

**Кудряшов В.Є., Артеменко А.А.** Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

**Коломійцев О.В.** Національний технічний університет “Харківський політехнічний інститут”

**Олійник Р.М., Живець Ю.М., Шумигай О.В.** Державний науково-дослідний інститут випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки

## **ЧАСТКОВА МОДЕЛЬ ПОКАЗНИКА ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СТАНЦІЇ СУПРОВОДЖЕННЯ ЦІЛІ ЗЕНІТНОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСУ МАЛОЇ ДАЛЬНОСТІ**

Захист від дії радіо завад на елементи зенітного ракетного комплексу (ЗРК) малої дальності (МД) є однією із важливих проблем, що потребує сучасного підходу для її вирішення. На даний час, ще не достатньо визначений вплив активних завад на можливості озброєння по ураженню повітряних цілей. В статті проведено аналіз впливу завад різної цілісності на станцію супроводження цілей бойової машини (БМ) ЗРК МД. Запропонована часткова модель визначення показника завадостійкості станції супроводження цілі (ССЦ) ЗРК мд. Наведена часткова модель дозволяє аналітичним способом провести оцінювання значень умовних ймовірностей ураження типової цілі у різноманітних умовах. Проведено математичні розрахунки для: коефіцієнтів підсилення антени ССЦ БМ і антени постановника завад; потужності завад на вході ССЦ БМ; граничної чутливості ССЦ БМ і відношення завада/шум у радіолокаційному каналі ССЦ; середньоквадратичного відхилення похибки наведення ракети в залежності від дальності до точки зустрічі ракети з ціллю у зоні ураження з врахуванням впливу завад по радіолокаційному каналу ССЦ БМ; ймовірності проходження ракети у “трубку” заданого радіусу та умовної ймовірності ураження цілі при стрільбі одною ракетою; коефіцієнта завадостійкості ССЦ БМ; умовної ймовірності ураження цілі завада постановника при стрільбі двома ракетами. За прийнятими вхідними інформаційними параметрами і технічними характеристиками ССЦ БМ визначено її граничну чутливість та відношення завада/шум у цьому радіолокаційному каналі. За результатами математичних розрахунків (математичного моделювання) отримані відповідні графіки, що наведені.

**Ключові слова:** показник завадостійкості, часткова модель, ефективність стрільби, станція супроводження цілі, бойова машина, зенітний ракетний комплекс.

### **Постановка проблеми**

Завади, що впливають на радіолокаційні канали та системи бойової машини (БМ) зенітного ракетного комплексу (ЗРК) малої дальності (МД) є організованими (штучними) та взаємопов'язаними [1-6]. Захист від дії радіозавад представляє собою одну із важливих проблем, що виникають під час застосування озброєння за призначенням [7-11]. Незалежно від способу постановки і виду радіозавад на елементи ЗРК МД та впливу їх на ефективність стрільби зенітними керованими ракетами, можливо поділити на наступні завади: станції супроводження цілі (ССЦ), контуру управління ракетою ЗРК та системи підриву бойової частини (БЧ) ракети. Маневрування повітряної типової цілі (ТЦ) призводить до зниження показників ефективності стрільби. При маневрі ТЦ, збільшуються некомпенсовані частки систематичної складової динамічної похибки наведення ракети (ПНР) при стрільбі [1-4].

Таким чином, визначення показника завадостійкості станції супроводження цілі ЗРК МД є актуальною науковою задачею.

Метою статті є розробка часткової моделі показника завадостійкості станції супроводження цілі зенітного ракетного комплексу МД.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Аналіз останніх публікацій щодо проблеми захисту від дії радіозавад на елементи ЗРК свідчить про недостатнє дослідження в цьому напрямку [7-9]. З відомих робіт щодо існуючих радіолокаційних систем та ЗРК [5, 6] можливо зробити висновок, що досі не визначений вплив активних завад на можливості озброєння по ураженню ТЦ [10].

### **Виклад основного матеріалу**

*Постановка задачі по частковій моделі.* Умови стрільби наступні: бойова машина (БМ) до стрільби готова, тобто має безвідмовну матеріальну частину та достатню кількість підготовлених ракет, елементи комплексу діють безвідмовно за час підготовки і проведення стрільби, вогнева протидія противника відсутня. Треба знайти показники завадостійкості станцій та систем комплексу, показник пристосованості комплексу при стрільбі по цілі, що маневрує, а також значення умовних імовірностей ураження цілей з врахуванням надійності елементів комплексу та усіх видів протидії стрільби ракетами  $R_1^*$  для обґрунтуванні Правил стрільби і положень управління вогнем.

*Коефіцієнти підсилення антени ССЦ БМ  $G_c$  та антени постановника завад  $G_z$  [12]:*

$$G_c = 32 \cdot 10^3 / (\Theta_{\beta c} \Theta_{\varepsilon c}), \quad G_z = 32 \cdot 10^3 / (\Theta_{\beta z} \Theta_{\varepsilon z}), \quad (1)$$

де  $\Theta_{\beta c}, \Theta_{\varepsilon c}$  – відповідно на півширина діаграми спрямованості (ДС) антени ССЦ БМ за азимутом  $\beta$  та кутом місця  $\varepsilon$  (град.);  $\Theta_{\beta z}, \Theta_{\varepsilon z}$  – відповідно на півширина ДС антени постановника завад за азимутом  $\beta$  та кутом місця  $\varepsilon$  (град.).

За типовими значеннями, якщо  $\Theta_{\beta c} = 1,2^\circ$ ,  $\Theta_{\varepsilon c} = 1^\circ$ , тоді  $G_c \approx 2,667 \cdot 10^4$  разів. При  $\Theta_{\beta z} = 8,94^\circ$  і  $\Theta_{\varepsilon z} = 8,94^\circ$  отримано  $G_z \approx 400,4$  рази.

