



УДК 621.396.965
ГРНТИ 47.49.29

МОДЕЛЬ СЕЛЕКЦИИ ЦЕЛЕЙ ПРИ ЗАВЯЗКЕ ТРАЕКТОРИЙ В УСЛОВИЯХ АДДИТИВНЫХ И МУЛЬТИПЛИКАТИВНЫХ ПОМЕХ

*Д.В. ЛЕВИН, кандидат технических наук
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург)
А.В. ПАРШУТКИН, доктор технических наук, профессор
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (г. Санкт-Петербург)*

Представлены результаты оценивания точностных возможностей радиолокационных станций при выполнении радиолокационных измерений и прогнозировании положения целей с учетом линейной экстраполяции измеренных координат. Предложена структура имитационной модели завязки траектории целей, позволяющей оценивать достоверность селекции целей однопозиционными радиолокационными станциями в условиях шумовых помех и ложных отметок. Проанализированы размеры корреляционных стробов сопровождения целей при изменении отношения сигнал/помеха по мощности на входе системы обработки радиолокационной информации. Представлены графики зависимостей вероятности сброса с сопровождения ложных траекторий целей в различных условиях радиолокационного наблюдения.

Ключевые слова: радиолокационная станция, помеха, корреляционный строб, ложная отметка, имитационная модель.

TARGET SELECTION MODEL AT THE PATH GENERATION UNDER CONDITIONS OF ADDITIVE AND MULTIPLICATIVE INTERFERENCES

*D.V. LEVIN, Candidate of Technical sciences
A.F. Mozhayskiy Military-Space Academy (Saint Petersburg)
A.V. PARSHUTKIN, Doctor of Technical Sciences, Professor
A.F. Mozhayskiy Military-Space Academy (Saint Petersburg)*

The results of evaluating the accuracy capabilities of radar stations when performing radar measurements and predicting the position of targets taking into account the linear extrapolation of the measured coordinates are presented. The structure of the simulation model of the target path generation is proposed, which allows evaluating the reliability of target selection by single-position radar stations in the conditions of noise interference and false marks. The sizes of correlation gates for tracking targets when the signal/noise ratio changes in power at the input of the radar information processing system are analyzed. Dropping probability dependences graphs from tracking complex trajectories of targets in various conditions of radar surveillance are presented.

Keywords: radar station, interference, correlation strobe, false marker, simulation model.

Введение. Современные радиолокационные станции (РЛС) обзора пространства независимо от времени суток и практически в любых погодных условиях позволяют обнаруживать различные цели. Достоверность сигнальных и траекторных параметров о целях во многом определяется условиями радиолокационного наблюдения и применяемых в РЛС алгоритмов обработки сигналов и помех [1–3]. На вход системы обработки РЛС поступают отраженный от цели радиолокационный сигнал, внутренние шумы приемного тракта РЛС и внешние помехи. При функционировании РЛС в условиях внешних радиоэлектронных помех



система обработки радиолокационной информации может формировать ложные отметки, при высокой плотности которых возможна и завязка ложных траекторий [4, 5]. Для сокращения числа завязываемых ложных траекторий используются методы повышения достоверности алгоритмов завязки траекторий, а так же методы селекции целей на фоне ложных отметок по сигнальным признакам. Однако, в случае образования ложных отметок в результате воздействия мультипликативных помех, возникающих вследствие переотражений или ретрансляции, селекция по сигнальным признакам не обеспечивается [6, 7].

Актуальность. Исследование влияния характеристик процесса завязки траектории целей на результативность сброса ложных траекторий в условиях помех, является актуальной задачей, одно из возможных направлений решения которой связано с разработкой имитационной модели завязки траектории целей для оценивания достоверности селекции целей, наблюдаемых радиолокационными станциями обзора пространства в условиях аддитивных и мультипликативных помех.

Для оценивания достоверности селекции целей введем ряд допущений и ограничений в модели функционирования РЛС обзора пространства. Пусть РЛС представляет собой наземную импульсную РЛС обзора пространства с фазированной антенной решеткой. РЛС предназначена для наблюдения за объектами определенного класса с заранее известными – максимальной V_{\max} и минимальной V_{\min} скоростями движения.

Рассмотрим ситуацию, когда в пределах зоны обзора РЛС находится цель, движение которой на интервале завязки траектории можно полагать равномерным и прямолинейным. По результатам радиолокационных измерений в РЛС формируются как отметки положения истинной цели, так и ложные отметки, попадающие в систему обработки радиолокационной информации. Основной причиной появления ложных отметок в РЛС является наличие мультипликативных помех, проникающих в систему обработки радиолокационной информации. При этом радиолокационные измерения повторяются периодически через интервал времени, равный периоду обзора РЛС $T_{\text{обз}}$.

