

**УМОВНА ІМОВІРНІСТЬ УРАЖЕННЯ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ
ПРОТИРАДІОЛОКАЦІЙНОЮ РАКЕТОЮ****Постановка проблеми**

Одним з основних факторів, який знижує ефективність застосування озброєння проти-повітряної оборони (ППО) є вживання противником протирадіолокаційних ракет (ПРР). Удари по військам показали доцільність стрільби ПРР по зенітних ракетних комплексах (ЗРК) [1 – 3]. Імовірність ураження комплексу одною ПРР знаходиться у межах від 0,85 до 0,95 [3 – 5]. На кожний ЗРК може наводитись від двох і більше ПРР з пасивними радіолокаційними (р/л) головками самонаведення (ГСН). У зв'язку з цим визначення значень умовних імовірностей ураження ЗРК ПРР з пасивною р/л ГСН є важливою та актуальною. При цьому необхідними є формування пропозицій до підвищення живучості ЗРК в сучасних умовах його застосування. Аналіз публікацій за темою статті [6 – 11] не надає вирішення вказаної проблеми. Публікації висвітлюють лише підходи до визначення значень умовних імовірностей ураження комплексу. У них відсутні варіанти розв'язання даної задачі у в різних умовах застосування озброєння.

Метою статті є обґрунтування варіанту визначення значень умовних імовірностей ураження ЗРК при атаці його ПРР з пасивною р/л ГСН на основі аналізу отриманих результатів чисельного моделювання, а також формування напрямків підвищення живучості озброєння ППО.

Виклад основного матеріалу

Дальності виявлення ПРР та час їх підльоту до ЗРК. Дальності виявлення ПРР радіолокаційною станцією (РЛС) ЗРК D знаходимо з виразу [12 – 14]

$$D = D_{\text{тц}} \sqrt[4]{\frac{\sigma q^2/2}{\sigma_{\text{тц}}(1+\Delta) q_{\text{оп}}^2/2}} K_3^{(+)}, \quad (1)$$

де $D_{\text{тц}}$ – дальність виявлення типової цілі (ТЦ); σ , $\sigma_{\text{тц}}$ – ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) цілі, що налітає та типові цілі відповідно; $q^2/2$, $q_{\text{оп}}^2/2$ – відношення сигнал-шум (с/ш) у РЛС ЗРК виявлення та відношення с/ш, при якому оператор здійснює виявлення цілі відповідно; Δ – відношення потужності активних шумових завад (АШЗ) до потужності власних шумів РЛС виявлення ЗРК; $K_3^{(+)}$ – коефіцієнт, який враховує кути закриття антени РЛС ЗРК, причому [10, 11, 14]:

$$K_3^{(+)} = D_{\text{п.б}}/D_{\text{тц}}, \quad (2)$$

$$D_{\text{п.б}} = -R_3 \sin \varepsilon + \sqrt{(R_3 \sin \varepsilon)^2 + 2R_3(H + H_a)},$$

$D_{\text{п.б}}$ – дальність прямого бачення при наявності кутів закриття антени РЛС ЗРК ε ; R_3 – ефективний радіус землі; H, H_a – висота польоту цілі та висота підйому антени РЛС ЗРК над земною поверхнею відповідно.

Результати розрахунку за виразами (1), (2) наведені на рис. 1, при цьому: $D_{\text{тц}} = 42 \cdot 10^3$ м, σ змінювалось у межах від 10^{-4} до 20 м^2 , $\sigma_{\text{тц}} = 1,25 \text{ м}^2$, $q^2/2 = 5,63$ рази

та $q_{\text{оп}}^2/2 = 8,56$ рази; Δ змінювалось у межах від $2 \cdot 10^{-3}$ до 10^2 разів, ε – у межах від $5 \cdot 10^{-3}$ до 20° , H – у межах від 10^{-2} до 5 км та $R_3 = 6370$ км і $H_a = 3,5 \cdot 10^{-3}$ км.