*Потужність завад на вході ССЦ БМ  $P_{zc}(P_z, \theta, D)$  [6, 11]:*

$$P_{zc}(P_z, \theta, D) = \frac{P_z G_z G_c \theta \lambda_c^2 P_c / 10^6}{(4\pi)^2 D^2 B_c}, \quad (2)$$

де  $P_z$  – потужність постановника завад (залишків від завад), яка змінюється при чисельному моделюванні у межах від  $10^{-6}$  Вт до 10 Вт на МГц;  $\theta$  – рівень прийому завад антеною ССЦ БМ (головною пелюсткою ДС антени 1, рівень ближніх бокових пелюсток – 0,01 рази, 0,002 – рівень фону антени [6-8, 11]);  $\lambda_c, P_c / 10^6$  – відповідно довжина хвилі ССЦ БМ (змінюється у межах від 0,01 м до 0,05 м, прийнято 0,02 м) та смуга пропускання ССЦ, яка приведена до одного МГц (5-10 МГц, при моделюванні прийняло  $6,1 \cdot 10^6$  Гц);  $D, B_c$  – дальність до постановника завад (м) та втрати у РЛС ССЦ в цілому (25-50 разів, прийнято  $\sim 31$  рази) відповідно.

Наприклад  $P_{zc}(1, 1, 10^5) \approx 5,32 \cdot 10^{-10}$  Вт.

*Гранична чутливість ССЦ БМ  $P_{zc}$  (Вт) та відношення завада/шум (з/ш) у радіолокаційному (рл) каналі ССЦ  $\Delta_c(P_z, \theta, D)$  [6, 9, 11]:*

$$P_{zc} = k T_0 P_c (K_{usc} - 1 + T_{ac} / T_0), \quad \Delta_c(P_z, \theta, D) = P_{zc}(P_z, \theta, D) / P_{zc}, \quad (3)$$

де  $k, T_0$  – відповідно постійна Больцмана ( $1,38 \cdot 10^{-23}$  дж/град.) та абсолютна температура ( $\sim 300$  К);  $K_{usc}, T_{ac}$  – коефіцієнт шуму рл каналу ССЦ БМ (2,5 – 7, прийнято при моделюванні 5,2 рази) та абсолютне значення температури антени ССЦ (визначається в залежності від поверхні зблизу антени, пори року, довжині хвилі, тощо, прийнято  $\sim 120$  К).

Отримано  $P_{zc} = 1,162 \cdot 10^{-13}$  Вт та  $\Delta_c(9,51 \cdot 10^{-5}; 1; 16,5 \cdot 10^3) \approx 16$  разів (завади сильної потужності, 12 дБ). Результати розрахунку за виразами (1) – (3) наведені на рисунку 1.

Перша крива на рисунку 1 безперервна лінія надає на значення  $\Delta_c(P_z, \theta, D)$ . На

дальній границі зони пуску (ЗПу) при дії завад слабкої щільності отримано  $\Delta_c(1,19 \cdot 10^{-5}; 1; 16,5 \cdot 10^3) \approx 2$  рази. Друга крива позначена точками, третя (тире), четверта (точки та тире) вказують відповідно на потужність завад середньої щільності  $\Delta_c(2,97 \cdot 10^{-5}; 1; 16,5 \cdot 10^3) \approx 5$  разів, сильної –  $\Delta_c(9,51 \cdot 10^{-5}; 1; 16,5 \cdot 10^3) \approx 16$  разів та щільності подавляючої –  $\Delta_c(5,94 \cdot 10^{-4}; 1; 16,5 \cdot 10^3) \approx 100$  разів. У той же час  $\Delta_c(1; 1; 16,5 \cdot 10^3) \approx 1,68 \cdot 10^5$  разів. При цьому спостерігається надто великі значення відношення з/ш у РЛ каналі ССЦ, що суттєво знижує можливості по виявленню – вимірюванню координат ТЦ.

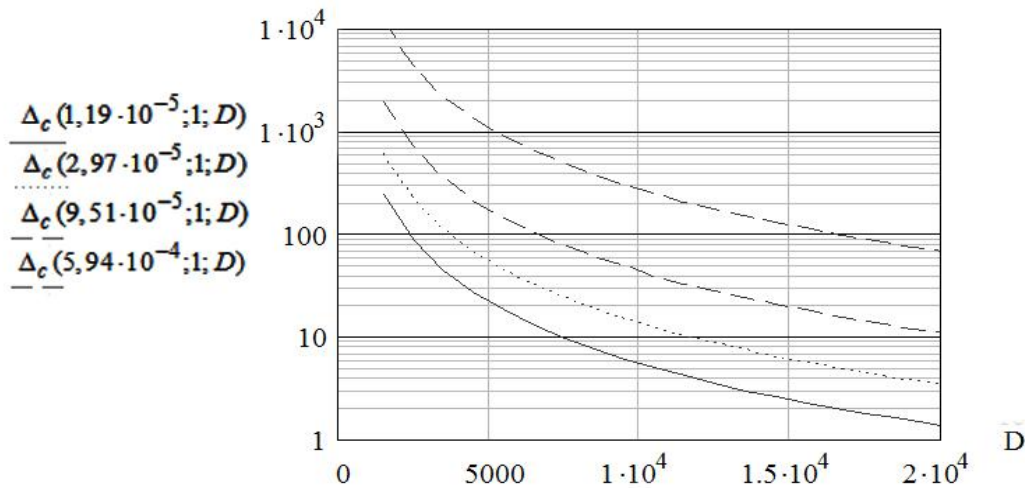


Рис. 1. Відношення завади/шум у рл каналі ССЦ  $\Delta_c(P_z, \theta, D)$  в залежності від дальності до постановника завад  $D$

Відношення сигнал/шум (с/ш) у РЛ каналі ССЦ  $q_c(P_z, \theta, D, \sigma)$  при дії на її вході активної шумової завади (АШЗ), яка узгоджена за смугою пропускання радіоприймального пристрою РЛС [5, 6]:

$$q_c(P_z, \theta, D, \sigma) = \sqrt{\frac{2 P_c G_c^2 \lambda_c^2 \sigma}{(4\pi)^3 D^4 [P_{zp} + P_{zc}(P_z, \theta, D)] B_c}}, \quad (4)$$

де  $P_c$  – імпульсна потужність передавальної системи ССЦ БМ (змінюється у межах від 150 кВт до 1,2 МВт, прийнято при розрахунках  $\sim 200$  кВт);  $\sigma$  – ефективна поверхня розсіювання (ЕПР) ТЦ ( $m^2$ ).