Процесс завязки траектории цели начинается с образования вокруг первой обнаруженной одиночной отметки от цели начального строба первичного захвата. Размеры начального строба первичного захвата выбираются исходя из максимально возможной скорости движения целей в пределах одного полного периода обзора РЛС. Учитывая период обзора $T_{\text{обз}}$ РЛС для обнаруженной первой отметки от цели можно выделить область пространства в виде сферического кольца с центром, совпадающим с отметкой и радиусами [4]

$$r_{\min} = V_{\min} T_{\text{обз}}, \quad r_{\max} = V_{\max} T_{\text{обз}}. \quad (1)$$

В пределах области пространства, удаленной от первой отметки цели на расстояние $r \in [r_{\min}, r_{\max}]$ должна находиться отметка от цели очередного обзора РЛС, т.е. в пределах начального строба первичного захвата [4, 8]. При попадании на последующем обзоре в строб первичного захвата второй отметки от цели определяются ее направление и скорость движения, что позволяет спрогнозировать (экстраполировать) положение следующей отметки цели.

Завязка траектории цели путем сравнения несовпадения прогнозируемого и текущего измеренного положения с размерами корреляционного строба сопровождения целей представлена на рисунке 1.

При завязке истинных траекторий целей каждая отметка, формируемая на k -ом цикле обзора, с вероятностью близкой к единице, попадает в корреляционный строб сопровождения целей, под которым понимается область пространства с центром, совмещенным с экстраполированными координатами цели на заданный момент времени. Выбор размеров и формы строба осуществляется исходя из того, что чем больше размеры строба, тем выше вероятность попадания истинной отметки в строб, но вместе с тем возрастает вероятность



попадания в строб других отметок, в том числе и ложных. Уменьшение размеров стоба увеличивает селекцию отметок истинной траектории, однако при этом возрастает вероятность пропуска истинной отметки [1, 3, 7, 8]. При стабильном попадании в последующие стробы новых отметок принимается решение о завязке истинной траектории цели [1, 9–11].

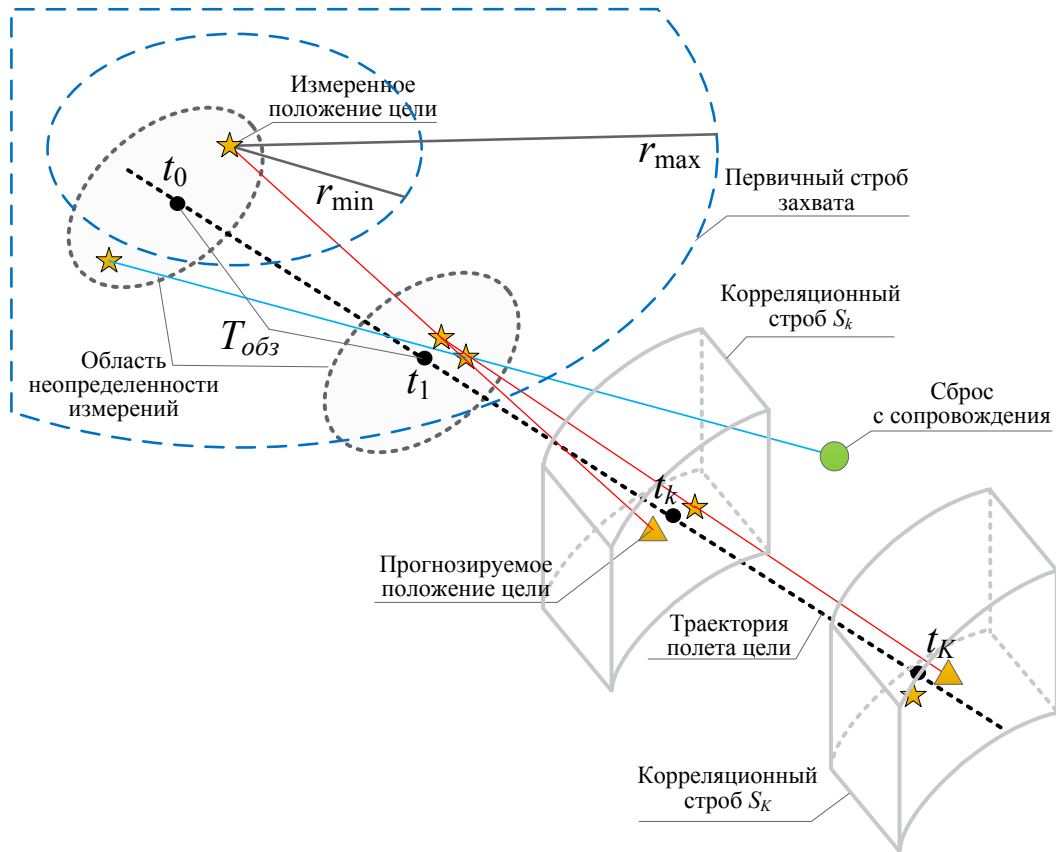


Рисунок 1 – Завязка траектории цели

Экстраполированные координаты, как правило, не совпадают с вновь полученными отметками [1, 9, 10]. Величина отклонения экстраполированных координат от вновь получаемых определяется следующими факторами:

- ошибками измерения координат цели при очередном сканировании области пространства;
- ошибками расчета экстраполированных координат цели по данным предыдущих обзоров;
- отличием характеристик движения цели от принятой модели движения, например, маневром цели за время обзора пространства.

