

Современный уровень развития информационных систем, в частности, создание и применение высокоточных систем сопровождения воздушных целей, диктует необходимость разработки новых подходов к решению задачи исследования их точностных характеристик в целях как оптимизации параметров самих радиолокационных систем сопровождения воздушных целей (РССЦ), так и повышении эффективности применения боевых авиационных комплексов. В данной статье рассматривается вопрос математического моделирования процесса исследований точностных характеристик РССЦ (имитационные модели которых реализованы в тренажерах летного состава) и выработки рекомендаций по повышению эффективности применения комплексов воздушного базирования. В современных условиях недостаточного финансирования научно-исследовательских работ в военной области, связанных с проведением летных экспериментов, в частности, по определению статистических оценок точности повышенной достоверности бортовых РССЦ – целесообразным решением указанной проблемы представляется разработка математической модели процесса исследований точностных характеристик РССЦ, а также выполнение исследований точностных характеристик радиолокационных ССЦ на основе обработки статистических данных о реальных полетах летательных аппаратов (ЛА) [1]. Целью разработки имитационной ММ процесса исследований точностных характеристик РССЦ является – получение и анализ статистических оценок точности бортовой системы сопровождения целей радиолокационного типа (не только по составляющим вектора дальности, но и по составляющим векторов относительной скорости и ускорения воздушной цели) на основе использования известных характеристик шумов эталонных средств измерений и каналов сопровождения исследуемой РССЦ [2]. В состав математической модели (ММ) процесса исследований точностных характеристик РССЦ входят: 1. ММ пространственного движения двух самолетов – ЛА с исследуемой РССЦ и самолета-цели в системе координат (СК) Ox_y_z . 2. ММ эталонных средств измерений. 3. ММ датчиков параметров полета (ДПП) носителя. 4. ММ прицельной системы (ПС), в состав которой входят ММ РССЦ и алгоритм определения составляющих вектора ускорения цели по параметрам, определяемым с помощью исследуемой РССЦ (ОПДЦ). 5. Алгоритм определения статистических оценок точности РССЦ. Математическая модель процесса исследований точностных характеристик РССЦ имеет модульную структуру. ММ пространственного движения двух ЛА включает в себя две идентичные модели: - ММ ЛА с исследуемой РССЦ в земной СК Ox_y_z ; - ММ самолета-цели в земной СК Ox_y_z . Управление в каждой из указанных моделей движения ЛА осуществляется путем задания соответствующих значений модуля вектора тяги, а также углов отклонения руля высоты δ_v , руля направления δ_n , элеронов δ_ϵ . В состав ММ движения двух ЛА входят также кинематические уравнения связи движения их центра масс: , где $x_{дг}$, $u_{дг}$, $z_{дг}$, $x_{дцг}$, $u_{дцг}$, $z_{дцг}$ –

детерминированные значения координат положения центра масс ЛА с исследуемой РССЦ и самолета-цели соответственно в земной СК $Ox_gY_gZ_g$; – детерминированное значение модуля вектора дальности самолета-цели в СК $Ox_1Y_1Z_1$; – матрица перехода из СК $Ox_gY_gZ_g$ в связанную СК ЛА с исследуемой РССЦ $Ox_1Y_1Z_1$. С выхода ММ движения двух ЛА информация о текущих детерминированных значениях фазовых координат ЛА с исследуемой РССЦ (φ) и самолета-цели (φ_c), а также детерминированные значения составляющих модуля вектора дальности в СК $Ox_1Y_1Z_1$ ($D_{dx1}, D_{dy1}, D_{dz1}$) поступают: – в ММ эталонных средств измерений – в ММ прицельной системы ($D_{dx1}, D_{dy1}, D_{dz1}, \varphi, \varphi_c$); – в ММ ДПП ЛА с исследуемой РССЦ (φ, φ_c). При исследованиях модуль вектора скорости ветра принимался равным нулю: $V_w = 0$. В ММ средств измерений входят: 1. ММ оптико-локационной станции (ОЛС). 2. ММ кинотелескопа. 3. Две идентичные ММ ГИС ЛА с исследуемой РССЦ и самолета цели. В ходе исследований вероятностные характеристики шумов информационных систем (исследуемой РССЦ, эталонных средств измерений, ДПП ЛА с исследуемой РССЦ) полагались известными и были взяты из соответствующих источников [2, 3]. Тип корреляционной функции погрешностей указанных датчиков, как показывает практика [3], может быть задан достаточно простым – экспоненциального типа: $R(\tau) = a e^{-\alpha|\tau|}$, где s_x – среднеквадратическое отклонение случайного процесса; a – параметр корреляционной функции. Случайный процесс, имеющий такую корреляционную функцию, представляется в виде дифференциального уравнения [3]: $\dot{x} + \alpha x = n$, где n – гауссовский белый шум единичной интенсивности. Для имитации функционирования всей совокупности датчиков, случайная составляющая которых может быть описана корреляционной функцией вида (3), предлагается использовать всего один генератор случайных процессов (ГСП), формирующий последовательность независимых (некоррелированных) между собой чисел $N_1 \dots N_n$, распределенных по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. Выходные значения ГСП заполняют заранее обусловленную последовательность оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), представленную на рис. 1. Эта схема функционирует следующим образом. Каждое последующее значение от ГСП «проталкивает» предыдущее по «линейке» полей ОЗУ, а по окончании заполнения всей «линейки» выполняется считывание значений случайных реализаций, которые используются затем для формирования величин погрешностей имитируемых датчиков информации. Рис. 1 – Организация функционирования ГСП и ОЗУ На рис. 1 D_n – тип имитируемого датчика. Затем процесс заполнения «линейки» значениями от ГСП повторяется вновь. Таким образом, вместо прямого моделирования случайной составляющей для каждого датчика удастся использовать для этой цели лишь один ГСП, что существенно упрощает требования к архитектуре ММ процесса исследований точностных характеристик РССЦ, так как на каждом шаге решения задачи экономится время выполнения $(n-1)N$ операторов (где n – количество