При відсутності дії завад на дальній границі узяття ТЦ, з ЕПР, що дорівнює  $1 m^2$ , на автосупроводження (АС) отримано:  $q_c(0; 1; 24 \cdot 10^3; 1) \approx 6,93$  рази ( $\sim 13,8$  дБ). За потужністю відношення с/ш на вході рл каналу ССЦ БМ дорівнює  $[q_c(P_z, \theta, D, \sigma)]^2 / 2$ .

Отже, можливо отримати нове значення с/ш за потужністю, обмежуючи його на основі границь Крамера-Рао [6, 12] для великих величин, не більше  $10^3$  разів (30 дБ), так:

$$q_c(P_z, \theta, D, \sigma) = \begin{cases} 10^3 & \text{if } \frac{[q_c(P_z, \theta, D, \sigma)]^2}{2} \geq 10^3 \\ \frac{[q_c(P_z, \theta, D, \sigma)]^2}{2} & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (5)$$

Результати розрахунків за виразом (5) приведені на рисунку 2. Перша крива позначена  $\circ\circ\circ\circ\circ$  вказує на зміну відношення с/ш при відсутності завад. Обмеження за Крамером-Рао відмічаємо на дальності  $\sim 9,5$  км. Друга крива (безперервна) отримана при дії завад слабкою щільності  $q_c(1,19 \cdot 10^5; 1; 16,5 \cdot 10^3; 1) \approx 35,8$  рази. Третя (точки), четверта (тире) та п'ята (точки та тире) криві розраховані на фоні відповідно середніх, сильних та подавляючої щільності завад.

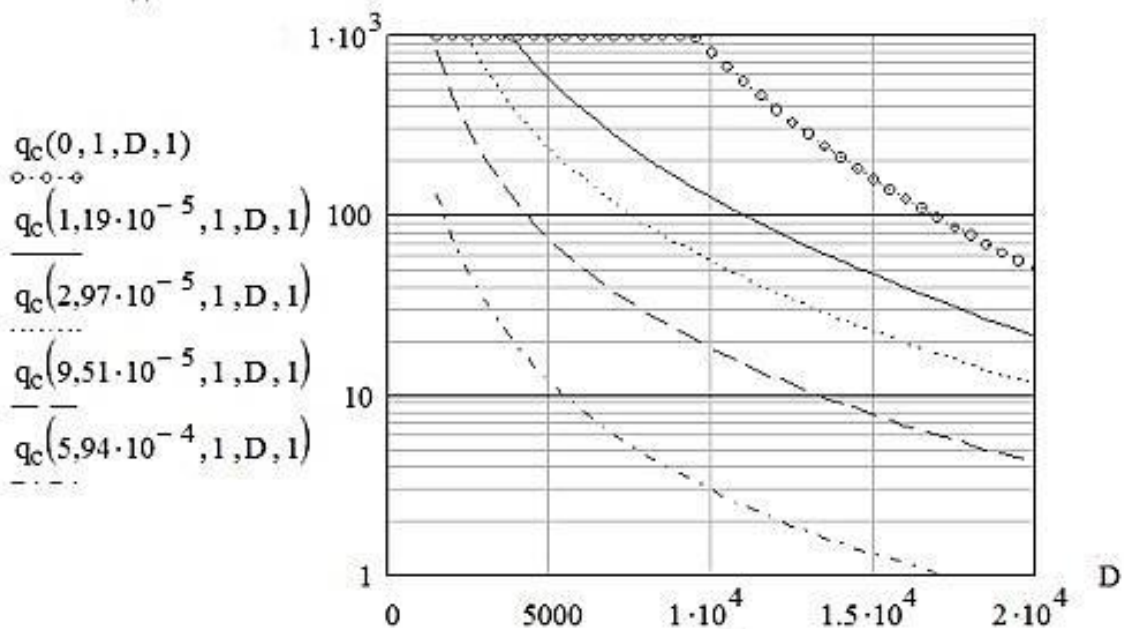


Рис. 2. Відношення сигнал/шум за потужністю у рл каналі ССЦ  $q_c(P_3, \theta, D, \sigma)$  в залежності від дальності до постановника завад  $D$

Середньоквадратичні відхилення (СКВ) ПНР в залежності від дальності до точки зустрічі ракети з ціллю  $D$  у зоні ураження (ЗУ)  $\sigma_{nc}(P_3, \theta, D, \sigma)$  з врахуванням впливу завад по РЛ каналу ССЦ БМ.

СКВ ПНР в основному визначається точністю вимірювання кутових координат ТЦ, з урахуванням коефіцієнту передачі контуру управління ракетою [3, 4]. У зв'язку з цим за наближеним виразом флуктаційна складова СКВ ПНР  $\sigma_{\phi c}(P_3, \theta, D, \sigma)$  дорівнює у кутових хвилинах (кут. хв.):

$$\sigma_{\phi c}(P_3, \theta, D, \sigma) = \sqrt{\frac{1123}{q_c(P_3, \theta, D, \sigma)}}. \quad (6)$$

Чисельник у (6) знаходимо від реальної величини  $\sigma_{\phi c}$  комплексу, яке на фіксованій дальності дорівнює  $\sim 1,19$  кут. хв., або знаходиться у межах від 0,8 кут. хв. до 1,8 кут. хв. Отримано:  $\sigma_{\phi c}(0; 1; 10^4; 1) \approx 1,19$  кут. хв. та при завадах –  $\sigma_{\phi c}(1,19 \cdot 10^{-5}; 1; 10^4; 1) \approx 3$  кут. хв.