По своей природе аддитивные помехи (как правило, шумовые) проявляются в виде мешающих сигналов не коррелированных с зондирующими сигналами РЛС. Аддитивные помехи снижают отношение сигнал/шум на выходе приемного устройства, что может приводить к росту ложных обнаружений целей и снижению точности радиолокационных измерений [6–8]. В условиях мультипликативных помех, сходных с зондирующими сигналами РЛС, система обработки радиолокационной информации формирует множество ложных отметок целей. Что, в свою очередь, приводит к усложнению фоноцелевой обстановки и существенному росту нагрузки на вычислительные ресурсы РЛС [6–8]. При функционировании РЛС в условиях как аддитивных, так и мультипликативных помех увеличивается вероятность завязки ложных траекторий целей.



Качество функционирования РЛС в условиях помех может оцениваться такими показателями как дальность действия РЛС, относительное изменение дальности действия РЛС в условиях помех, дальность селекции целей при завязке траекторий, оперативность сброса с сопровождения ложных траекторий целей и другие [7]. В данной статье оценивание качества функционирования РЛС в условиях аддитивных и мультипликативных помех будет осуществляться по показателю – вероятность селекции целей при завязке траекторий.

Для получения вероятностных оценок качества функционирования РЛС в условиях аддитивных и мультипликативных помех разработана имитационная модель завязки траектории целей. Структура имитационной модели представлена на рисунке 2 и содержит следующие элементы:

- модель движения цели, формирующая массивы исходных данных пространственного положения цели относительно местоположения РЛС на все моменты измерений;
- модель радиоэлектронных помех, позволяющая сформировать данные по условиям радиолокационного наблюдения: по уровню внутренних тепловых шумов и внешних шумовых помех, проникающих в систему обработки радиолокационной информации, а также по плотности ложных отметок в наблюдаемой РЛС области пространства;
- модель радиолокационных измерений, позволяющая сформировать массивы измерений координат целей с учетом влияния на РЛС аддитивных и мультипликативных помех, а также пространственного положения наблюдаемых целей относительно РЛС;
- модель прогнозирования измерений, позволяющая задавать размеры корреляционного строга сопровождения цели с центром, совпадающим с прогнозируемым положением цели, вычисляемым с учетом среднеквадратической ошибки (СКО) единичных измерений координат и их экстраполяции на заданное количество циклов обзора РЛС;
- блок селекции целей, в котором осуществляется проверка попадания новых отметок от целей в пределы корреляционного строга сопровождения цели.

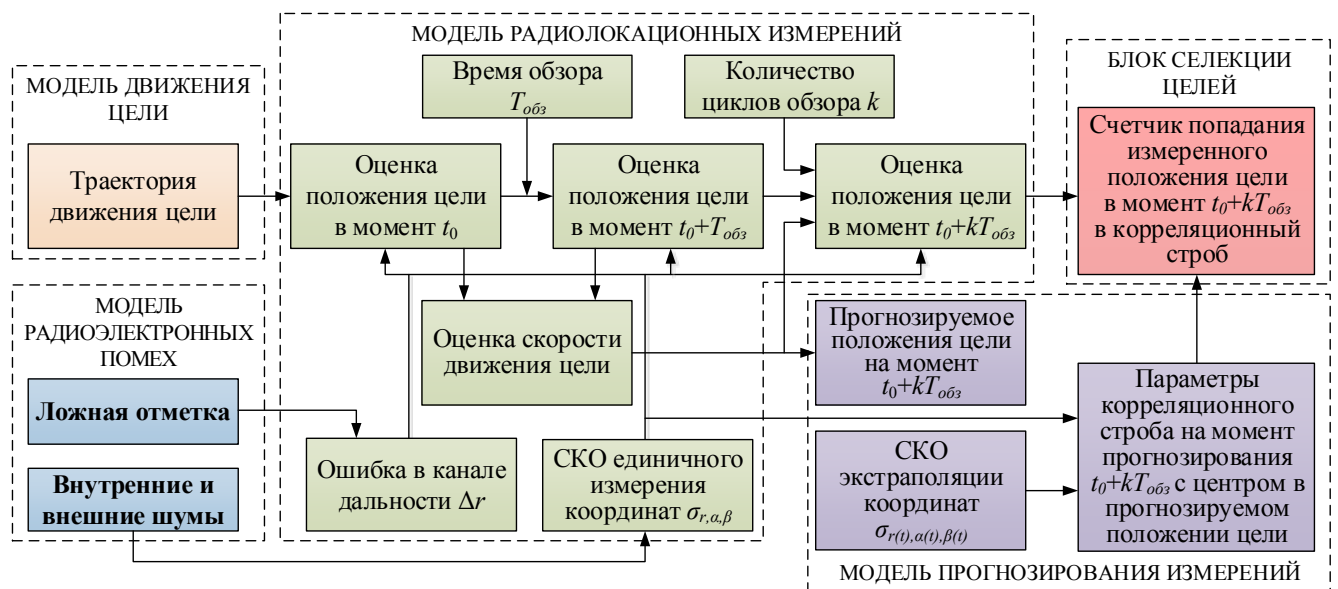


Рисунок 2 – Структура имитационной модели завязки траектории целей в условиях помех

