

38

На правах рукописи

УДК 621.37

УДК 621.396.967

Разин Анатолий Анатольевич

**Методы повышения точности измерения углов в
радиотехнических системах с комбинированным
управлением лучом антенны**

Специальности: 05.12.04 Радиотехника, в том числе системы и устройства
телевидения,

05.12.14 Радиолокация и радионавигация

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



4856444

Москва 2011

03 MAR 2011

Работа выполнена на кафедре радиотехнических устройств и систем (РТУС) государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики (технический университет)».

Научный руководитель: кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Титов Алексей Никитич

Консультант: доктор технических наук, профессор
Антипов Владимир Никитович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, доцент
Колтышев Евгений Евгеньевич,
кандидат технических наук, доцент
Замуруев Сергей Николаевич

Ведущая организация: ОАО МНИИ «Агат», 140180, Московская обл.,
г. Жуковский, ул. Туполева, д. 2А.

Защита состоится « 25 » марта 2011 года в 15 ч. 30 м. на заседании диссертационного совета Д212.131.01 при Московском государственном институте радиотехники, электроники и автоматики (техническом университете) по адресу: 119454, Москва, проспект Вернадского, д. 78.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МИРЭА.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 119454, Москва, проспект Вернадского, д.78, диссертационный совет Д212.131.01.

Автореферат разослан «16» февраля 2011 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Стариковский А.И

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В современных многофункциональных авиационных комплексах управления оружием значительно повышаются требования к зонам обзора пространства и сопровождения целей в различных режимах работы. Особую сложность представляет собой расширение зоны обзора и сопровождения в пределах углов визирования до $\pm 120^\circ$ и более относительно оси летательного аппарата (ЛА). В указанной зоне при сопровождении нескольких целей предъявляются жесткие требования к точности измерения угловых координат. Расширение зоны рабочих углов отклонения луча позволяет организовать канал связи между летательными аппаратами при полете в группе или канал связи с наземным пунктом управления. При ведении радиотехнической разведки требуется круговая зона обзора, совместимая с высокой точностью измерения углов. Современные радиометры также требуют широкую зону обзора.

Как правило, антенны, установленные на современных авиационных носителях, имеют ограниченные углы отклонения диаграммы направленности от строительной оси ЛА, что связано с рядом конструктивных особенностей как антенных систем, так и носовых обтекателей самолетов. В то же время возможность работы многофункциональной РЛС, радиометра, станции РТР с широкой зоной обзора и при высокоточном измерении угловых координат даст существенное преимущество во многих тактических ситуациях. Известные методы построения угломерных устройств с пространственной стабилизацией луча относятся или к антеннам с механическим приводом, или к антеннам с электронным управлением лучом (ФАР). При этом задача получения широкой зоны обзора решается громоздкими методами.

Для решения поставленной задачи предложено сочетание электронного и механического сканирования лучом. Такое объединение способов сканирования позволяет значительно расширить рабочую зону по угловым координатам при обзоре и обнаружении и обеспечить высокоточное сопровождение нескольких воздушных и наземных целей.

С научной, технической и практической точек зрения исследование предлагаемых методов повышения точности измерения угловых координат при комбинированном управлении лучом антенны представляет значительный интерес для разработчиков бортовых радиотехнических комплексов управления оружием. В связи с этим тема работы является актуальной.

Целью диссертационной работы является повышение точности измерения углов в радиотехнических системах с широкой зоной обзора при комбинированном управлении лучом применительно к летательным аппаратам (ЛА).

Задачи исследования. Для достижения указанной цели в работе решаются следующие задачи:

- синтез (разработка структуры) угломерной системы ЛА при комбинированном механическом и электронном управлении лучом;
- разработка алгоритмов управления и оптимизация параметров двухконтурного угломерного устройства;
- исследование влияния временных задержек данных позиционного гироскопа на точностные характеристики угломерной системы, в том числе при маневрах ЛА;
- исследование влияния погрешности привязки (разъюстировки) осей антенной системы к строительным осям летательного аппарата на точностные характеристики угломерной системы при маневрах ЛА;
- исследование влияния периода обновления дискретных измерений на случайные и динамические ошибки сопровождения при маневрировании цели и при совместном маневрировании цели и ЛА;
- экспериментальные исследования разработанной угломерной системы.

Методы исследования. Исследования выполнены с использованием методов статистической теории радиотехнических систем, теории вероятностей и случайных процессов, теории автоматического управления, теории оптимальной фильтрации, математического моделирования на ЭВМ, путем обработки и сопоставления данных моделирования, лабораторных исследований и летных испытаний.