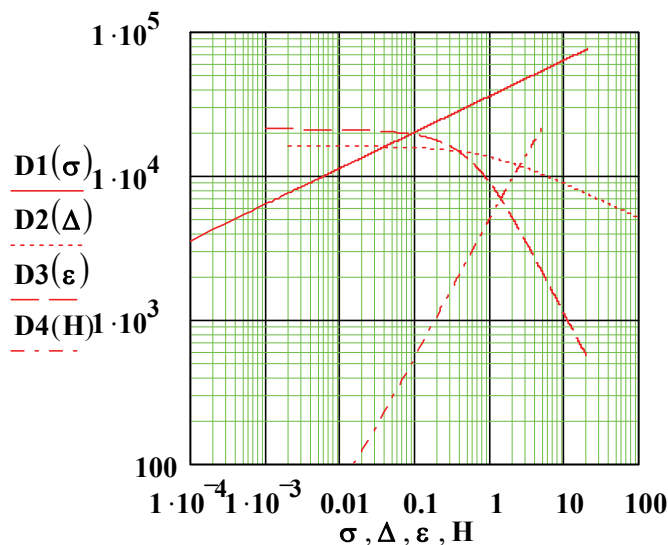


Рис. 1. Дальності виявлення цілей $D_k(i)$ в залежності від значень їх ЕПР σ , співвідношення потужності завад до потужності власних шумів РЛС ЗРК Δ , кутів закриття антени ε та висоти польоту ПРР H

Перша пряма на рис.1 $D_1(\sigma)$ – безперервна, відображає зміну дальності при збільшенні σ та $H = 1$ км. Друга крива $D_2(\sigma)$ (позначена крапками) надає значення при впливі завад, коли $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$ та $H = 1$ км. Третя $D_3(\varepsilon)$ (тире) – кути закриття, якщо $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$ разів (сильна щільність завад [6, 11, 14]), $H = 1$ км. Четверта крива $D_4(H)$ (точки-тире) побудована при $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$, $H = 1$ км та $\varepsilon = 2^\circ$. В цілому на рис.1 спостерігаємо суттєве зменшення $D_k(i)$ за рахунок зниження σ , H і збільшення Δ , ε . Дальність польоту ПРР $D_{\text{п}}$ при аеробалістичній траєкторії польоту дорівнює [10, 11, 14]

$$D_{\text{п}} = V_{\text{п}}^2 \sin(2\Theta) / g, \quad (3)$$

де Θ – кут кидання наприкінці активної ділянки польоту ПРР; $V_{\text{п}}$ – швидкість польоту ПРР у момент кидання; g – нормальне прискорення.

Найбільшу висоту польоту ПРР H_{max} та час прольоту T знаходимо з виразів [10]

$$\begin{aligned} H_{\text{max}} &= H + V_{\text{п}}^2 \sin^2 \Theta / g \\ T &= 2V_{\text{п}} \sin \Theta / g \end{aligned} \quad (4)$$

Приблизно середня швидкість за трасою польоту ПРР $V_{\text{ср}}$ дорівнює [15]

$$V_{\text{ср}} \approx \sqrt{D_{\text{п}}^2 + 16H_{\text{max}}^2} / 3 / T. \quad (5)$$

Середня швидкість несуттєво збільшується при зміні Θ від 5 до 50° . Якщо $D_{\text{п}} \gg H$, то час підльоту ПРР до БМ t визначається так:

$$t \approx D / V_{\text{ср}}. \quad (6)$$

Вказаний час t залежить від значень σ , Δ , ε та H . Результати розрахунку за виразом (6) наведено на рис. 2. Перша крива $t_1(V_{\text{ср}})$ позначена $\times \times \times$ та побудована при $\sigma = 1 \text{ м}^2$, $\Delta = 0$, $H = 1$ км, $\varepsilon = 0^\circ$ і $\Theta = 30^\circ$. Друга крива $t_2(V_{\text{ср}})$ (безперервна) розрахована якщо $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 0$, $H = 1$ км, $\varepsilon = 0^\circ$ і $\Theta = 30^\circ$. Третя $t_3(V_{\text{ср}})$ (точки) здобута, коли $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$ разів, $H = 1$ км, $\varepsilon = 0^\circ$ і $\Theta = 30^\circ$. Четверта крива $t_4(V_{\text{ср}})$, позначена тире, реалізована, якщо $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$, $H = 1$ км, $\varepsilon = 2^\circ$ і $\Theta = 30^\circ$. П'ята крива $t_5(V_{\text{ср}})$ (точки-тире) визначена як і попередня, але при $\Theta = 10^\circ$. Отримали наступне $t_1(680) \approx 49$ с, $t_2(680) \approx 22$ с, $t_3(680) \approx 10,8$ с,