моделируемых датчиков, N – число операторов по вычислению значения параметра). В предлагаемой модели процесса исследований точностных характеристик РССЦ для ММ РССЦ экономится время выполнения от 50 до 54 операторов. Параметры, измеряемые эталонными средствами измерений, в модели формируются как сумма их детерминированных величин и соответствующих шумовых составляющих: σ_{ρ}^2 ; σ_{α}^2 ; σ_{β}^2 ; σ_{γ}^2 ; где ρ_0 – эталонная дальность до цели, измеряемая с помощью ОЛС; α_0 , β_0 – эталонные угловые координаты цели, получаемые по данным кинотелескопа; γ_0 – значения параметров движения ЛА с исследуемой РССЦ, измеренные его ГИС; δ_0 – значения параметров движения самолета-цели, измеренные его ГИС; D_d – истинное (детерминированное) значение дальности, определяемое по формуле: $D_d = \rho_0 / \cos \alpha_0$; α_0 , β_0 – детерминированные значения угловых координат цели, определяемые как: Погрешности σ_{ρ} , σ_{α} , σ_{β} , σ_{γ} кинотелескопа и оптико-локационной станции представляются в виде [2]: $\sigma_{\rho} = \rho_0 \sigma_{\rho_0}$, где σ_{ρ_0} , σ_{α_0} , σ_{β_0} , σ_{γ_0} – случайные независимые величины, распределенные по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. С выхода ММ эталонных средств измерений значения величин: ρ , α , β , γ поступают в алгоритм определения точностных характеристик РССЦ. Вследствие того, что в предлагаемую ММ процесса исследований точностных характеристик РССЦ входят две одинаковые модели ЛА с исследуемой РССЦ и самолета-цели, а также идентичные модели их ГИС, целесообразно в дальнейшем изложить обобщенные ММ пространственного движения одного ЛА в земной СК и погрешностей его гироинерциальной системы. В ММ ДПП ЛА с исследуемой РССЦ формируются и передаются в ММ прицельной системы реальные (измеренные) значения модуля воздушной скорости и углов α , β : Величины α , β определяются по следующим формульным зависимостям [3]: $\alpha = \alpha_0 + \sigma_{\alpha}$, где σ_{α} , σ_{β} – случайные независимые величины, распределенные по нормальному закону с математическим ожиданием 0 и дисперсией 1. При разработке ММ ДПП, ОЛС, была выполнена идентификация по точности формирования погрешностей σ_{ρ} , σ_{α} , σ_{β} , σ_{γ} , которая определялась степенью совпадения параметров и вида корреляционных функций ошибок ДПП, ОЛС (σ_{ρ}), полученных по результатам их математического моделирования с характеристиками корреляционных функций [2], которые использовались в модели для формирования указанных погрешностей. Анализ графиков (см. рис. 2–4) показывает, что корреляционные функции ошибок ДПП, полученных по результатам их математического моделирования, имеют экспоненциальный характер и их параметры отличаются от соответствующих характеристик корреляционных функций [2], используемых при моделировании погрешностей на величину, лежащую в пределах 5–6 %. Это позволяет сделать вывод о том, что в ММ ДПП, ОЛС – их погрешности сформированы достаточно точно. Рис. 2 – График изменения величины Рис. 3 – График изменения величины В ММ ПС определяются и поступают в алгоритм определения точностных характеристик РССЦ: ρ – измеренные исследуемой РССЦ, составляющие вектора дальности (ρ) и

вектора относительной скорости (\dot{D}) самолета-цели; - составляющие ускорения самолета-цели ($\ddot{x}_D, \ddot{y}_D, \ddot{z}_D$), определяемые алгоритмически с использованием параметров, измеряемых исследуемой РССЦ. Рис. 4 - График изменения величины \dot{D} . На выходе алгоритма определения точностных характеристик РССЦ формируются искомые, точностные характеристики исследуемой РССЦ [1]. Таким образом, предлагаемая структура имитационной математической модели исследований точностных характеристик ССЦ обеспечивает получение и анализ статистических оценок точности бортовой системы сопровождения целей радиолокационного типа (не только по составляющим вектора дальности, но и по составляющим векторов относительной скорости и ускорения воздушной цели) [4].