Научная новизна работы

- 1 Впервые синтезирован оптимальный алгоритм работы угломерной системы с двухконтурным управлением лучом антенны для высокоточного сопровождения маневрирующих целей в широкой зоне.
- 2 Впервые предложена радиотехническая угломерная система для ЛА с комбинированным (электронным и механическим) управлением лучом антенны.
- 3 Разработаны алгоритмы совмещенного электронного и механического и отдельного электронного или механического управления лучом антенны для различных режимов работы бортового пеленгатора.
- 4 Впервые исследовано влияние дестабилизирующих факторов на точностные характеристики контура дискретного сопровождения при маневрах самолета и цели.
- 5 Получены зависимости среднеквадратических и динамических

ошибок сопровождения для $\alpha - \beta$ фильтра и модифицированного фильтра Калмана от периода дискретных измерений при маневрах цели, а также при маневрах и цели, и ЛА.

Практическая ценность работы

1 Разработанные методы применимы при проектировании высокоточных угломерных радиотехнических систем, базирующихся на борту летательного аппарата, а также на корабле или ином подвижном носителе, в том числе на ракетах с телевизионной ГСН.

2 Алгоритмическое и программное обеспечение различных модификаций фильтров сопровождения и стабилизации представляют интерес для разработчиков угломерных систем.

3 Методика измерения и учета технологических погрешностей при установке антенной системы, а также требования по величине запаздывания данных позиционного гироскопа ориентированы на разработчиков эксплуатационных документов по настройке и обслуживанию бортовых РЛС.

Достоверность результатов

Достоверность полученных результатов подтверждается результатами стендовых и лётно-конструкторских испытаний бортовых РЛС в режимах обнаружения и сопровождения воздушных и наземных целей; корректностью использования известного математического аппарата и достаточной обоснованностью принятых допущений и предположений, а также отсутствием противоречий между новыми теоретическими положениями, разработанными в диссертации, и известными частными результатами других исследований.

Основные положения диссертационной работы отражены в опубликованных трудах и двух патентах.

Реализация и внедрение результатов работы

Исследованный в работе метод и алгоритмы комбинированного управления лучом были использованы при разработке угломерных систем бортовых РЛС самолетов СУ-30 МКИ и СУ-35Э. Соответствующие акты внедрения и использования результатов работы имеются.

Апробация работы. Основные теоретические и практические результаты доложены и обсуждены на следующих научно-технических конференциях:

- XV международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь», г. Воронеж – апрель 2009 г.;

- XXVI Всероссийском симпозиуме «Радиолокационное исследование природных сред», г. Санкт-Петербург – май 2009 г.;
- XX Научно-технической конференции ОАО «НИИ Приборостроения им. В.В. Тихомирова», г. Жуковский – март 2010 г.;
- XVI международной научно-технической конференции «Радиолокация, навигация и связь», г. Воронеж – апрель 2010 г.

Основные теоретические и практические результаты работы апробированы и защищены в процессе приемочных (государственных) испытаний истребителя СУ-30 МКИ и апробированы в процессе заводских летных испытаний бортовой РЛС «Ирбис» на летающей лаборатории самолета СУ-35Э на базе ЛИЦ им. Чкалова в 2004-2009 г.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 10 печатных работ. Получены патенты на полезные модели «Бортовая радиолокационная станция» и «Пеленгатор».

Основные положения, выносимые на защиту

1 Результаты исследований достижимых характеристик радиотехнического пеленгатора, датчиком которого является антенна с электронным управлением лучом, установленная на механическом приводе: структурная схема пеленгатора, параметры следящих фильтров, достижимые характеристики.

2 Повышение точностных характеристик пеленгатора на основе разработанной методики определения и учета дестабилизирующих факторов (а именно, разъюстировка осей антенны относительно осей ЛА и запаздывание данных позиционного гироскопа) при интенсивных маневрах носителя.

3 Принципы адаптации алгоритмов функционирования и предложения по параметрам фильтров-экстраполяторов для угломерной системы с комбинированным методом управления лучом антенны, которые позволяют реализовать устойчивое высокоточное сопровождение целей в различных режимах работы.

4 Методика оценки точностных характеристик квазиоптимального угломерного устройства на основе кусочно-стационарной аппроксимации траектории маневра цели.

5 Методики летных испытаний и анализа результатов точности работы угломерной системы.

Структура и объём работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Работа изложена

на 136 страницах машинописного текста, содержит 7 таблиц, иллюстрирована 51 рисунком, список литературы включает 137 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, научная и практическая значимость работы. Определены объект, предмет и научная задача исследования с выделением частных исследовательских задач.