$t_4(680) \approx 7\text{ с}$, $t_5(680) \approx 7,2\text{ с}$, що не завжди достатньо для ухилення ЗРК від зустрічі з осколками ПРР. Наприклад, при 30 обертах за хвилину РЛС виявлення ЗРК друга відмітка від ПРР з'явиться на індикаторі огляду через 2 с. Час реакції оператора на оцінку параметру ПРР та вимкнення передавача каналу виявлення – 2 с.

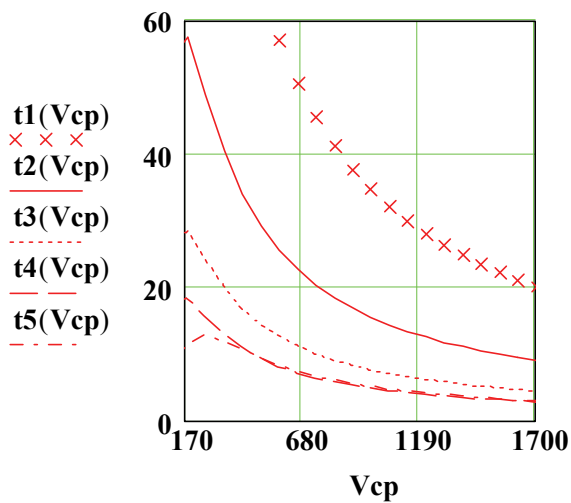


Рис. 2. Час підльоту ПРР до ЗРК $t_k(V_{cp})$ в залежності від значень ЕПР ПРР, співвідношення потужності завод до потужності власних шумів РЛС ЗРК Δ , кутів закриття антени БМ ϵ та кутів кидання ПРР Θ

Якщо ЗРК застосовується у русі, то час посування з вимкнутим передавачем РЛС виявлення за I варіантом при $t_1(680)$ дорівнює 44 с. За II варіантом коли $t_2(680)$ отримали 18 с, за III (IV та V) – 6,8 (3 та 3,2) с. Відстань від'їзду ЗРК від точки підриву ПРР m , що очікується, при швидкості комплексу у 10 м/с відповідно дорівнюють за I, II, III, IV та V варіантами 440, 180, 68, 30 та 32 м. З врахуванням кінетичної енергії осколків ПРР та дюралевих еквівалентів станцій і систем ЗРК [6, 9, 14] отримані результати за III – V варіантами застосування ЗРК несприятливі.

Відношення сигнал-шум у ГСН ПРР та імовірність проходження ПРР у «трубку» заданого радіусу. Відношення с/ш q у ГСН дорівнює [12, 13]:

$$q = \sqrt{\frac{2 P_{рлс} G_{рлс} \delta G_{гсн} \lambda^2}{(4\pi)^2 P_{гр} B D^2}}, \quad (7)$$

де $P_{рлс}$ – потужність передавача РЛС виявлення ЗРК; $G_{рлс}$, $G_{гсн}$ – коефіцієнти підсилення антен РЛС виявлення та ГСН відповідно, причому

$$\begin{aligned} G_{рлс} &\approx 3200 / (\Theta_{рлс 0,5\epsilon} \Theta_{рлс 0,5\beta}) \\ G_{гсн} &\approx 3200 / (\Theta_{гсн 0,5\epsilon} \Theta_{гсн 0,5\beta}) \end{aligned} \quad (8)$$