На основании данных об измерениях положения цели оценка скорости ее движения осуществляется по следующей формуле [4, 11]

$$V(t_i) = \sqrt{V_x^2(t_i) + V_y^2(t_i) + V_z^2(t_i)}, \quad (2)$$



где $V_x(t_i), V_y(t_i), V_z(t_i)$ – составляющие вектора скорости, определяемые по формуле

$$\begin{bmatrix} V_x(t_i) \\ V_y(t_i) \\ V_z(t_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t_i) - x(t_{i-1}) \\ y(t_i) - y(t_{i-1}) \\ z(t_i) - z(t_{i-1}) \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{T_{\text{обз}}}, \quad (3)$$

где $[x(t_{i-1}), y(t_{i-1}), z(t_{i-1})]$ и $[x(t), y(t), z(t)]$ – измеренные координаты положения цели в момент времени t_i и в предшествующий момент t_{i-1} обзора РЛС, $t_i \in (t_0, t_f)$, где t_f – конечный момент времени наблюдения цели РЛС [1, 12].

При завязке траектории цели проводится экстраполяция координат для прогнозирования положения цели на следующем или k -ом цикле обзора РЛС, а также проверка попадания новой отметки в пределы корреляционного stroba сопровождения цели [4, 11–15]. Экстраполяция координат проводится исходя из гипотезы прямолинейного и равномерного движения цели на достаточно коротком интервале времени, а прогнозируемое положение цели вычисляется по следующей формуле [1, 10]

$$\begin{bmatrix} x(t_{i+k}) \\ y(t_{i+k}) \\ z(t_{i+k}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(t_i) \\ y(t_i) \\ z(t_i) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} V_x(t_i) \\ V_y(t_i) \\ V_z(t_i) \end{bmatrix} \cdot \frac{k}{T_{\text{обз}}}, \quad k = 2, 3, \dots, K. \quad (4)$$

Размеры stroba на k -ом цикле обзора S_k , определяются исходя из тактико-технических характеристик РЛС по точности единичных радиолокационных измерений и по точности экстраполирования координат на момент времени (t_{i+k}) .

СКО единичного измерения дальности σ_R определяется по формуле [6, 7, 12]

$$\sigma_R = \frac{c}{\Delta f_c \sqrt{(q_{c/u})_{\text{вых}}}}, \quad (5)$$

где c – скорость света; Δf_c – ширина спектра зондирующего сигнала РЛС; $(q_{c/u})_{\text{вых}}$ – отношение сигнал/шум по мощности на выходе схем накопителей радиолокационных сигналов в приемном тракте РЛС.

Величина $(q_{c/u})_{\text{вых}}$ отношения сигнал/шум по мощности определяется по формуле [6, 12]

$$(q_{c/u})_{\text{вых}} = (P_c / P_n)_{\text{вх}} \cdot B, \quad (6)$$

где $(P_c / P_n)_{\text{вх}}$ – отношение сигнал/шум по мощности в точке приема отраженного от цели зондирующего сигнала РЛС, B – база сигнала определяемая как $B = \Delta f_c \tau_u$, где τ_u – длительность импульса зондирующего сигнала РЛС.

СКО единичного измерения угловых координат $\sigma_{\alpha, \beta}$ определяется по формуле [8, 12]

$$\sigma_{\alpha, \beta} = \frac{k_{\text{дн}} \theta_{0,5}}{\sqrt{(q_{c/u})_{\text{вых}}}}, \quad (7)$$



где $k_{\text{дн}}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от формы диаграммы направленности (ДН) антенны и способа измерения угловых координат (при измерении угловых координат методом парциальных диаграмм $k_{\text{дн}} = 0,6, \dots, 1$); $\theta_{0,5}$ – ширина приемной ДН РЛС по уровню половинной мощности (град.) в горизонтальной и угломестной плоскостях.