В главе 1 проведено сравнение особенностей автоматического сопровождения целей в РЛС с антенной, установленной на механическом приводе, с ФАР, а также с комбинированным электронным и механическим управлением лучом. Показано, что угломерные системы, содержащие в своем составе только механическое или только электронное управление лучом антенны, имеют ограниченные углы сканирования (не более $\pm 60^\circ$). При механическом управлении лучом возникает противоречие: в контуре стабилизации необходима полоса пропускания не менее 10 Гц, в то время как для контура сопровождения требуемая полоса не должна превышать 1,5 Гц. Для ФАР характерно понижение коэффициента усиления и разрешающей способности на больших углах сканирования.

В главе 2 на основе статистической теории радиотехнических систем синтезирована угломерная система, оптимальная по критерию максимума апостериорной вероятности оценки угловых координат цели.

Угловые перемещения цели и истребителя в общем случае можно записать в виде формулы

$$\frac{d\mathbf{X}_U}{dt} = \mathbf{F}[\mathbf{X}_U(t)] + \mathbf{G}(t)\xi(t), \quad (1)$$

где \mathbf{F} и \mathbf{G} – детерминированные матричные функции,

$\xi(t)$ – вектор центрированных гауссовских шумов с единичной спектральной плотностью и матрицей $\mathbf{G}(t)$,

$\mathbf{X}_U^T = [\theta_u, \omega_u, j_u, \theta_{II}]^T$ – вектор информационных параметров.

Для упрощения изложения эта задача рассматривается только для плоскости азимута. При этом оптимальный алгоритм оценивания $\mathbf{X}_U^T = [\theta_u, \omega_u, j_u, \theta_{II}]^T$ и неинформационных параметров (амплитуды и фазы сигналов) $\mathbf{X}_n^T[A, \phi_0]$ по заданному критерию может быть получен на основе анализа апостериорной плотности вероятности $P[t, \mathbf{X}_U, \mathbf{X}_n, \Xi(t)]$, удовлетворяющей системе уравнений Стратоновича в каждый текущий момент

времени $t \rightarrow t_v \in [t_k; t_{k+1}]$.

В пределах времени согласованного накопления сигнала ($\tau \leq T_k$) в гауссовом приближении получены формулы для оценки информационных параметров и их дисперсий

$$\hat{X}_U[kT + \tau] = \hat{X}_U[kT] + \frac{dW(\hat{X}_U)}{dX_U} D[kT + \tau], \quad (2)$$

$$D^{-1}[kT + \tau] = D^{-1}[kT] - \frac{d}{dX_U} \left(\frac{dW(\hat{X}_U)}{dX_U} \right). \quad (3)$$

Таким образом, алгоритм оценивания параметров X_U в формулах (2, 3) заключается в поэтапном получении результирующих оценок путём уточнения предыдущих данных на основе обрабатываемой реализации электромагнитного поля.

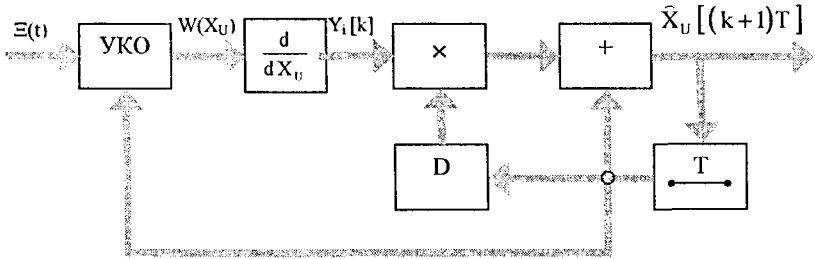


Рис. 1

Выражения (2, 3) определяют структурную схему устройства оценивания параметров сигнала на интервале t_k , показанную на рис.1, где $\Xi(t)$ – принимаемая реализация сигнала, УКО – устройство когерентной обработки $\Xi(t)$, $W(X_U)$ – выходной эффект УКО, D – блок вычисления матрицы (3), T – устройство задержки на время T .

Устройство когерентной обработки формирует выходной сигнал $W(X_U)$, который поступает на устройство дифференцирования по соответствующему параметру. Далее производится умножение на корреляционную матрицу D и суммирование с априорной оценкой $\hat{X}_U[kT]$, имеющейся на начало k -ого интервала.

Вычисление производной по информационному параметру (азимуту) удобно использовать в виде конечной разности

$$Y_i(k) = \frac{dW(\tau, \hat{X}_U)}{d\hat{X}_U} \approx \frac{1}{\Delta} \left\{ W \left[\tau, \left(X_U + \frac{\Delta}{2} \right) \right] - W \left[\tau, \left(X_U - \frac{\Delta}{2} \right) \right] \right\} \quad (4)$$

При обработке входной реализации формируются два парциальных луча. Выходные сигналы парциальных каналов обрабатываются квадратурно. В результате формируются сигналы $W\left(X_{\text{II}} + \frac{\Delta}{2}\right)$ и $W\left(X_{\text{II}} - \frac{\Delta}{2}\right)$, которые вычитаются в соответствии с формулой (4).