СКВ ПНР у картинній площині стрільби  $\sigma_{nc1}(P_3, \theta, D, \sigma)$  (кут. хв.) [2, 4]:

$$\sigma_{nc1}(P_3, \theta, D, \sigma) = \sqrt{\sigma_{\partial z}^2 + \sigma_{iz}^2 + [\sigma_{\phi c}(P_3, \theta, D, \sigma)]^2}, \quad (7)$$

де  $\sigma_{\partial z}^2$  – динамічна складова СКВ ПНР у картинній площині стрільби (знаходиться у межах від 1,2 до 2,6 кут. хв., при модулюванні – 1,9 кут. хв.);  $\sigma_{iz}^2$  – інструментальна складова СКВ ПНР у картинній площині стрільби (знаходиться у межах від 0,2 до 0,7 кут. хв.,

прийнято 0,4 кут. хв.).

При наявності завад отримано:  $\sigma_{нс1}(1,19 \cdot 10^{-5}; 1; 10^4; 1) \approx 3,6$  кут. хв.

Значення СКВ ПНР у картинній площині стрільби  $\sigma_{нс2}(P_3, \theta, D, \sigma)$  (м) дорівнює [2, 4]:

$$\sigma_{нс2}(P_3, \theta, D, \sigma) = D \operatorname{tg} \left( \frac{\sigma_{нс1}(P_3, \theta, D, \sigma) \pi}{180 \cdot 60} \right). \quad (8)$$

Так:  $\sigma_{нс2}(0; 1; 10^4; 1) \approx 6,62$  м та  $\sigma_{нс2}(1,19 \cdot 10^{-5}; 1; 10^4; 1) \approx 10,4$  м.

З врахуванням технічних параметрів систем БМ та ракети обмежено значення СКВ ПНР на рівні не менше 3 м за ЗУ комплексу  $\sigma_{нс}(P_3, \theta, D, \sigma)$  (м) так:

$$\sigma_{нс}(P_3, \theta, D, \sigma) = \begin{cases} \sigma_{нс}(P_3, \theta, D, \sigma) & \text{if } \sigma_{нс}(P_3, \theta, D, \sigma) > 3 \\ 3 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (9)$$

Результати розрахунків за виразами (1) – (8) приведені на рисунку 3.

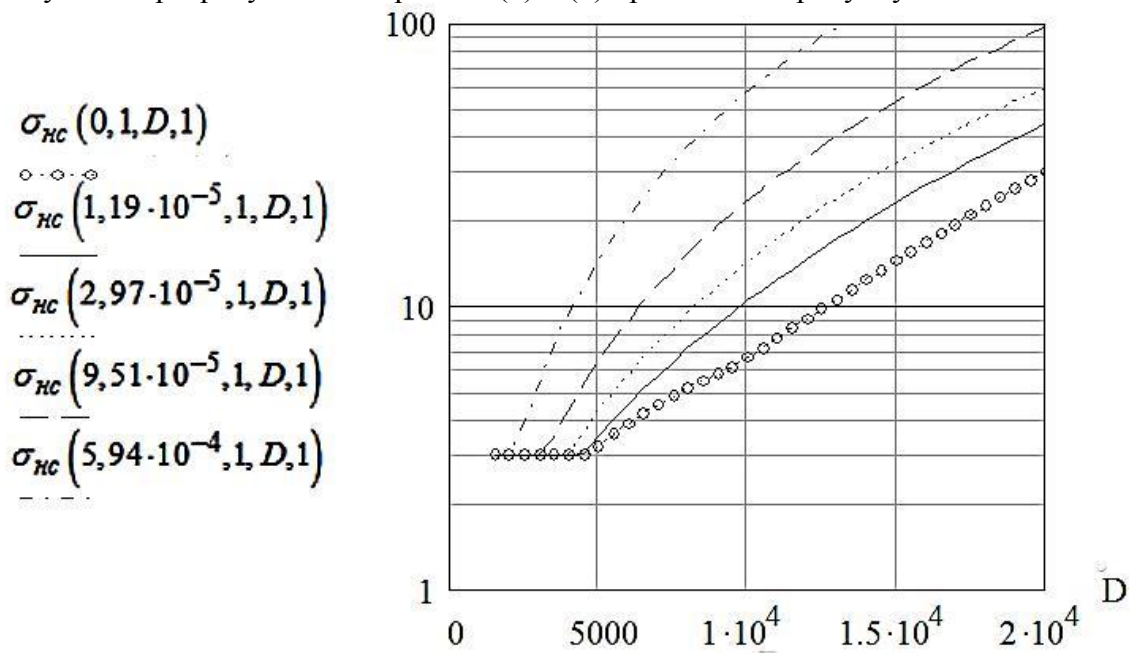


Рис. 3. Значення СКВ ПНР  $\sigma_{нс}(P_3, \theta, D, \sigma)$  в залежності від дальності до точки зустрічі з цілью  $D$

Перша крива  $\sigma_{нс}(0, 1, D, 1)$  позначена  $\circ \circ \circ \circ$  та відображає значення СКВ ПНР при відсутності завад і стрільбі по ТЦ. Друга крива (безперервна), третя (точки), четверта (тире) та п'ята (точки і тире) відповідно відображають вплив завад слабкої, середньої, сильної і щільності подавляючої.