$\Theta_{рлс 0,5\epsilon}$, $\Theta_{рлс 0,5\beta}$, $\Theta_{гсн 0,5\epsilon}$, $\Theta_{гсн 0,5\beta}$ – напівширини діаграм спрямованості (ДС) антен за кутом місця ϵ та азимуту β ; δ – рівень дальніх бокових пелюсток (фону) антени РЛС виявлення ЗРК; λ , $P_{гр}$ – відповідно довжина хвилі РЛС ЗРК та гранична чутливість ГСН ПРР,

$$P_{гр} = k T_0 P_{ш} [K_{ш} - 1 + (T_a / T_0)], \quad (9)$$

k , T_0 – постійна Больцмана та абсолютна температура апаратури ГСН відповідно; $P_{ш}$, $K_{ш}$ – смуга пропускання та коефіцієнт шуму ГСН; T_a – абсолютне значення температури антени ГСН; B , D – втрати у ГСН ПРР, включаючи за трасою розповсюдження та дальність виявлення РЛС ПРР (1) відповідно.

Середні квадратичні відхилення (СКВ) помилок наведення ПРР на ЗРК $\sigma_n(i)$ знаходимо при умові [12, 13, 16], що закон розподілення їх нормальний та однакові ДС ГСН, так $\Theta_{гсн 0,5\epsilon} = \Theta_{гсн 0,5\beta} = \Theta_{гсн 0,5}$

$$\sigma_H(i) \approx 2D_k(i) \operatorname{tg} \left[\Theta_{\text{ГСН}0,5} / (2q\sqrt{\pi}) \right]. \quad (10)$$

Результати розрахунку за виразами (1), (2), (7) – (10) наведені на рис. 3, коли: $P_{\text{рлс}} = 300 \cdot 10^3 \text{ Вт}$, $B = 10$, $\Theta_{\text{рлс}0,5\varepsilon} = 6^\circ$, $\Theta_{\text{рлс}0,5\beta} = 1^\circ$, $\lambda = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$, $\delta = 4 \cdot 10^{-3}$ (-24 дБ), $K_{\text{ш}} \approx 19$, $\Theta_{\text{ГСН}0,5\varepsilon} = \Theta_{\text{ГСН}0,5\beta} = 14,1^\circ$, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$, $T_0 = 290 \text{ К}$, $\Pi_{\text{ш}} = 10^7 \text{ Гц}$, $T_a \approx 250 \text{ К}$. Також враховано обмеження на відношення с/ш q (7), яке за конструктивними особливостями ГСН ПРР не може бути більше 32 дБ [12]. При цьому найменше значення $\sigma_H(i)$ дорівнює 6 м [1-5].

Перша крива $\sigma_{H1}(\sigma)$ на рис.3 безперервна, відображає значення СКВ коли $\Delta = 0$, $\varepsilon = 0^\circ$ та $H = 1 \text{ км}$. При цьому σ змінюється у від 10^{-4} до $0,3 \text{ м}^2$. Мала σ знижує $D_k(i)$ та тим

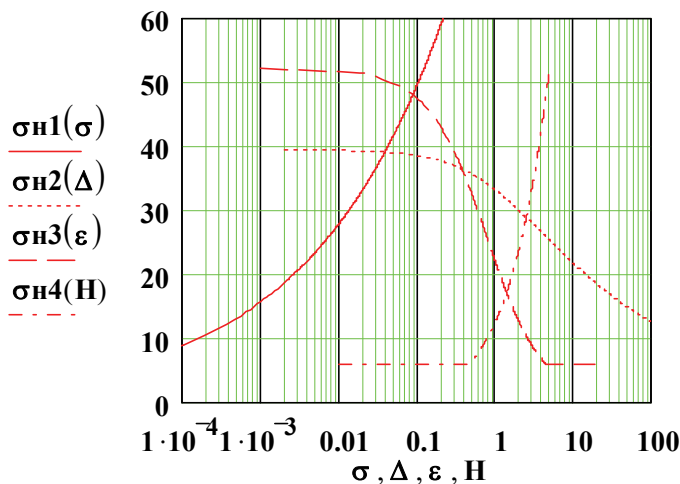


Рис. 3. Середні квадратичні відхилення помилок наведення ПРР на БМ $\sigma_H(i)$ в залежності від значень ЕПР ПРР σ , співвідношення потужності завад до потужності власних шумів РЛС ЗРК Δ , кутів закриття антени РЛС ε та висоти польоту ПРР H

Наглядаємо збільшення $\sigma_{H4}(H)$ внаслідок підвищення $D_k(i)$ при $H > 1 \text{ км}$. В цілому характер кривих на рис. 3 вказує на підвищення якості наведення ПРР на ЗРК, коли знижуються σ , H та зростають Δ , ε .