В режиме сопровождения цели по азимуту инерциальная система измеряет угловые колебания истребителя по курсу θ_{II} (азимуту) с ошибками ξ_0 , которые можно считать широкополосными со спектральной плотностью N_0 , т.е. выходной сигнал позиционного гироскопа имеет вид

$$Y_{\text{II}}(\kappa) = \theta_{\text{II}}(\kappa) + \xi_{0\text{II}}(\kappa). \quad (5)$$

Таким образом, на основе радиотехнических (формулы (2–4)) и нерadiотехнических измерений (формула (5)) необходимо синтезировать следящий измеритель азимута воздушной цели.

Априорная информация о движении цели заложена в модели движения цели относительно истребителя в одной плоскости и описывается уравнениями

$$\dot{\theta}_{\text{II}} = \omega_{\text{II}}, \quad \theta_{\text{II}}(0) = \theta_{\text{II}0}, \quad (6)$$

$$\dot{\omega}_{\text{II}} = -\frac{2V_{\text{сбл}}}{D} \omega_{\text{II}} + \frac{1}{D} (j_{\text{II}} - j), \quad \omega_{\text{II}}(0) = \omega_{\text{II}0}, \quad (7)$$

$$j_{\text{II}} = \sqrt{\alpha D_{\text{II}}} \xi_{\text{II}}(t), \quad j_{\text{II}}(0) = j_0 \quad (8)$$

В соотношениях (6–8) θ_{II} и ω_{II} – угол визирования и угловая скорость цели, D и $V_{\text{сбл}}$ – дальность до цели и скорость сближения с ней, j_{II} и j – нормальные ускорения цели и истребителя, ξ_{II} – центрированные гауссовские шумы с единичной спектральной плотностью, D_{II} – дисперсия гауссовских шумов, α – коэффициент маневренности цели.

Априорная информация о движении истребителя характеризуется выражением (9). Обычно угловые колебания летательного аппарата моделируют низкочастотным случайным процессом с дисперсией $D_{\text{II}0}$ и полосой пропускания α_{II} , т.е.

$$\dot{\theta}_{\text{II}}(t) = -\alpha_{\text{II}} \theta_{\text{II}} + \sqrt{2\alpha_{\text{II}} D_{\text{II}0}} \xi_{\text{II}}(t), \quad \theta_{\text{II}}(0) = \theta_{\text{II}0}, \quad (9)$$

где $\xi_{\text{II}}(t)$ – «белые» шумы с единичной спектральной плотностью и дисперсией $D_{\text{II}0}$.

Дискретное уравнение состояния для вектора $X_{\text{II}}^T = |\theta_{\text{II}}, \omega_{\text{II}}, j_{\text{II}}, \theta_{\text{II}}|$ при

малой скорости изменения параметров можно представить простейшей разностной схемой Эйлера, исходя из которой разностные уравнения для x_0 запишутся в виде:

$$\begin{cases} \tilde{\theta}_n(k+1) = \tilde{\theta}_n(k) + \tilde{\omega}_n(k)T + \sum_{i=1}^2 K_{\phi_{ni}} \Delta Y_i(k), \\ \tilde{\omega}_n(k+1) = \tilde{\omega}_n(k) - \frac{2V_{обп}T}{D} \tilde{\omega}_n(k) + \frac{T}{D} [\tilde{j}_n(k) - j(k)] + \sum_{i=1}^2 K_{\psi_{ni}} \Delta Y_i(k), \\ \tilde{j}_n(k+1) = \left(1 - \frac{T}{T_m}\right) \tilde{j}_n(k) + \sum_{i=1}^2 K_{\lambda_{ni}} \Delta Y_i(k), \\ \tilde{\theta}_{in}(k+1) = (1 - \alpha T) \tilde{\theta}_{in}(k) + \sum_{i=1}^2 K_{\phi_{ni}} \Delta Y_{in}(k), \end{cases} \quad (10)$$

где T – интервал дискретизации, T_m – время маневра, D_u , D_z , D_θ – дисперсии формирующих шумов, $\xi_n(k)$, $\xi_{\omega_n}(k)$, $\xi_{j_n}(k)$ – стандартные независимые шумы, $\Delta Y_i(k) = Y_i(k) - S(\tilde{\theta})$ – невязки в канале антенны, $\Delta Y_{in}(k) = Y_{in}(k) - \tilde{\theta}_{in}(k)$ – невязки по курсу.