Наприклад, на дальності до 10 км відповідно отримано: 6,6 м, 10,4 м,  $\sim 14,4$  м,  $\sim 23,8$  м та  $\sim 57,4$  м.

Ймовірність проходження ракети  $P_c(P_3, \theta, D, \sigma)$  у “трубку” заданого радіуса  $\rho_{\max}$  та умовна ймовірність ураження ТЦ при стрільбі одною ракетою  $R_{1c}(P_3, \theta, D, \sigma)$  [1-4, 8, 13].

Найбільший промах ракети  $\rho_{\max}$  при якому радіопідривач (РП) спрацьовує з ймовірністю 0,5 дорівнює:

$$\rho_{\max} = m_n + 3\sigma_n, \quad (10)$$

де  $m_H, \sigma_H$  – усереднені значення за ЗУ комплексу систематичної складової ПНР (знаходиться у межах від 0 м до 4 м, прийнято при розрахунках 1,1 м) та СКВ ПНР (знаходиться у межах від 3 м до 8 м, прийнято  $\sim 5$  м) відповідно.

Ймовірність проходження ракети у “трубку” заданого радіусу  $\rho_{\max}$  :

$$P_c(P_3, \theta, D, \sigma) = \int_0^{\rho_{\max}} \left\{ \frac{\rho \exp \left[ -\frac{\rho^2 + m_H^2}{2\sigma_{HC}(P_3, \theta, D, \sigma)^2} \right] I_0 \left[ \frac{\rho m_H}{\sigma_{HC}(P_3, \theta, D, \sigma)^2} \right]}{\sigma_{HC}(P_3, \theta, D, \sigma)^2} \right\} d\rho. \quad (11)$$

Отримано без завад та стрільбі по ТЦ на дальності до 10 км:  $P_c(0; 1; 10^4; 1) \approx 0,95$ , а при завадах слабкої щільності –  $P_c(1,19 \cdot 10^{-5}; 1; 10^4; 1) \approx 0,69$ .

Умовна ймовірність ураження ТЦ при стрільбі одною ракетою [1-4, 8-11]:

$$R_{1c}(P_3, \theta, D, \sigma) = \frac{\beta_0^2 \exp \left[ -\frac{m_H^2}{\beta_0^2 + 2\sigma_{HC}(P_3, \theta, D, \sigma)^2} \right] P_c(P_3, \theta, D, \sigma)}{\beta_0^2 + 2\sigma_{HC}(P_3, \theta, D, \sigma)^2}, \quad (12)$$

де  $\beta_0$  – параметр кругового закону ураження ТЦ (знаходиться у межах від 12 м до 25 м), для ЗРК малої дальності та відповідній ТЦ прийнято  $16 \text{ м}^2$ .

Отримано:  $R_{1c}(0; 1; 10^4; 1) \approx 0,7$  та  $R_{1c}(1,19 \cdot 10^{-5}; 1; 10^4; 1) \approx 0,37$ , а у середині ЗУ без завад –  $R_{1c}(0; 1; 5 \cdot 10^3; 1) \approx 0,92$ .

Коефіцієнт завадостійкості ССЦ БМ  $\xi_c(P_3, \theta, D, \sigma)$  [2, 8, 9]:

$$\xi_c(P_3, \theta, D, \sigma) = R_{1c}(P_3, \theta, D, \sigma) / R_{1c}(0, \theta, D, \sigma). \quad (13)$$

Результати моделювання за виразом (13) приведені на рисунку 4.

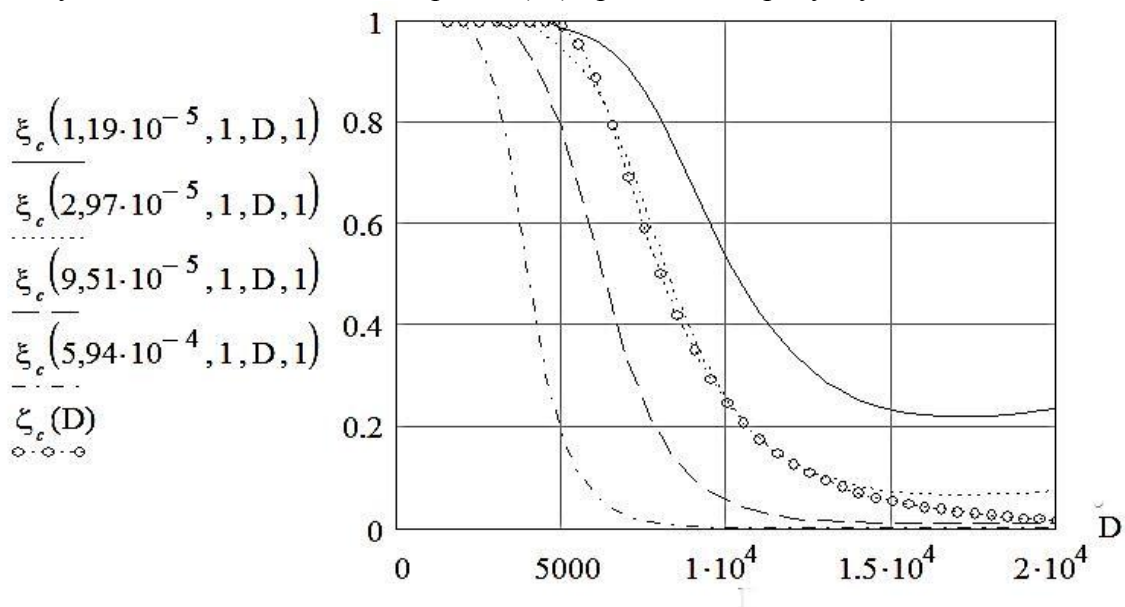


Рис. 4. Значення коефіцієнтів завадостійкості ССЦ БМ  $\xi_c(P_3, \theta, D, \sigma)$  в залежності від дальності до нього  $D$

Незначний підйом першої кривої (безперервної) на дальності більше 16 км вказує на обмеженість даної математичної моделі. Це негативне явище пов'язано:

а) з фіксованим положенням постановника завад на відстані 16,5 км;

б) обґрунтованим підходом [3, 4], що СКВ ПНР при відсутності завад визначаються лише якістю вимірювання кутових координат цілі.

