

УДК 355.52

О.І. Ведмідь

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПРАКТИЧНИЙ КРИТЕРІЙ ДЛЯ РОЗРАХУНКІВ МЕЖ ЗОНИ НЕБЕЗПЕКИ ПРИ СТРІЛЬБІ КЕРОВАНОЮ ЗБРОЄЮ НА ПОЛІГОНАХ

Обґрунтовується на підставі досвіду застосування некерованої зброї критерій для розрахунку меж зони небезпеки при стрільбі керованою зброєю. Вводяться поняття теоретично припустимої та практично можливої зони небезпеки. Надається порядок розрахунків меж практично можливої зони небезпеки та наводиться приклад їх розрахунків для зенітного ракетного комплексу С-300П.

**Ключові слова:** зони небезпеки, стрільба, керована зброя, зенітний ракетний комплекс С-300П.

### Вступ

**Постановка задачі та аналіз літератури.** Для проведення стрільб систем керованого ракетного озброєння (СКРО) на полігонах виділяється дозволений сектор стрільби, в межах якого дозволяється обстріл цілей. Сектор стрільби має розміри в азимутальній площині, обмежений визначеною висотою і дальністю.

Для отримання дозволу на проведення стрільб на полігоні для конкретної системи КРО необхідно надати розрахунки розмірів зони небезпеки.

Під зоною небезпеки розуміють частину простору, перебування в межах якої виникає загроза життю та здоров'ю людей, пошкодженню бойової та іншої техніки, нанесенню матеріальних втрат та збитків, порушенню стану навколишнього середовища та екології.

Зона небезпеки обумовлена можливістю виникнення небезпечної ситуації в наслідок падіння керованої зброї чи її уламків під час стрільб. Розміри зони небезпеки для керованої зброї визначаються просторовими характеристиками при її некерованому польоті в наслідок виникненні відмов в бортовій чи наземній апаратурі СКРО, тобто при нештатних ситуаціях. Виникнення нештатних ситуацій в наслідок не відповідних дій бойової обслуги не розглядається.

Проблемна ситуація виникає в тому випадку, коли максимальні відстані точок падіння керованої зброї, що відмовила, при визначених умовах її застосування перевищують розміри полігону. Виникає задача: визначити прийнятний критерій ризику вильоту керованої зброї при нештатних ситуаціях (НШ) за визначені межі полігону.

Далі під ризиком застосування зброї розуміється усвідомлена можливість виникнення небажаних наслідків щодо загрози життю та здоров'ю людей, пошкодження бойової та іншої техніки, нанесення матеріальних втрат та збитків, порушення стану навколишнього середовища та екології за межами зони бойового застосування засобів поразення.

В [1] висловлюється така думка: "Розмір припустимої ймовірності ризику завжди призначається на підставі ступеня небезпеки ризику. Обирається він більш-менш довільно. Тому на всіх прогнозах, що здійснюються методами теорії ймовірностей, лежить відбиток "начальної довільності", пов'язаний з вибором достатньо малої ймовірності ризику – ймовірності того, що прогноз не виправдається". Але "чим небезпечніше можлива похибка передбачення, тим ближче до нуля повинна бути ймовірність події, щоби його вважати практично неможливим".

Загальним підходом до визначення прийнятності ризику, що базується на застосуванні економічного підходу до визначення рівня безпеки, є такий [2]. Оптимальний рівень безпеки  $r_{\text{опт}}$  визначається як такий, при якому забезпечується мінімальне значення суми двох складових:  $B(r)$  – приведені витрати на забезпечення безпеки, що характеризується ризиком  $r$ , і які зростають зі зменшенням потрібної величини ризику  $r$ , і  $Z(r)$  – безпосередні збитки, що обумовлені ризиком  $r$ , і які зростають зі збільшенням величини ризику  $r$ :