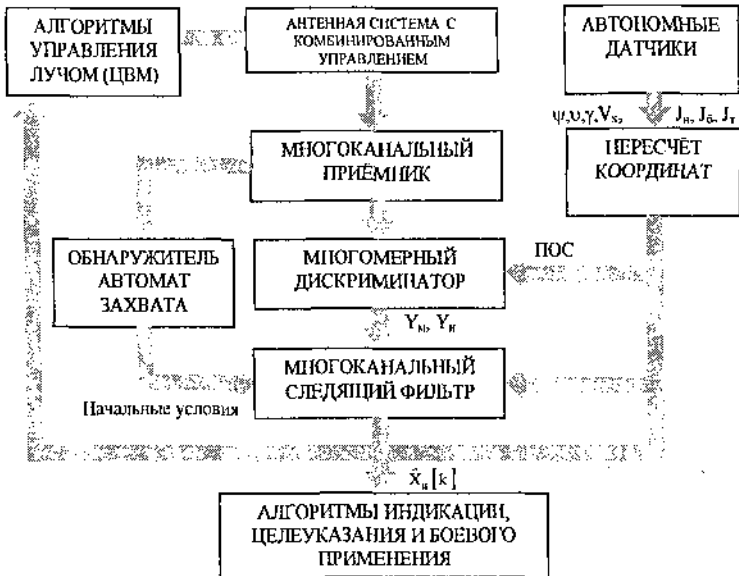


Рис. 2

Следящий фильтр в соответствии с уравнениями (10) состоит из двух контуров. Первый контур описывается первыми тремя уравнениями системы (10), имеет астатизм второго порядка, является широкополосным и обеспечивает измерение $\theta_{ц}$, угловой скорости линии визирования $\dot{\omega}_{ц}$ и ускорения $\dot{j}_{ц}$. Второй контур – контур стабилизации – обеспечивает измерение $\theta_{и}$. Измеренные значения $\theta_{ц}$ и $\theta_{и}$ поступают на привод угломера.

Кроме дискриминатора и следящего фильтра, система сопровождения должна содержать обнаружитель цели или автомат захвата (АЗ), с помощью которого обеспечивается ввод начальных условий для следящей системы. Структурная схема системы автосопровождения воздушной цели показана на рис. 2. Таким образом, оптимальная угломерная система должна состоять из дискриминатора и следящего фильтра для получения текущей оценки $\hat{x}(kT)$ вектора $x(t)$ в соответствии с критерием максимума апостериорной вероятности.

В заключении главы определены требования к вычислительным затратам и предложены пути технической реализации двухконтурного радиотехнического угломера. Показано, что отработка начальных значений и компенсация собственного движения, особенно при сопровождении наземных целей, обеспечивается механическим приводом, а слежение за целью (несколькими целями) – электронным способом.

В главе 3 разработан угломер для радиотехнической системы с комбинированным управлением лучом и разработана его математическая модель. Приведены методики и результаты исследования методами математического моделирования в следующих направлениях.

- Исследовано влияние разъюстировки осей антенной системы и строительных осей истребителя на ошибки пеленгации при маневре типа «бочка». На рис. 3: индекс 1 соответствует разъюстировке только в азимутальной (АЗ) или только в угломестной плоскости (УМ), индекс 2 - в плоскости, ортогональной плоскости, в которой присутствует разъюстировка; индекс 3 - при разъюстировке и в АЗ, и в УМ плоскости. Из графиков на рис. 3 следует, что ошибки измерения прямо пропорциональны значению разъюстировки; при погрешности юстировки $0,3^\circ$ ошибки измерения могут достигать $0,8^\circ$, что не соответствует требованиям высокоточного сопровождения: и может привести к сбросу цели.