Друга крива позначена точками, третя (тире), четверта (точками і тире) відображають дію завад середньої, сильної та подавляючої щільності відповідно.

Для скорочення часу при чисельному моделюванні вводимо апроксимацію показника завадостійкості ССЦ БМ у вигляді:

$$\xi_c(D) = 1 - \exp\left[-\left(7,3 \cdot 10^3 / D\right)^4\right]. \quad (14)$$

Результати розрахунку приведені п'ятою кривою на рисунку 4, яка позначена 'o'o'o'o'o'. Нажаль представлена апроксимація задовольняє лише при аналізі впливу на ССЦ завад середньої щільності. Для різних рівнів завад потрібно змінювати чисельник у (14).

Показники завадостійкості ССЦ БМ, якщо потужність завад ( $P_3 G_3$ ) на вході станції дорівнює 100 Вт на МГц, показана на рисунку 5.

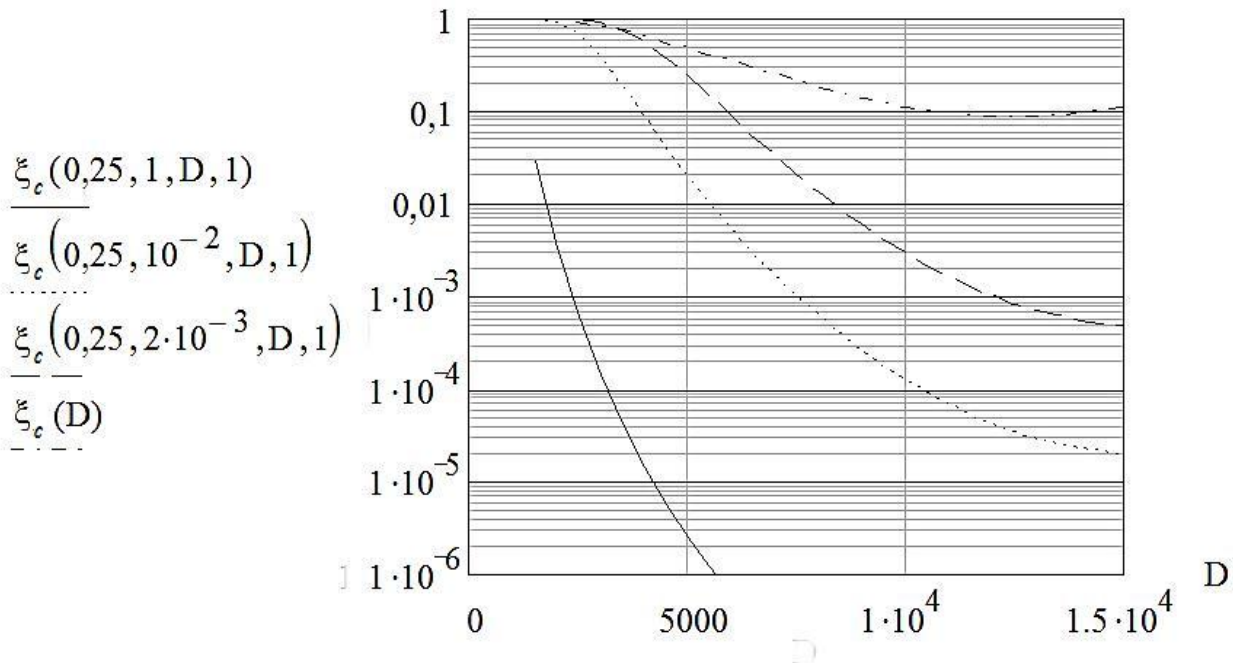


Рис. 5. Значення коефіцієнтів завадостійкості ССЦ БМ  $\xi_c(0,25;\theta;D;\sigma)$  в залежності від дальності до нього  $D$

Перша крива (безперервна) відображає режим самоприкриття цілі, наприклад при  $D = 10^4$  м  $\xi_c(0,25;1;10^4;1) \approx 1,28 \cdot 10^{-8}$ . Друга крива (точки) показує вплив завад, які діють на ближні пелюстки ДС антени ССЦ БМ. Третя крива (позначена тире) надає значення  $\xi_c(0,25;2 \cdot 10^{-3};D;1)$ , або завадопостановник знаходиться на рівні фону антени (- 27 дБ) ССЦ.

Аналіз отриманих результатів свідчить про негативний вплив завад, тобто треба формувати інші способи стрільби ракетами для підвищення ефективності застосування озброєння за призначенням.

Умовна ймовірність ураження цілі постановника завад  $R_{2zn}(D)$  при стрільбі двома ракетами.

