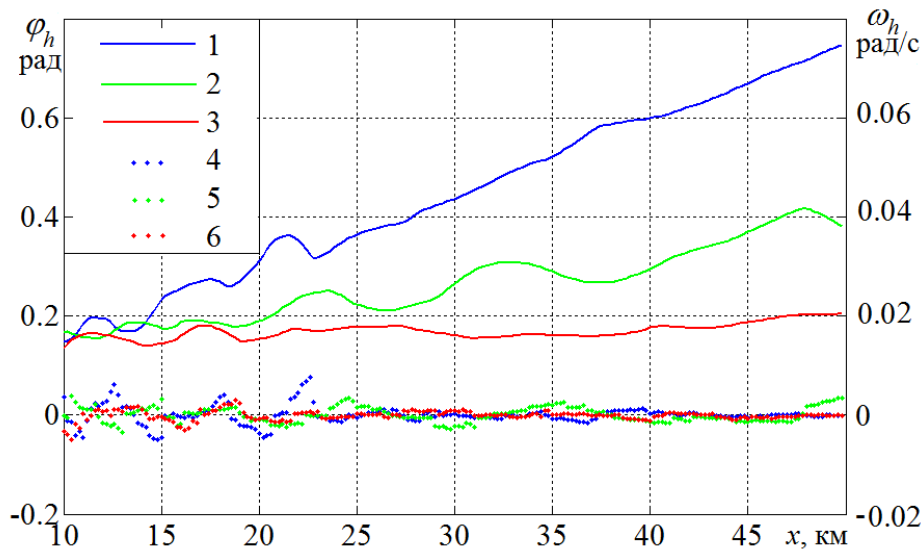


Рис. 2. Эволюции бортового пеленга цели φ_h (сплошная) и угловой скорости линии визирования ω_h (точки) при различной требуемой разрешающей способности по азимуту Δl_T . Цифрами обозначено: 1, 4 – $\Delta l_T = 10$ м; 2, 5 – $\Delta l_T = 20$ м; 3, 6 – $\Delta l_T = 40$ м.

Турбулентная составляющая скорости ветра для задач траекторного управления может определяться из стохастического дифференциального уравнения 1-го порядка [6]

$$\frac{d\Delta U}{dt} = -\alpha_u \Delta U + \sqrt{2\alpha_u \sigma_u^2} \xi_u,$$

где $\alpha_u = \frac{\hat{V}}{L}$; σ_u^2 – дисперсия скорости турбулентной составляющей скорости ветра; L – масштаб турбулентности; ξ_u – белый гауссовский шум с нулевыми математическим ожидание и единичной интенсивностью. Для спокойной атмосферы $\sigma_u^2 < 0,5$ м/с, для сильно возмущённой атмосферы – $\sigma_u^2 \geq 2,5$ м/с. Масштаб турбулентности обычно имеет значения $100 \leq L < 1000$ м [7].

На основании моделирования исследовалось влияние величины требуемого азимутального разрешения Δl_T РСА ПО на допустимые погрешности оценивания фазовых координат. Результаты исследований представлены на рис. 3 – 7. На них приведены зависимости нормированных допустимых погрешностей оценивания фазовых координат от дальности до цели (рис. 6 – от путевой скорости БЛА).

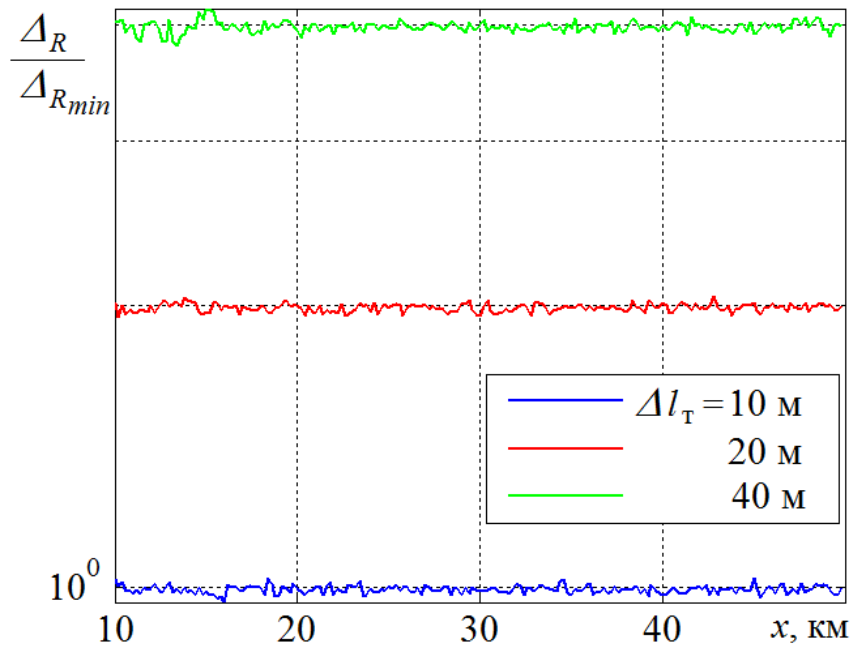


Рис. 3. Зависимость нормированной допустимой погрешности измерения дальности от дальности до цели при различной требуемой разрешающей способности РСА ПО по азимуту Δl_T .