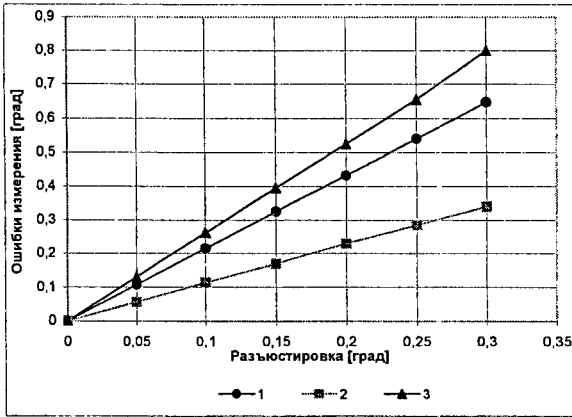


Рис. 3

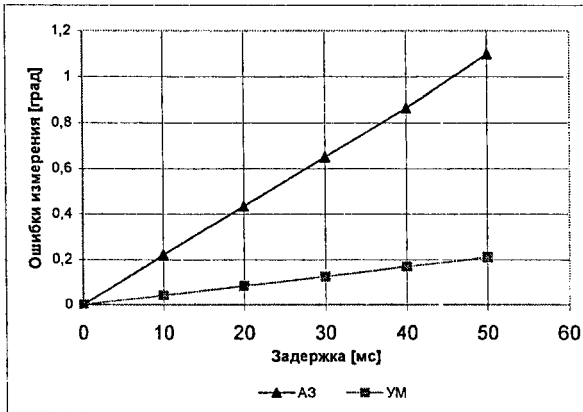


Рис. 4

• Исследовано влияние запаздывания данных позиционного гироскопа на точность сопровождения. Графики зависимости ошибок измерения угловых координат от задержки курса, тангажа и крена самолета (ψ, δ, γ), формируемых позиционным гироскопом, для маневра истребителя типа «бочка» приведены на рис. 4. Из графиков на рис. 4 следует, что ошибки измерения прямо пропорциональны значению задержки.

При задержке данных позиционного гироскопа 30 мс ошибки могут достигать $0,7^\circ$, что не соответствует требованиям высокоточного сопровождения и может приводить к сбросу цели с автосопровождения.

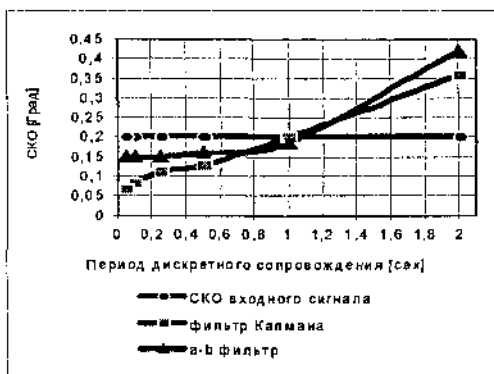


Рис. 5

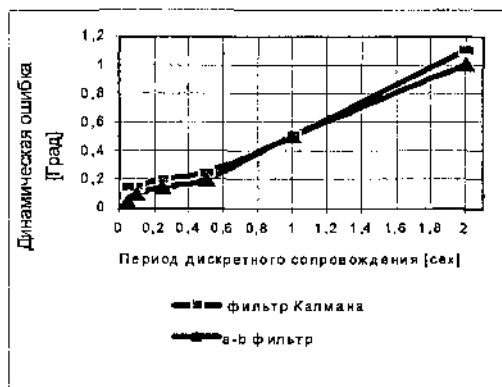


Рис. 6

• На рис. 5, 6 приведены графики среднеквадратических (с.к.о.) и динамических ошибок сопровождения для α - β фильтра и модифицированного фильтра Калмана в зависимости от периода поступления дискретных измерений на вход угломерной системы. Из графиков на рис. 5, 6 следует, что ошибки измерения прямо пропорциональны периоду дискретного сопровождения цели. При периоде сопровождения более 1 с и с.к.о.

(более $0,3^\circ$), и динамические ошибки (более $0,5^\circ$) превышают допустимые значения точного сопровождения и могут привести к сбросу цели.

• Получены зависимости динамических ошибок оценивания угловых координат для α - β фильтра, настроенного на маневр, в условиях ближнего воздушного боя. Графики динамических ошибок по УМ (ΔB) и по АЗ ($\Delta \Gamma$) для расстояния между истребителем и целью 300 м, 400 м и 500 м приведены на рисунках 7, 8 соответственно. Из графиков, приведенных на рисунках 7 и 8, следует, что динамическая ошибка сопровождения увеличивается пропорционально увеличению периода дискретного сопровождения. При значении периода сопровождения $T \geq 0,3$ с динамические ошибки (более $0,5^\circ$) превышают допустимые значения для точного сопровождения и могут привести к сбросу цели при автосопровождении.