При використанні у ЗРК методу наведення “три точки” та о/с БМ здійснюється захват сигналів постановника завад на АС, СКВ ПНР за координатами  $z, y$  картинної площини стрільби дорівнює:

$$\sigma_z(D) = D \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta_{\beta c} \pi}{2 \cdot 180} \right), \quad \sigma_y(D) = D \operatorname{tg} \left( \frac{\Theta_{\varepsilon c} \pi}{2 \cdot 180} \right). \quad (15)$$

Через параметр  $\chi$ , який враховує якість супроводження ТЦ, постановника завад у режимі АС знаходимо СКВ ПНР  $\sigma_{nc2}(D)$ :

$$\sigma_{nc2}(D) = \sqrt{[\sigma_z(D)\sigma_y(D)]/\chi^2}. \quad (16)$$

Значення  $\chi$  змінюється від 3 до 10 разів, при чисельному моделюванні прийняли  $\chi = 5$ . Враховуємо обмеження на значення  $\sigma_{nc2}(D)$  за аналогією (9) так:

$$\sigma_{nc1}(D) = \begin{cases} \sigma_{nc2}(D) & \text{if } \sigma_{nc2}(D) > 3 \\ 3 & \text{otherwise} \end{cases}. \quad (17)$$

Ймовірність проходження ракети  $P_{zn}(D)$  у “трубці” заданого радіусу, умовна ймовірність ураження постановника завад, при стрільбі одною ракетою  $R_{1zn}(D)$  та чергою з двох ракет  $R_{2zn}(D)$ , а також нове значення коефіцієнта завадостійкості ССЦ БМ можливо записати наступним чином [1-4, 8-11]:

$$P_{zn}(D) = \int_0^{\rho_{\max}} \left\{ \frac{\rho \exp \left[ -\frac{\rho^2 + m_H^2}{2 \sigma_{nc1}(D)^2} \right] I_0 \left[ \frac{\rho m_H}{\sigma_{nc1}(D)^2} \right]}{\sigma_{nc1}(D)^2} \right\} d\rho, \quad (18)$$

$$R_{1zn}(D) = \frac{\beta_0^2 \exp \left[ -\frac{m_H^2}{\beta_0^2 + 2 \sigma_{nc1}(D)^2} \right] P_{zn}(D)}{\beta_0^2 + 2 \sigma_{nc1}(D)^2},$$

$$R_{2zn}(D) = 1 - [1 - R_{1zn}(D)]^2, \quad \xi_{c1}(D) = \frac{R_{1zn}(D)}{R_{1c}(0,0,D,1)}.$$

Підсумки розрахунків приведені значеннями  $\xi_{c1}(D)$  на рисунку 5 кривою, яка позначена точками і тире. При цьому, спостерігається суттєве покращення значень завадостійкості ССЦ БМ при відпрацюванні особовим складом БМ режиму АС по постановнику завад. Так було –  $\xi_c(0, 25; 1; 5 \cdot 10^3; 1) \approx 2,45 \cdot 10^{-6}$  (перша крива, рис. 5) і стало –  $\xi_{c1}(5 \cdot 10^3) \approx 0,48$ . Вказаний підхід дозволяє вести вогонь о/с навіть при потужності завад по радіолокаційному каналу ССЦ БМ у 100 Вт на МГц.

### **Висновки**

Таким чином, за прийнятими вхідними інформаційними параметрами і технічними характеристиками ССЦ БМ визначено її граничну чутливість та відношення з/ш у цьому РЛ



каналі. Введено обмеження с/ш на основі границь Крамера-Рао у 30 дБ.

Отримано для стрільби на фоні завад слабкої щільності і режиму самоприкриття ТЦ відношення с/ш 35,8 разів. Розраховано значення СКВ ПНР у залежності від дальності до точки зустрічі ракети з ТЦ у ЗУ. Враховані конструктивні особливості ЗРК МД.

За прийнятими величинами систематичної складової та СКВ ПНР отримані значення умовних ймовірностей ураження ТЦ на рівні  $\sim 0,7$ , а при слабких завадах  $\sim 0,37$ . Знайдені значення коефіцієнта завадостійкості ССЦ, при завадах слабкої щільності  $\sim 0,53$  та подавляючої –  $\sim 2,1 \cdot 10^{-3}$ . Останнє зводить на ненець стрільбу ракетами по ТЦ.

Розглянуто стрільбу ракетами при узятті ТЦ на АС сигналів постановника завад. Визначені величини СКВ ПНР та умовні ймовірності ураження постановника завад по РЛ каналу ССЦ від 0,08 до 0,44.

Показана доцільність стрільби чергою з двох ракет. Якщо постановник завад випромінює 100 Вт/МГц у режимі самоприкриття і о/с БМ взяв його на АС, то коефіцієнт завадостійкості підвищується до 0,48 на дальності  $\sim 5$  км. Це дозволяє вести стрільбу ракетами по ТЦ з високою ефективністю.

Отже, запропонована часткова модель визначення показника завадостійкості станції супроводження цілі ЗРК МД. Наведена часткова модель дозволяє аналітичним способом провести оцінювання значень умовних ймовірностей ураження ТЦ у різноманітних умовах.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы стрельбы и управления огнем войсковых зенитных ракетных комплексов: Ч. 1 / В.З. Казачинский, А.А. Каипецкий, Г.Л. Нестеренко и др.; под ред. Г.В. Семенова. – К.: КВАИУ, 1971. – 468 с.
2. Кудряшов В.Є. Основы стрельбы ракетами та керування вогнем: навч. посіб. / В.Є. Кудряшов, С.Г. Леушин, В.І. Самоквіт. – Х.: ХУПС, 2016. – 232 с.
3. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Воениздат, 1980. – 294 с.
4. Ковтуненко А.П. Основы теории построения и моделирования функционирования сложных систем вооружения / А.П. Ковтуненко, Н.А. Шершнева. – Х.: ВИРТА, 1992. – 233 с.
5. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
6. Радиоэлектронные системы: Основы построения и теория. Справочник. – Изд. 2-е, перераб. и доп.; под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007. – 512 с.
7. Кудряшов В.Є. Другий рід помилок стрільби ракетами по нетиповим цілям ЗРК малої дальності / В.Є. Кудряшов, О.В. Коломійцев, І.Я. Загоруйко // Збірник наукових праць ХУПС. – Х.: ХУПС, 2011. – № 1(27). – С. 86-90.
8. Коломійцев О.В. Умовна ймовірність ураження нетипової цілі ЗРК малої дальності / О.В. Коломійцев, В.Є. Кудряшов, І.Я. Загоруйко // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС, 2012. – № 2(30). – С. 170-173.
9. Коломійцев О.В. Умовна ймовірність ураження цілі з врахуванням надійності роботи елементів комплексу і протидії стрільби ракетами / О.В. Коломійцев, В.Є. Кудряшов, О.О. Адамовській, А.А. Коротя. // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС, 2014. – № 1(38). – С. 3-9.
10. Кудряшов В.Є. Умовна ймовірність ураження ЗРК протирадіолокаційною ракетою / В.Є. Кудряшов, М.І. Рожков, А.Ю. Ткаченко, Ю.П. Червоняк // Радіотехніка. Всеукраїнський міжвідомчий науково-технічний збірник ХНУРЕ. – Х.: ХНУРЕ, 2018. – № 192. – С. 34-40.
11. Довідник з протиповітряної оборони / А.Я. Торопчин, І.О. Романенко, Ю.Г. Даник, Р.Е. Пащенко та ін. – К.: МО України, Х: ХВУ, 2003. – 368 с.