Враховуємо, що бойова частина (БЧ) ПРР завжди спрацьовує та систематична складова помилок наведення ПРР прямує до нуля [2]. Часткове значення промаху ПРР позначають через ρ [6 – 8,14]. Тоді імовірність проходження ПРР $P_i(\rho)$ у «трубці» заданого радіусу ρ_3 дорівнює (коли $\rho < \rho_3$)

$$P_i(\rho) = 1 - \exp \left\{ -\rho^2 / \left[2\sigma_H^2(i) \right] \right\}. \quad (11)$$

При тих же умовах чисельного моделювання ((10) рис. 3), за останнім виразом (11) отримали значення $P_i(\rho)$. Результати моделювання наведено на рис. 4. Перша крива, позначена $\times \times \times$, здобута при наступних даних: $\sigma = 1,25 \text{ м}^2$, $\Delta = 0$, $\varepsilon = 0^\circ$, $H = 1 \text{ км}$. Так, $P_1(189) \approx 0,9$. Зменшення σ з 1,25 до $0,04 \text{ м}^2$ надало другу криву $P_2(\rho)$ (безперервна) при тих же Δ , ε та H . При цьому ρ зменшилась до $\sim 85 \text{ м}$, при якому $P_2(85) \approx 0,9$. Третя крива

самим підвищує значення q у ГСН ПРР. Останнє сприяє якісному наведенню ПРР на ЗРК (10). Друга крива $\sigma_{H2}(\Delta)$, позначена крапками, побудована, якщо $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\varepsilon = 0^\circ$ та $H = 1 \text{ км}$. Збільшення рівня завад Δ зменшує $D_k(i)$ та покращує q у ГСН. Коли $\Delta > 100$ разів $\sigma_{H2}(\Delta)$ прямує до найменшого значення у 6 м. Третя крива $\sigma_{H3}(\varepsilon)$ (тире, рис. 3) здобута при наступних величинах: $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$ разів та $H = 1 \text{ км}$.

Спостерігаємо, коли $\varepsilon > 1^\circ$, можливість підльоту ПРР до БМ, до етапу його виявлення. Четверта крива $\sigma_{H4}(H)$ (точки-тире) розрахована, якщо $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$ разів, $\varepsilon = 2^\circ$ та H змінюється у межах від 10 м до 5 км.

$P_3(\rho)$ (точки) відрізняється від $P_2(\rho)$ тим, що $\Delta = 16$ разів. Спостерігаємо зміщення кривої вліво та $P_3(42) \approx 0,9$. Вплив кута закриття антени РЛС ε показан кривою $P_4(\rho)$ (тире). Побудована $P_4(\rho)$, коли $\sigma = 0,004 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$ разів, $\varepsilon = 2^\circ$, $H = 1$ км. Здобули $P_4(27) \approx 0,9$. П'ята крива на рис. 4 $P_5(\rho)$ (точки тире) відрізняється від $P_4(\rho)$ тим, що висота польоту ПРР при вході у зону виявлення РЛС збільшилась з 1 до 2 км. При цьому $P_5(51) \approx 0,9$.