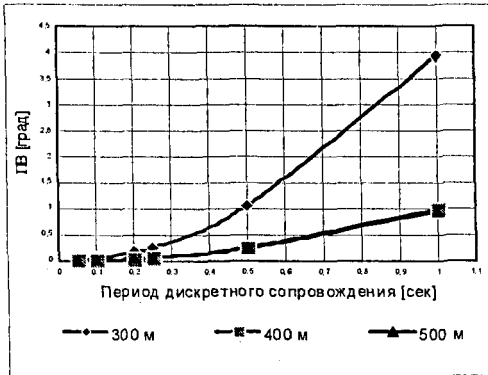


Рис. 7

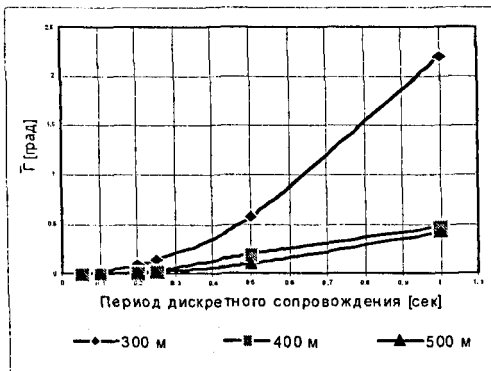
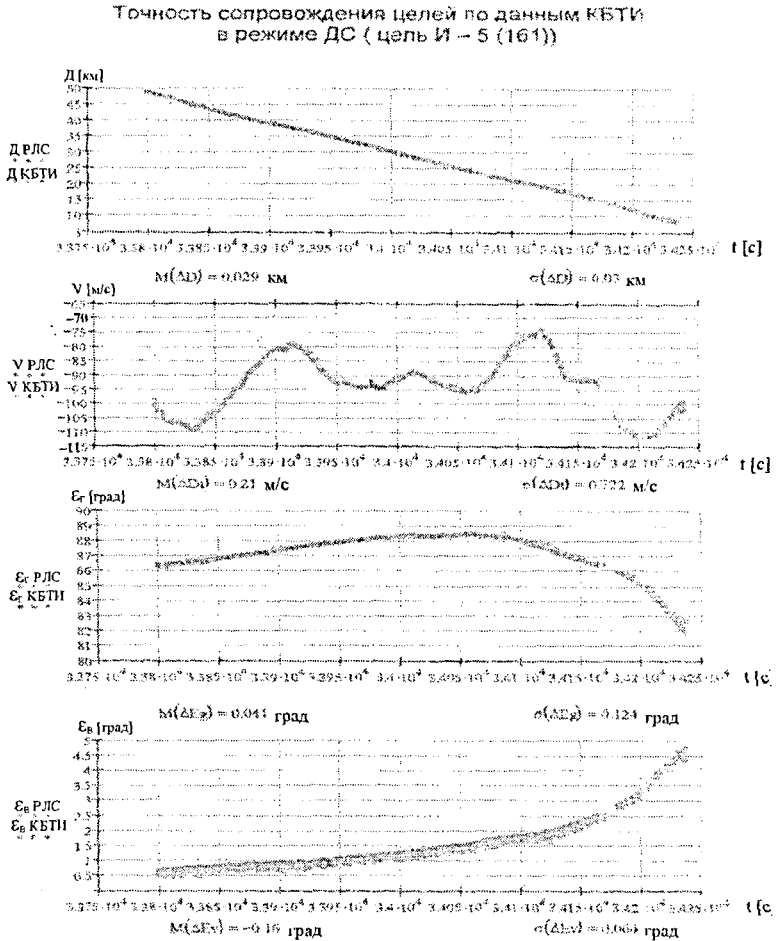


Рис. 8

В главе 4 приведены результаты летных испытаний угломерной системы. Оценка работы угломерной системы при помощи КБТИ (комплекса бортового траекторного измерителя) приведена на рис. 9.



И/р № В20_1

Рис. 9

На графиках приняты следующие обозначения: по оси абсцисс – время в секундах; по оси ординат измеренные РЛС и КБТИ: на первом графике D РЛС, D КБТИ – дальность в километрах, на втором графике V РЛС, V КБТИ – скорость в м/с; на третьем графике ε_r РЛС, ε_r КБТИ – азимут цели в град., на четвертом графике ε_b РЛС, ε_b КБТИ – угол места цели в град.

Под каждым графиком приведены статистические оценки в виде систематической и среднеквадратической ошибки указанных координат, измеренных РЛС, относительно аналогичных параметров, измеренных КБТИ. При этом измерения КБТИ приняты за эталон. Приведенные на графиках численные значения с.к.о. и систематических ошибок экспериментально подтверждают высокую точность угломерной системы с комбинированным управлением лучом антенны.

В заключении сформулированы основные результаты работы, предложено развитие комбинированного метода управления лучом для активной фазированной решетки.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1 Существующие угломерные системы с механическим приводом или с ФАР не обеспечивают высокоточное сопровождение в широкой зоне углов сканирования из-за инерционности первых и значительного расширения диаграммы направленности последних.

2 Впервые предложен метод построения угломерной системы с комбинированным (электронным и механическим) управлением лучом антенны и разработаны алгоритмы, обеспечивающие высокую точность (от 0,05 до 0,1 ширины диаграммы направленности) измерения угловых координат при существенном расширении (от минус 120° до 120° по АЗ и от минус 60° до 60° по УМ) зон обзора и сопровождения для РЛС, базирующихся на подвижных носителях.

3 Получены зависимости среднеквадратических и динамических ошибок сопровождения от периода дискретных измерений. Показано, что для обеспечения допустимых (до $0,2 \Theta_{0,5}$) ошибок сопровождения необходимо проводить дискретные измерения с периодом не более 0,3 с.