12. Справочник по радиолокации; под общей ред. К.Н. Трофимова. Т. 1. Основы радиолокации; под ред. Я.С. Иццоки. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.

13. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.

14. Неупокоев Ф.К. Стрельба зенитными ракетами. 3-е издание. – М.: Воениздат, 1991. – 343 с.

15. Коломійцев О.В. Дальність радіотеплолокаційного спостереження двохпозиційною радіометричною системою повітряних цілей / О.В. Коломійцев, Ю.А. Клеваний, І.В. Мельников // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2014. – № 2 (118). – С. 21-24.

**Кудряшов Віктор Євгенович,**

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри Харківського національного університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-7055-5357>

e-mail: 53kudryashov@gmail.com

**Коломійцев Олексій Володимирович**

Заслужений винахідник України, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор кафедри Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

e-mail: Alexus\_k@ukr.net

**Артеменко Артем Анатолійович**

провідний науковий співробітник науково-дослідного відділу наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-9462-1566>

e-mail: kharkiv-patriots@ukr.net

**Олійник Руслан Михайлович**

начальник науково-дослідного відділу Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-3969-544X>

e-mail: o.ruslan77@gmail.com

**Живець Юрій Михайлович**

науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4465-8667>

e-mail: Zhivchik09@ukr.net

**Victor Kudryashov**

Candidate of Technical Sciences, Senior Research, Professor of Department of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7055-5357>

e-mail: ladmegel@gmail.com

**Oleksii Kolomiitsev**

Honored Inventor of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Senior Research, Professor of Department of National Technical University is the “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0001-8228-8404>

e-mail: Alexus\_k@ukr.net

**Artem Artemenko**

Candidate of Technical Sciences Leading research associate of Scientific Research Department of Air Force Research Center of the Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-9462-1566>

e-mail: kharkiv-patriots@ukr.net

**Ruslan Oliynik**

Chief of Section of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-3969-544X>

e-mail: o.ruslan77@gmail.com

**Yurij Zhivetc**

Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4465-8667>

e-mail: Zhivchik09@ukr.net

**Шумигай Олександр Вікторович**

науковий співробітник Державного науково-дослідного інституту випробувань і сертифікації озброєння та військової техніки, Чернігів, Україна  
<https://orcid.org/0000-0003-3699-2323>  
e-mail: alexandr\_sh\_75@ukr.net

**Oleksandr Shumigay**

Researcher of State Scientific Research Institute of Armament and Military Equipment Testing and Certification, Chernihiv, Ukraine  
<https://orcid.org/0000-0003-3699-2323>  
e-mail: alexandr\_sh\_75@ukr.net

**A PRIVATE MODEL OF INDEX IS A HINDRANCE OF STABILITY OF THE STATION OF ACCOMPANIMENT OF AIM OF ZENITHAL ROCKET COMPLEX OF SHORTER-RANGE**

**V. Kudryashov, O. Kolomiitsev, A. Artemenko, R. Oliynik, Y. Zhivetc, O. Shumigay**

*Protecting from the action of radio of hindrances on the elements of zenithal rocket complex of shorter-range is one of important problems, that requires modern approach for her decision. Presently, influence of active hindrances is certain yet not enough on possibilities of armament on the defeat of air aims. In the article the analysis of influence of hindrances of different closeness is conducted on the station of accompaniment of aims of fighting machine of zenithal rocket complex shorter-range. The partial model of determination of index is offered hindrance of stability of the station of accompaniment of aim of zenithal rocket complex of shorter-range. The brought partial model over allows an analytical method to conduct the evaluation of values of conditional hit of model aim probabilities under various conditions. Mathematical calculations are conducted for: amplification of aerial of accompaniment of aim of fighting machine and aeriels factors hindrance of producer; powers of hindrances on the entrance of accompaniment of aim of fighting machine; to the maximum sensitiveness of accompaniment of aim of fighting machine and relations hindrance/noise in the radio-location channel of accompaniment of aim; standard deviation of error of aiming of rocket depending on distance to the point of meeting of rocket with an aim in the zone of defeat taking into account influence of hindrances on the radio-location channel of accompaniment of aim of fighting machine; probabilities of passing of rocket in the «tube» of the set radius and conditional hit of aim probability at firing by one rocket; coefficient of зномеха stability of accompaniment of aim of fighting machine; to conditional hit of aim probability hindrance of producer at firing by two rockets. On the accepted entry informative parameters and technical descriptions of accompaniment of aim of fighting machine certainly her maximum sensitiveness and relation hindrance/noise in this radio-location channel. On results mathematical calculations (mathematical design) corresponding charts that over is brought are got. From charts it is possible to define high efficiency of firing rockets on a model (air) aim.*

**Keywords:** *an index is a hindrance of stability, partial model, efficiency of firing, station of accompaniment of aim, fighting machine, zenithal rocket complex.*