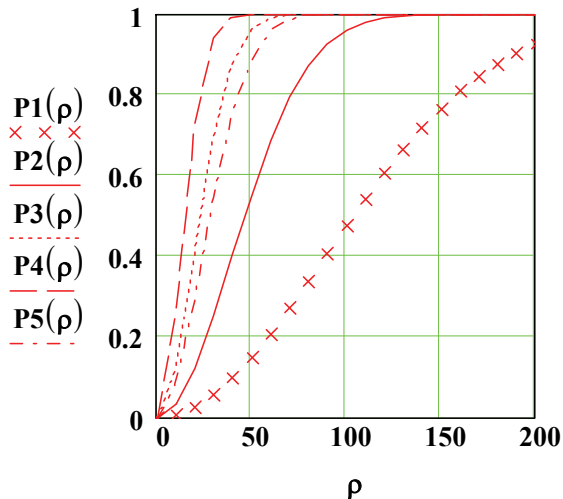


Рис. 4. Імовірності проходження ПРР у «трубці» заданого радіусу $P_i(\rho)$ в залежності від часткового значення промаху ПРР ρ

У підсумку зменшення дальності виявлення ПРР $D_k(i)$ поліпшує значення СКВ помилок наведення ПРР на ЗРК $\sigma_H(i)$. Вказане приводить до звуження «трубки» промаху, в якому здійснюється підрив ПРР з ~ 189 до ~ 27 м. Спостерігаємо поліпшення якості наведення елемента ураження на ЗРК.

Умовна імовірність ураження ЗРК ПРР у різних умовах. Умовна імовірність ураження ЗРК R залежить [6, 14] від маси бойової частини (БЧ) ПРР $m_{бч}$, кількості осколків БЧ $N_{бч}$, маси одного осколка $m_{ос}$, відстані підриву (промаху) ПРР ρ , СКВ помилок наведення ПРР σ_H , тощо. Так, [1 – 5] $m_{бч}$ знаходиться у межах 70...110 кг, $N_{бч}$ – 7...13 тисяч одиниць, $m_{ос}$ – 2...15 грам, σ_H – 3...9 м.

В зв'язку з цим [6 – 8, 14] параметр кругового закону ураження ЗРК β_0^2 також змінюється у значному інтервалі. При моделюванні прийняли усереднене значення β_0^2 рівним $6 \cdot 10^3 \text{ м}^2$. Величини R , β_0^2 суттєво залежать від точки підриву БЧ ПРР відносно ЗРК. Це зв'язано з зміною площини вразливих поверхонь (агрегатів) ЗРК, які знаходяться під впливом осколків, що вражають.

В картинній площині стрільби ρ дорівнює m , де m відстань на яку від'їжджає ЗРК після вимикання передавача РЛС виявлення ЗРК. Тоді R визначаємо з виразу [6 – 8, 14]

$$R = \frac{\beta_0^2}{\beta_0^2 + 2\sigma_H^2} \exp\left(-\frac{m^2}{\beta_0^2 + 2\sigma_H^2}\right). \quad (12)$$

Результати чисельного моделювання для варіантів, що розглядаються, наведено на рис. 5. Перша крива $R_1(m)$ безперервна, надає значення, коли $\sigma = 1 \text{ м}^2$, $\Delta = 0$, $\varepsilon = 0^\circ$ та $H = 1$ км. З врахуванням розподілення за нормальним законом точок вибуху ПРР на відстані m , яке змінюється від 0 до 440 м (рис. 4), отримали $R_1(0) \approx 0,35$ та $R_1(440) \approx 10^{-5}$. Друга крива $R_2(m)$ (позначена точками) визначена, якщо $\sigma = 0,04 \text{ м}^2$, $\Delta = 0$, $\varepsilon = 0^\circ$ та $H = 1$ км. На основі розрахунку ρ функції $P_i(\rho)$ отримали $R_2(0) \approx 0,66$ та $R_2(180) \approx 0,02$, які більше $R_1(m)$. Вплив дії завад відображений третьою кривою $R_3(m)$ (тире), якщо $\Delta = 16$ разів, $\sigma = 0,004 \text{ м}^2$, $\varepsilon = 0^\circ$, $H = 1$ км.