4 Впервые получены допустимые значения временной задержки данных позиционного гироскопа (не более 0,03 с) в контуре стабилизации луча для обеспечения высокоточного сопровождения.

5 Разработана новая методика проведения юстировки антенной

системы при установке на летательный аппарат для компенсации погрешности привязки (разыюстировки) оси антенной системы к строительной оси истребителя. Определены допустимые погрешности юстировки при проведении наладочных и регламентных работ.

6 Приведены данные летных испытаний, подтверждающие высокую (от 0,05 до 0,1 ширины диаграммы направленности) точность измерения угловых координат при комбинированном методе управления лучом. Показано, что результаты исследований, полученные методами математического моделирования, с высокой точностью совпадают с данными летных испытаний.

7 Полученные в работе научные результаты внедрены в РЛС «Барс» самолета СУ 30МКИ и РЛС «Ирбис» самолета СУ 35Э.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1 Белый Ю.И., Мареев А.Ю., Разин А.А. Многоцелевые алгоритмы измерения времени запаздывания и доплеровской частоты в импульсно-доплеровских РЛС со средней частотой повторения // Радиотехника, № 9, 2005 – С. 58-62.

2 Белый Ю.И., Мареев А.Ю., Медуницин Н.Б., Разин А.А., Бондаренко А.Ф. Методы измерения дальности наземными и самолетными станциями // Радиотехника, № 2, 2005 – С. 63-66.

3 Разин А.А., Шаров С.В. Сравнительные оценки точности измерений угловых координат в бортовой РЛС при использовании α - β фильтра и модификаций фильтра Калмана. // Наука и образование. Электронный журнал. Эл № ФС 77-30569. Государственная регистрация № 0421000025. ISSN 194-0408, # 12, декабрь 2010.

4 Разин А.А. Контур автосопровождения воздушных целей при комбинированном электронном и механическом управлении лучом антенны: принципы построения. // Сборник докладов XVI межд. науч.-технич. конф. «Радиолокация, навигация и связь», том 3. Воронеж, 2010 – С. 2159 - 2170.

5 Разин А.А., Шаров С.В. Метод расширения зоны обзора и сопровождения бортовой РЛС. // Сборник докладов XV межд. науч.-технич. конф. «Радиолокация, навигация и связь», том 3. Воронеж, 2009. – С. 1479 - 1485.

6 Разин А.А., Титов А.Н., Шаров С.В. Особенности автосопровождения целей в бортовой РЛС с ФАР. // Сборник докладов XV межд. науч.-технич. конф. «Радиолокация, навигация и связь», том 3. Воронеж, 2009 – С. 1468 - 1478.

7 Разин А.А., Кауфман Г.В., Вицукаев А.В. Метод программируемого формирования зоны обзора и сопровождения бортовой РЛС. // Тез. докл. XX науч.-технич. конф. ОАО НИИ Приборостроения им. В.В.Тихомирова. Жуковский, 2010 – С. 17.

8 Разин А.А., Шаров С.В. Особенности автосопровождения цели в режиме ближнего боя в бортовой РЛС с ФАР. // Сборник докладов XVI между. науч.-технич. конф. «Радиолокация, навигация и связь», том 3. Воронеж, 2010. С. 2150 – 2158.

9 Разин А.А., Шаров С.В. Сравнительные оценки фильтрации измерений угловых координат в бортовой РЛС при использовании α - β фильтра и модификаций фильтра Калмана. // Тез. докл. XXVI всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред». СПб, 2009. I электрон. опт. диск (CD-ROM).

10 Бельый Ю.И., Мареев А.Ю., Разин А.А. Исследование многоцелевых алгоритмов измерения координат в импульсно-доплеровских РЛС со средней частотой повторения. // Сборник докладов XVIII науч.-технич. конф. ОАО НИИ Приборостроения им. В.В.Тихомирова. Жуковский, 2005 – С. 189 - 200.

АВТОРСКИЕ РЕШЕНИЯ, ЗАЩИЩЕННЫЕ ПАТЕНТАМИ

1 Патент на полезную модель RU 84133 U1 «Бортовая радиолокационная станция». Зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 27 июня 2009 г.

2 Патент на полезную модель RU 42325 U1 «Теленгатор». Зарегистрирован в Госреестре полезных моделей РФ 27 ноября 2004 г.

Соискатель _____ А.А. Разин



Подписано в печать 14.02.2011. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 0,93. Усл. кр.-отт. 3,72. Уч.-изд. л. 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ 74

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
“Московский государственный институт радиотехники,
электроники и автоматики (технический университет)”
119454, Москва, пр. Вернадского, 78