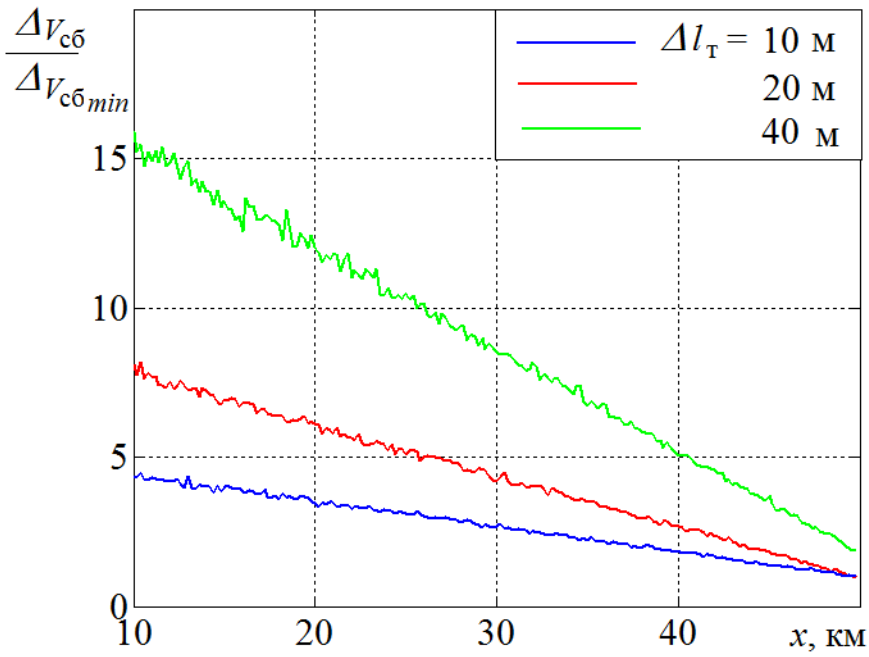


Рис. 4. Зависимость нормированной допустимой погрешности оценивания скорости сближения от дальности до цели при различной требуемой разрешающей способности РСА ПО по азимуту Δl_T .

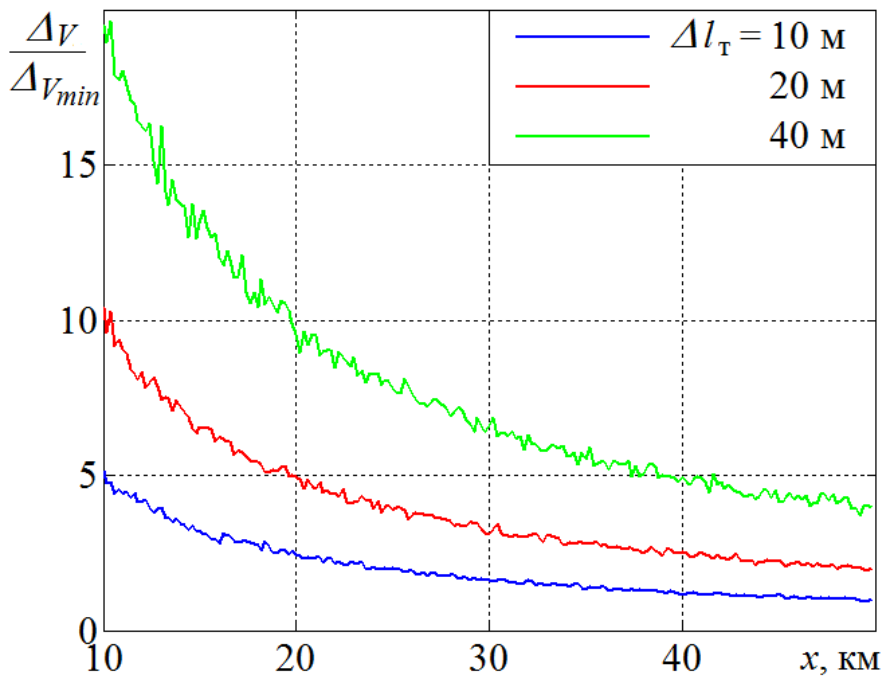


Рис. 5. Зависимость нормированной допустимой погрешности оценивания скорости БЛА от дальности до цели при различной требуемой разрешающей способности РСА ПО по азимуту Δl_T .