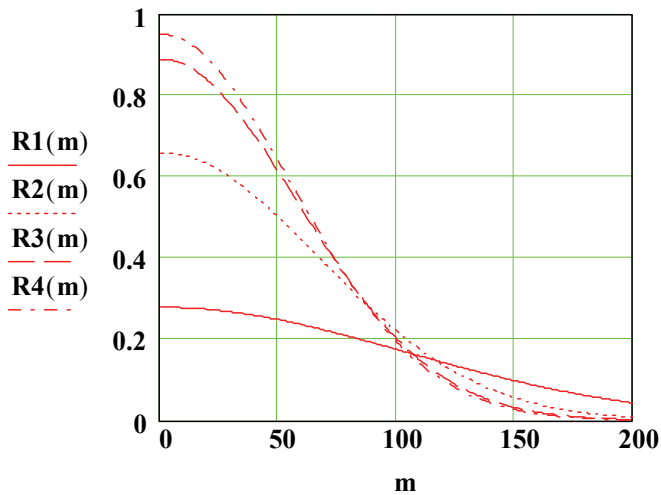


Рис. 5. Умовна імовірність ураження БМ $R_i(m)$ в залежності від відстані її від їзду, після вимикання передавача РЛС ЗРК m

У русі ЗРК від їжджає на відстань m , за I, II, III варіантами яке відповідно дорівнює 180, 68, 30 м. Тоді (рис. 5) $R_1(180) \approx 0,013$, $R_2(68) \approx 0,45$ та $R_3(30) \approx 0,84$. Останні два результати є неприйнятним для ЗРК і потрібно відпрацювати інші способи застосування озброєння при атаці ПРР з пасивними ГСН.

Напрямки підвищення живучості ЗРК від ПРР з пасивною ГСН. Для зниження значень $R_i(m)$ доцільно впроваджувати [14] стаціонарні пастки для ГСН ПРР (або що відстрілюються). Забезпечити перебудову РЛС ЗРК за період слідування у смузі її хвиляводної системи. Скорочувати робочі часи станцій і систем комплексу, включаючи ракету.

Також зменшення величин $R_i(m)$ можливо при адаптивній зміні енергетичні параметри комплексу [17], своєчасній перебудові передавальних систем, або застосовувати нові принципи знищення ПРР [18].

Висновки

В статті наведено результати чисельного моделювання значень умовної імовірності ураження ЗРК від ПРР $R_i(m)$ з пасивною р/л ГСН. Визначаються дальності виявлення РЛС ЗРК в залежності від ЕПР цілі σ , відношення потужності завад до потужності власних шумів РЛС виявлення ЗРК Δ , кутів закриття антени РЛС ε та висоти польоту ПРР H . Надаються дальності польоту ПРР, їх середня швидкість та час підльоту ПРР до БМ при аеробалістичній траєкторії наведення. На основі цього відстань від їзду від точки вибуху БЧ ПРР, яка очікується, знаходиться у межах від 440 до 30 м. Через відношення с/ш у ГСН розраховуються СКВ помилок наведення ПРР на ЗРК, яка дорівнює від 6 до 50 м. Представлено результати моделювання значень імовірності проходження ПРР у «трубці» заданого радіусу $P_i(\rho)$. При погіршенні умов виявлення ПРР РЛС ЗРК $P_i(\rho)$ зменшується з 189 до 30 м, що є небажаним для ЗРК. Тільки при від їзді з швидкістю 10 м/с умовна імовірність ураження БМ $R_i(m) \sim 0,02$. Негативний вплив σ , Δ , ε та H підвищує $R_i(m)$ до 0,45, а у деяких умовах до 0,95.

До напрямків підвищення живучості ЗРК в умовах застосування ПРР відноситься використання стаціонарних (або що відстрілюються) пасток у діапазоні РЛС виявлення ЗРК.

По аналогії з попереднім $R_3(0) \approx 0,89$ та $R_3(68) \approx 0,45$. Четверта крива $R_4(m)$ (точки-тире) показує найгірший результат, при наявності кутів закриття антени РЛС ЗРК – $\varepsilon = 2^\circ$, $\sigma = 0,004 \text{ м}^2$, $\Delta = 16$ разів, $H = 1$ км. При цьому «трубка» промаху зменшилась до 30 м, здобули $R_4(0) \approx 0,95$ та $R_4(30) \approx 0,82$. Погіршення умов виявлення ПРР приводить до більш точного наведення елементів ураження на ЗРК, так, ρ зменшується з 189 до 27 м (рис. 4). При цьому $R_i(m)$ за варіантами, що розглядаються, складає від 0,95 (0,35) до 0,82 (10^{-5}). Отриманий результат є негативним і потребує вирішення.