Размеры корреляционного строга сопровождения цели с учетом СКО единичных измерений на момент времени t_i и экстраполяции координат на k -ый цикл обзора определяются по следующей формуле [1, 11, 15, 16]

$$G_{R,\alpha,\beta}(t_i) = \sigma_{R,\alpha,\beta}(t_i) \cdot \chi \cdot \left(1 + \frac{2(2k-1)}{k(k-1)} + \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_{R^*,\alpha^*,\beta^*}(t_i) \cdot T_{\text{обз}}^2}{\sigma_{R,\alpha,\beta}(t_i)} \right)^{1/2}, \quad (8)$$

где $\sigma_{R^*,\alpha^*,\beta^*}(t_i)$ – СКО составляющих по дальности и угловым координатам ускорения цели; χ – коэффициент определяющий связь между вероятностью правильного обнаружения и ложной тревоги.

Оценки наклонной дальности от РЛС до цели $R(t_i)$ и углов азимута $\alpha(t_i)$ и углов места $\beta(t_i)$ определяются по формуле [4, 8]

$$\begin{bmatrix} R(t_i) \\ \alpha(t_i) \\ \beta(t_i) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_y(t_i) + \xi_R(t_i) \\ \alpha_y(t_i) + \xi_\alpha(t_i) \\ \beta_y(t_i) + \xi_\beta(t_i) \end{bmatrix}, \quad (9)$$

где $R_y(t_i), \alpha_y(t_i), \beta_y(t_i)$ – истинные значения наклонной дальности до цели и углы азимута и места в момент времени t_i ; $\xi_R(t_i), \xi_\alpha(t_i), \xi_\beta(t_i)$ – ошибки измерений полярных координат в момент времени t_i . Случайные ошибки измерений дальности $\xi_R(t_i)$, угла азимута $\xi_\alpha(t_i)$ и угла места $\xi_\beta(t_i)$ независимы между собой и распределены по нормальному закону с нулевыми средними [15, 16] и СКО $[\sigma_R(t_i), \sigma_\alpha(t_i), \sigma_\beta(t_i)]$.

Зависимость изменения размеров корреляционного строга $\sigma_{\text{cmp}}(t_i)$, при увеличении относительного расстояния до цели $R_y(t_i)/R_{\text{насп}}$ представлена на рисунке 3 кривая (1).

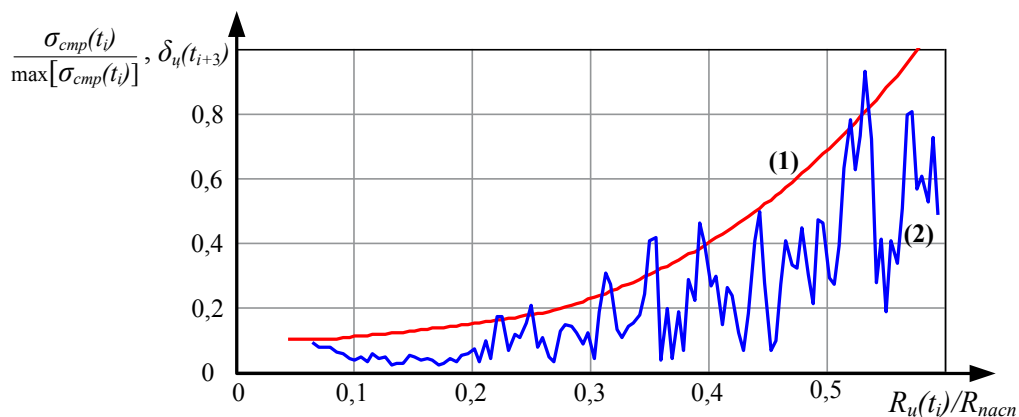


Рисунок 3 – Зависимость изменения размеров корреляционного строга от относительного расстояния до цели



На данном рисунке $\sigma_{cmp}(t_i) = \max[\sigma_R(t_i), \sigma_\alpha(t_i), \sigma_\beta(t_i)]$; $R_y(t_i)$ – расстояние от РЛС до цели на момент времени t_i ; $R_{насн}$ – максимальная (паспортная) дальность действия РЛС.

При фиксированном уровне аддитивных помех в точке приема отраженного от цели зондирующего сигнала увеличение расстояния от РЛС до цели эквивалентно уменьшению отношения сигнал/шум $q_{с/ш}$ по мощности. Наличие на входе системы обработки РЛС аддитивных помех большой интенсивности приводит к снижению достоверности обнаружения целей в зоне обзора РЛС, увеличению числа пропусков истинных отметок, и расширению трубки завязываемых траекторий [15, 16].

Введем параметр отклонения прогнозируемого центра корреляционного строга от вновь полученной отметки цели [9–11]

$$\delta_y(t_{i+k}) = \frac{1}{\max(\sigma_{cmp})} \sqrt{[x_{узм}(t_i) - \tilde{x}(t_{i+k})]^2 + [y_{узм}(t_i) - \tilde{y}(t_{i+k})]^2 + [z_{узм}(t_i) - \tilde{z}(t_{i+k})]^2}, \quad (10)$$

где $[x_{узм}(t_i), y_{узм}(t_i), z_{узм}(t_i)]$ – оценки прямоугольных координат положения цели, полученных путем перехода от сферических координат к прямоугольным в топоцентрической системе координат РЛС; $[\tilde{x}(t_{i+k}), \tilde{y}(t_{i+k}), \tilde{z}(t_{i+k})]$ – прогнозируемое положение центра корреляционного строга на момент времени t_{i+k} при сопровождении цели. Наличие аддитивных помех на входе системы обработки радиолокационной информации приводит к тому, что $\delta_y(t_{i+k})$ в общем виде имеет случайный характер. Одна из реализаций параметра отклонения прогнозируемого центра корреляционного строга от вновь полученной отметки цели представлена на рисунке 3 кривая (2).