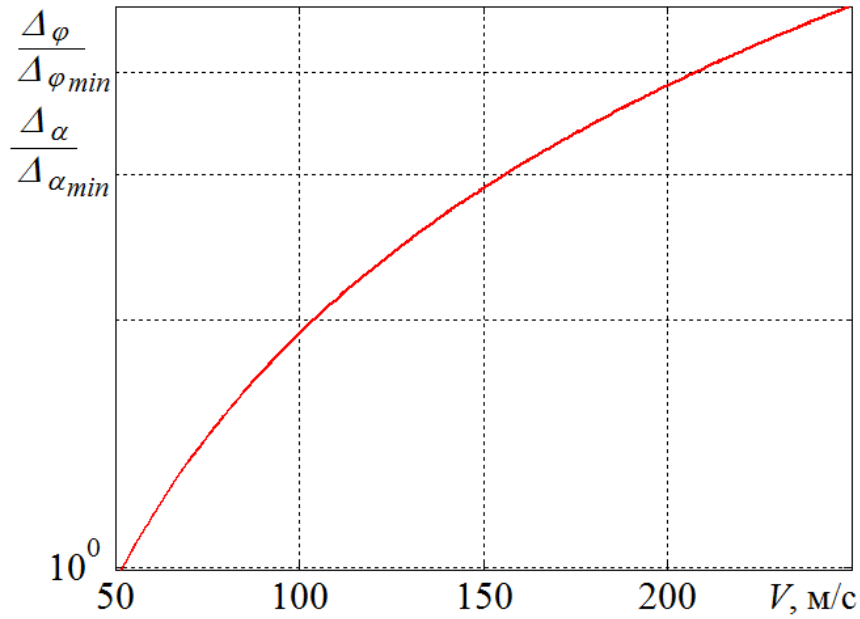


Рис. 6. Зависимость нормированной допустимой погрешности оценивания бортового пеленга цели (1) и угла сноса (2) от скорости БЛА.

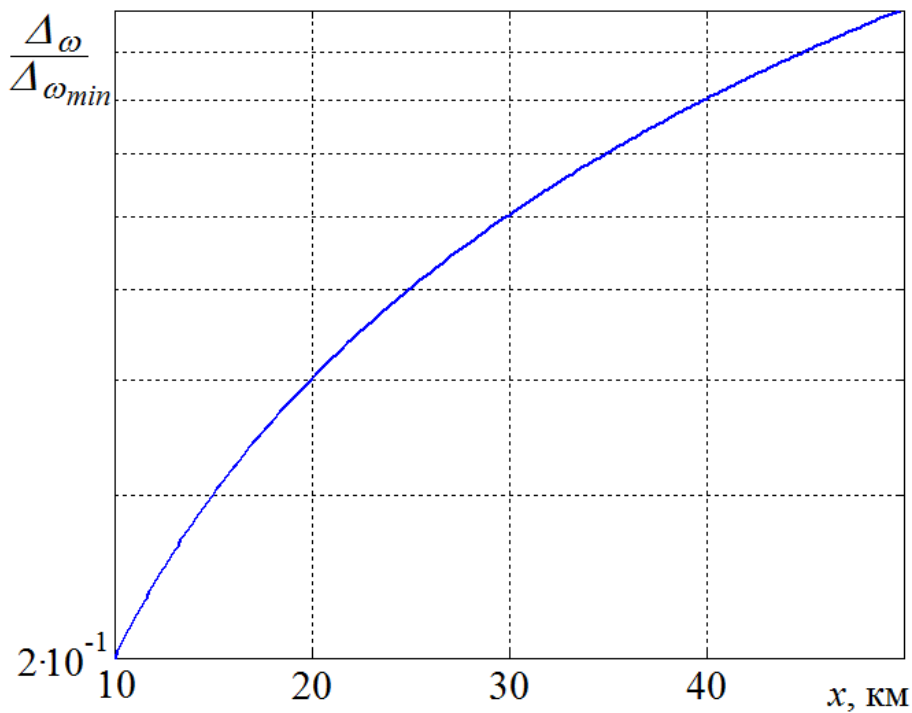


Рис. 7. Зависимость нормированной допустимой погрешности оценивания угловой скорости линии визирования от дальности до цели.

Анализ полученных зависимостей показывает, что уменьшение величины требуемого линейного разрешения Δl_T приводит к повышению требований к точности оценивания \hat{R} , $\hat{V}_{сб}$, \hat{V} , $\hat{\varphi}_h$.