Також доцільна розробка та впровадження швидкісної перебудови РЛС за період слідування у смузі її хвиляводної системи, скорочення робітних часів систем ЗРК. Потрібно використовувати адаптивні зміни енергетичних параметрів комплексу, або (та) застосовувати нові принципи знищення ПРР.

Список літератури:

1. Григорьев А. Современное состояние и перспективы развития авиационных противорадиолокационных ракет стран НАТО // Зарубежное военное обозрение. № 3. С. 33-3.
http://pentagonus.ru/publ/materialy_posvjashheny/2000_nastojashij_moment/sovremennoe_sostojanie_i_perspektivy_razvitiya_aviacionnykh_protivoradiolokacionnykh_raket_stran_nato/122-1-0-1502 (20 января 2018).
2. <https://topwar.ru/113006-gonka-protivoradiolokacionnyh-raket.html> Гонка противорадиолокационных ракет // Военное обозрение.
3. Зубров В. Перспективные управляемые ракеты класса «воздух – земля» // Зарубежное военное обозрение. № 12. С. 43-46 ; <http://pentagonus.ru/publ/16-1-0-303> (20 января 2018).
4. <https://ru.wikipedia.org/wiki/X-31>.
5. <http://www.airwar.ru/weapon/avz/x58u.html>.
6. Основы стрельбы и управления огнем войсковых зенитных ракетных комплексов. Ч. 1 / В.З. Казачинский, А.А. Каипецкий, Л.Г. Нестеренко, Г.В. Семенов, Н.Д. Солодовников. К. : КВАИУ, 1971. 468с.
7. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами ; 2-е изд., испр. и доп. Москва : Воениздат, 1980. 294 с.
8. Ковтуненко А.П., Шершнева Н.А. Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения. Харьков : ВИРТА, 1992. 233 с.
9. Піскунов С.М. Варіант визначення координатного і кругового законів ураження повітряної цілі // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХУПС, 2013. № 2(11). С. 107-111.
10. Справочник офицера противовоздушной обороны ; под ред. Г.В. Зимица. Москва : Воениздат, 1979. 432 с.
11. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пашенко та ін. К. : МО України, 2003. 368 с.
12. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. Изд. 2 е, перераб. и доп. ; под. ред. Я. Д. Ширмана. Москва : Радиотехника, 2007. 512с.
13. Леонов І.Г., Присяжний А.Е., Сидоренко Д.С., Животовский Р.Н. Инвариантный подход к обнаружению радиолокационных сигналов на фоне пассивных помех в условиях априорной неопределенности // Системи обробки інформації. Харків : ХУПС, 2013. Вип.6(113). С.103-107.
14. Основы стрельбы та керування вогнем : навч. посіб. / В.С. Кудряшов, С.Г. Леушин, В.І. Самоквіт. Харків : ХУПС, 2016. 232 с.
15. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. Москва : Наука, 1981. 720 с.
16. Kudriashov V.V. A Modified Maximum Likelihood Method for Estimation of Mutual Delay and Power of Noise Signals by Bistatic Radiometer, Comptes Rendus – Academie Bulgare des Sciences, 68, 5, pp. 631-640.
17. Безверхий А.В., Будур О.М., Єрмаков Г.В., Шевченко А.Ф. Формулювання задачі функціонального ураження протирадіолокаційних ракет з використанням електромагнітної зброї // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХУПС, 2011. Вип. 1(5). С.146-150.
18. Камчатний М.І., Бублик Я.В., Сементовський І.Ю. Підвищення ефективності захисту багатфункціонального радіолокатора від протирадіолокаційних ракет за рахунок адаптивного регулювання потужності зондувального сигналу в залежності від дальності до цілі, що супроводжується // Зб. наук. пр. Харківського університету Повітряних Сил. Харків : ХУПС. 2014. №1(38). С.92-96.