Для ложных отметок, сформированных мультипликативными помехами, угловые координаты определяются выражением (9), а наклонная дальность по следующей формуле [6]

$$R_{ло}(t_i) = R_y(t_i) + \Delta r + \xi_R(t_i), \quad (11)$$

где Δr – соответствует систематической ошибке измерения дальности, вызванной влиянием мультипликативной составляющей зондирующего сигнала, попадающей в систему обработки радиолокационной информации.

Для оценивания результативности сброса ложных траекторий при завязке траекторий целей в РЛС обзора пространства, функционирующих в условиях аддитивных и мультипликативных помех, использовался метод статистических испытаний. На каждом цикле испытаний выполнялись следующие операции:

- оценивание пространственного положения цели в зоне обзора наземной РЛС с учетом ориентации главного лепестка приемной диаграммы направленности;
- оценивание отношения сигнал/шум по мощности в точке приема отраженного от цели зондирующего сигнала РЛС с учетом ослаблений шумовых помех, воздействующих по боковым лепесткам приемной диаграммы направленности РЛС;
- оценивание наблюдаемости цели в зоне обзора РЛС при заданных вероятностях ложной тревоги и правильного обнаружения, т.е. наблюдаемость целей в условиях отсутствия радиоэлектронного подавления РЛС шумовыми помехами;
- оценка первичного строга захвата, учитывающего допустимые минимальную и максимальную скорость цели;
- определение направления и скорости движения цели по двум принятым отметкам на смежных циклах обзора РЛС;



– экстраполяция координат цели на k -й цикл обзора РЛС с учетом гипотезы о прямолинейном и равномерном движении цели в пределах $(k \cdot T_{обз})$ интервала радиолокационного наблюдения;

– определение размеров корреляционного строба, учитывающего точности единичных измерений полярных координат и их экстраполированных значений;

– проверка попадания отметки в корреляционный строб с центром, совпадающим с экстраполированной координатой цели на k -м цикле обзора РЛС.

Результаты имитационного моделирования представлены на рисунке 4.

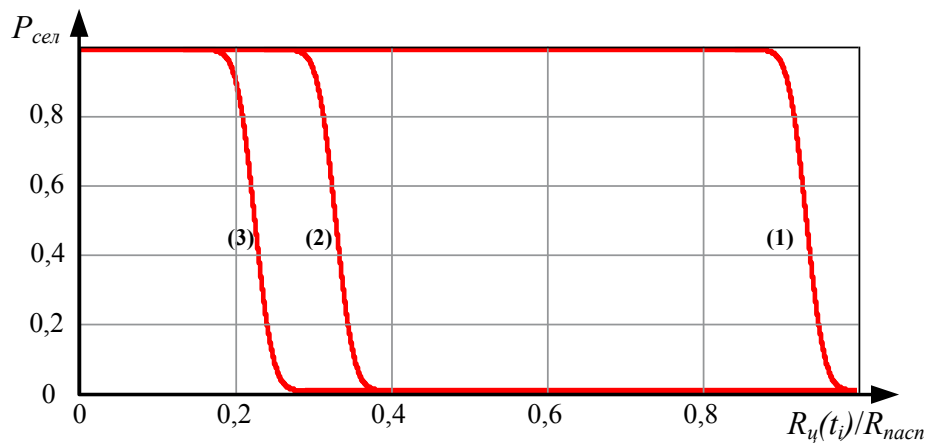


Рисунок 4 – Зависимость вероятности селекции целей от относительного расстояния до цели

Как видно из рисунка 4 кривая (1) при функционировании РЛС в условиях только внутренних тепловых шумов выявление ложных отметок по траекторным признакам происходит практически без снижения дальности селекции целей при завязке траектории. Снижение отношения сигнал/шум $(q_{с/ш})_{вых}$ по мощности на 25 и 30 дБ приводит к более чем двукратному снижению дальности селекции целей на фоне ложных отметок представлены на рисунке 4 – кривые (2) и (3).

На рисунке 5 представлены зависимости вероятности селекции целей при завязке траектории от величины отношения размера корреляционного строба к ошибке измерения дальности, обусловленной мультипликативными помехами.