Далее исследовался относительный вклад погрешностей оценивания каждой фазовой координаты в общее значение погрешности формирования параметра рассогласования (2) и при различных коэффициентах штрафов за точность/экономичность b_φ , b_ω . Результаты исследований представлены на рис. 8.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод о том, что наибольший вклад в величину ошибки формирования параметра рассогласования вносит угломерный канал при наличии наиболее жестких требований к измерению угла пеленга цели.

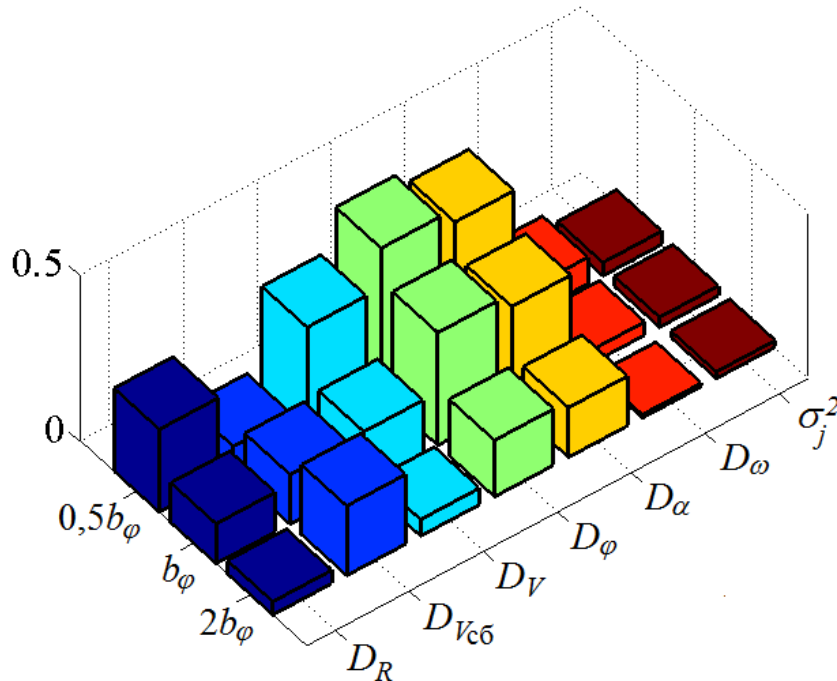


Рис. 8. Зависимость погрешности формирования параметра рассогласования за счёт погрешностей измерения (оценивания) фазовых координат от коэффициентов штрафов за точность/экономичность при $b_\varphi = b_\omega$.

Заключение

При радиолокационно-спутниковом методе наведения БЛА с РСА ПО на наземную цель наиболее жесткие требования к точности оценивания дальности, скорости сближения, собственной скорости БЛА и угла пеленга цели в

горизонтальной плоскости предъявляются в начале наведения, а к точности оценивания угловой скорости линии визирования в конце.

Уменьшение величины требуемого линейного разрешения приводит к повышению требований к точности оценивания фазовых координат.

Наибольший вклад, вносимый в общую ошибку формирования параметра рассогласования, приходится на угломерный канал РСА ПО.

Литература

1. Авиационные системы радиоуправления / Под ред. В.И. Меркулова. М.: Изд-во ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского 2008. – 423 с.
2. Детков А.Н., Трегубенков С.Ю. Радиолокационно-спутниковая система наведения ракет класса «воздух-поверхность» на наземные цели // Полёт. Общероссийский научно-технический журнал. 2019. №8. С.20-27.
3. Забелин И.В., Шуклин А.И. Чувствительность информационно-вычислительной системы ракеты «воздух-поверхность» к точности измерителей в режиме синтезирования апертуры антенны // Радиотехника. 2003. №6. С.89-95.
4. Детков А.Н., Трегубенков С.Ю., Шуклин А.И. Оценка влияния ошибок измерителей на точность формирования параметров рассогласования при радиолокационно-спутниковом методе наведения ракет класса «воздух-поверхность» // Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2019. №9. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2019.9.3>
5. 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>
6. Величкин А.И., Детков А.Н. Нелинейная фильтрация траекторного сообщения // Радиотехника. 1990. №9. С.3-7.

7. Красовский А.А., Вавилов Ю.А., Сучков А.И. Системы автоматического управления летательных аппаратов / Под ред. А.А. Красовского. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. 1986. – 478 с.

Для цитирования:

Детков А.Н. Анализ чувствительности информационно-вычислительной системы беспилотного летательного аппарата к точности измерителей при его наведении на наземную цель с помощью РЛС с синтезированной апертурой антенны в режиме переднего обзора. Журнал радиоэлектроники [электронный журнал]. 2020. №12. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2020.12.1>