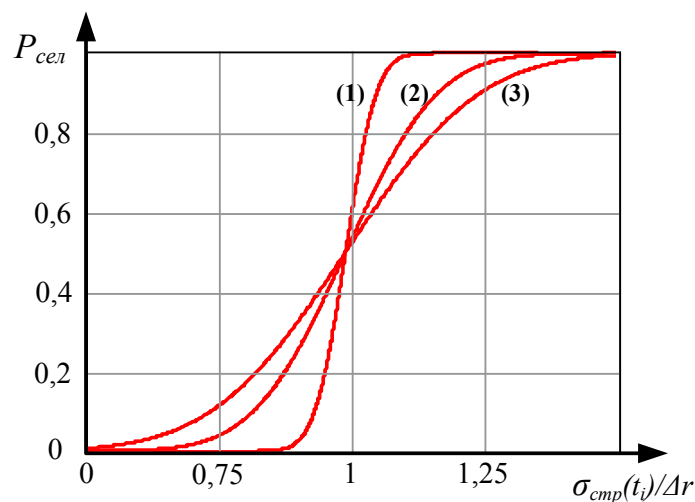


Рисунок 5 – Зависимости вероятности селекции целей при завязке траектории от величины отношения размера корреляционного строба к ошибке измерения дальности, обусловленной мультипликативными помехами



Как видно из рисунка 5 рост отношения сигнал/шум увеличивает крутизну изменения вероятности селекции целей от отношения $\sigma_{cmp}(t_i)/\Delta r$. При функционировании РЛС в условиях только внутренних тепловых шумов (рисунок 5 кривая (1)) имеет пороговый характер. Снижение отношения сигнал/шум по мощности на 25 и 30 дБ (рисунок 5 кривые (2) и (3)) приводит к эффекту уменьшения крутизны зависимостей и увеличению потери дальности селекции целей при завязке траекторий на фоне ложных отметок.

Выводы. Разработанная имитационная модель завязки траекторий целей позволяет оценивать результативность селекции целей однопозиционными радиолокационными станциями в условиях аддитивных и мультипликативных помех. На основе имитационного моделирования получены статистические оценки селекции целей в условиях помех при завязке траекторий. Получены графики зависимостей вероятности сброса с сопровождения ложных траекторий целей от расстояния и от отношения размера корреляционного строга к ошибке измерения дальности, обусловленной наличием мультипликативных помех. Показано, что снижение отношения сигнал/шум по мощности на 25 и 30 дБ приводит к более чем двукратному снижению дальности селекции целей на фоне ложных отметок. Полученные результаты могут использоваться для прогнозирования результативности селекции целей на фоне ложных отметок в условиях аддитивных и мультипликативных помех.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фарина А., Студер Ф. Цифровая обработка радиолокационной информации. Сопровождение целей: пер. с англ. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.
2. Верба В.С., Меркулов В.И., Татарский Б.Г. Особенности многоцелевого сопровождения наземных целей // Журнал радиоэлектроники. 2018. № 10. С. 10–18.
3. Кирюшкин В.В., Коровин А.В., Журавлев А.В. Межпозиционное отождествление результатов измерений и определение координат воздушных целей в многопозиционной радиолокационной системе в условиях многоцелевой обстановки // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2019. Т. 12. № 6. С. 708–718.
4. Теоретические основы радиолокации: под ред. В.Е. Дулевича. М.: Советское радио, 1978. 608 с.
5. Зябиров Э.В., Аравин А.В., Михайлов С.В., Филюшкин И.П. Выбор вида и параметров стробов при отождествлении координатной информации от средств обнаружения воздушных целей в комплексе средств автоматизации батарейного командного пункта // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2018. № 4 (48). С. 88–95.
6. Паршуткин А.В., Левин Д.В., Галандзовский А.В. Имитационная модель обработки радиолокационной информации в сети радиолокационных станций в условиях сигналоподобных помех // Информационно-управляющие системы. 2019. № 6 (103). С. 22–31.
7. Куприянов А.И., Шустов Л.Н. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. М.: Вузовская книга, 2011. 800 с.
8. Куприянов А.И., Перунов Ю.М. Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка. М.: Вузовская книга, 2016. 190 с.
9. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1986. 352 с.
10. Кузьмин С.З. Цифровая обработка радиолокационной информации. М.: Советское радио, 1967. 398 с.
11. Саврасов Ю.С. Алгоритмы и программы в радиолокации. М.: Радио и связь, 1985. 216 с.
12. Антенны и радары с электронным управлением лучом // под ред. А.И. Синани и Г.В. Кауфмана. М.: Радиотехника, 2016. 234 с.



13. Шаймухаметов Ш.И. Методика обнаружения траектории маневрирующего летательного аппарата на основе последовательного анализа // I-methods. 2018. Т. 10. № 1. С. 19–30.

14. Бердышев В.П., Савельев А.Н., Конопацкий А.В. Методика оценки качества работы системы селекции движущихся целей при вобуляции периода повторения за счет параметрической адаптации // Вестник Ярославского высшего военного училища противовоздушной обороны. 2017. № 1 (1). С. 139–146.

15. Бакулев П.А., Бартенев В.Г., Гордеев А.Ю. Усовершенствованная адаптивная система селекции движущихся целей при использовании зондирующих ЛЧМ-сигналов // Радиотехника. 2018. № 5. С. 121–130.

16. Пророк В.Я., Халиков Э.М., Охотников Ю.Ю., Шаймухаметов Ш.И. Алгоритм формирования строга сопровождения по маневрирующим летательным аппаратам на основе нечеткого логического вывода // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 1. С. 100–107.

REFERENCES

1. Farina A., Studer F. Cifrovaya obrabotka radiolokacionnoj informacii. Soprovozhdenie celej: per. s angl. M.: Radio i svyaz', 1993. 320 p.

2. Verba V.S., Merkulov V.I., Tatarskij B.G. Osobennosti mnogocelevego soprovozhdeniya nazemnyh celej // Zhurnal radio`elektroniki. 2018. № 10. pp. 10–18.

3. Kiryushkin V.V., Korovin A.V., Zhuravlev A.V. Mezhpozicionnoe otozhdestvlenie rezul'tatov izmerenij i opredelenie koordinat vozdušnyh celej v mnogopozicionnoj radiolokacionnoj sisteme v usloviyah mnogocelevoj obstanovki // Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tehnika i tehnologii. 2019. Т. 12. № 6. pp. 708–718.

4. Teoreticheskie osnovy radiolokacii: pod red. V.E. Dulevicha. M.: Sovetskoe radio, 1978. 608 p.

5. Zyabirov `E.V., Aravin A.V., Mihajlov S.V., Filyushkin I.P. Vybor vida i parametrov strobov pri otozhdestvlenii koordinatnoj informacii ot sredstv obnaruzheniya vozdušnyh celej v komplekse sredstv avtomatizacii batarejnogo komandnogo punkta // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki. 2018. № 4 (48). pp. 88–95.

6. Parshutkin A.V., Levin D.V., Galandzovskij A.V. Imitacionnaya model' obrabotki radiolokacionnoj informacii v seti radiolokacionnyh stancij v usloviyah signalopodobnyh pomeh // Informacionno-upravlyayuschie sistemy. 2019. № 6 (103). pp. 22–31.

7. Kupriyanov A.I., Shustov L.N. Radio`elektronnaya bor'ba. Osnovy teorii. M.: Vuzovskaya kniga, 2011. 800 p.

8. Kupriyanov A.I., Perunov Yu.M. Radio`elektronnaya bor'ba: radiotehnicheskaya razvedka. M.: Vuzovskaya kniga, 2016. 190 p.

9. Kuz'min S.Z. Osnovy proektirovaniya sistem cifrovoj obrabotki radiolokacionnoj informacii. M.: Radio i svyaz', 1986. 352 p.

10. Kuz'min S.Z. Cifrovaya obrabotka radiolokacionnoj informacii. M.: Sovetskoe radio, 1967. 398 p.

11. Savrasov Yu.S. Algoritmy i programmy v radiolokacii. M.: Radio i svyaz', 1985. 216 p.

12. Antenny i radary s `elektronnym upravleniem luchom // pod red. A.I. Sinani i G.V. Kaufmana. M.: Radiotekhnika, 2016. 234 p.

13. Shajmuhametov Sh.I. Metodika obnaruzheniya traektorii manevriruyushego letatel'nogo apparata na osnove posledovatel'nogo analiza // I-methods. 2018. Т. 10. № 1. pp. 19–30.

14. Berdyshev V.P., Savell'ev A.N., Konopackij A.V. Metodika ocenki kachestva raboty sistemy selekcii dvizhuschihsya celej pri vobulyacii perioda povtoreniya za schet parametricheskoj adaptacii //



Vestnik Yaroslavskogo vysshego voennogo uchilisha protivovozdushnoj oborony. 2017. № 1 (1). pp. 139–146.

15. Bakulev P.A., Bartenev V.G., Gordeev A.Yu. Usovershenstvovannaya adaptivnaya sistema selekcii dvizhushchihya celej pri ispol'zovanii zondiruyuschih LChM-signalov // Radiotekhnika. 2018. № 5. pp. 121–130.

16. Prorok V.Ya., Halikov `E.M., Ohotnikov Yu.Yu., Shajmuhametov Sh.I. Algoritm formirovaniya stroba soprovozhdeniya po manevriruyuschim letatel'nyim apparatam na osnove nechetkogo logicheskogo vyvoda // Naukoemkie tehnologii v kosmicheskikh issledovaniyah Zemli. 2018. T. 10. № 1. pp. 100–107.

© Левин Д.В., Паршуткин А.В., 2020

Левин Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, преподаватель кафедры систем и средств РЭБ, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13, dm.181@yandex.ru.

Паршуткин Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры систем и средств РЭБ, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, Россия, 197198, г. Санкт-Петербург, ул. Ждановская, 13, andydc2010@mail.ru.