$$r_{\text{опт}} = \min_r [B(r) + Z(r)]. \quad (1)$$

Як правило, в технічних засобах СКРО та в організаційних заходах при застосуванні зброї на полігонах прийняти відповідні міри щодо забезпечення безпеки. Тобто  $B(r) = \text{const}$ . Тепер задача знаходження оптимального ризику (1) буде мати рішення при  $r_{\text{опт}} = 0$  і її потрібно замінити на іншу – знайти прийнятну величину безпосередніх збитків  $Z_{\text{прийн}}$  та із залежності  $Z(r)$  знайти  $r_{\text{прийн}}$ , тобто розв'язати рівняння:

$$Z(r_{\text{прийн}}) = Z_{\text{прийн}}. \quad (2)$$

Для розв'язання задачі (2) необхідно мати залежність  $Z(r)$  та визначити  $Z_{\text{прийн}}$ . Знаходження залежності  $Z(r)$  є дуже складною задачею та в зага-

льному вигляді для всіх полігонів визначити її на в'яз чи можливо. Нормування ризику, як відзначається в [2], є складною проблемою, яка потребує враховувати економічні, психологічні, соціальні, технічні та медико-біологічні аспекти. Тому на практиці часто застосовується інший підхід щодо визначення припустимого ризику – зробити його настільки це можливо мінімальним.

**Метою статті** є пропозиція підходу до визначення прийнятного ризику, що базується на прийнятих критеріях безпеки, які застосовуються в практиці військ та ґрунтуються на багаторічному досвіді.

### Основний матеріал

В нормативних документах Сухопутних військ при визначенні меж зони небезпеки при стрільбах артилерії застосовується в якості міри максимального відхилення боєприпасів (ракет тощо) п'ять середніх (імовірних) відхилень –  $5E$ . Вказаний критерій є результатом накопиченого значного практичного досвіду проведення стрільб. Додатково відмітимо, що при розрахунках меж зони небезпеки також додатково враховується можливе рикошетування боєприпасу з урахуванням його обертання відносно своєї повздовжньої осі.

Згідно нормативних документів Повітряних Сил в авіації при проведенні бомбометань застосовується відстань до межі робочої зони від точки розташування мішені  $D_{\text{мін}}$ , яка становить п'ять середніх відхилень, збільшену на величину радіусу розльоту осколків  $R_{\text{оск}}$ :

$$D_{\text{мін}} = 5E + R_{\text{оск}}. \quad (3)$$

Як видно з вищенаведеного, в якості критерію безпеки при застосуванні зброї використовується величина  $5E$ . Для задачі визначення відстані до межі зони небезпеки при відмовах системи наведення керованих ракет застосування в якості міри середніх відхилень  $E$  не можливо. Зручніше використовувати ймовірність вильоту ракети за визначену межу та інші показники, що впливають з цієї ймовірності.

Визначимо ймовірність вильоту боєприпасу за дальністю за відстань в  $5E$ , при цьому точка, з якої ведеться стрільба, має координату  $x = 0$ , а точка прицілювання –  $x = x_0$ ,  $x_0 \gg E$ .

Ймовірність попадання боєприпасу в межах  $[0, x_0 + 5E]$  становить:

$$P(0 \leq x \leq x_0 + 5E) = \int_0^{x_0+5E} \varphi(x, x_0, E) dx, \quad (4)$$

де

$$\varphi(x, x_0, E) = \frac{\rho}{\sqrt{\pi}} \exp\left(-\frac{\rho^2 \cdot (x - x_0)^2}{E^2}\right); \quad (5)$$

$$\rho \approx 0,476936.$$

На підставі того, що  $x_0 \gg E$ , запишемо (4) в такому вигляді:

$$\begin{aligned} P(0 \leq x \leq x_0 + 5E) &\approx P(-\infty \leq x \leq x_0 + 5E) = \\ &= \int_{-\infty}^{x_0+5E} \varphi(x, x_0, E) dx = 0,5 + \int_{x_0}^{x_0+5E} \varphi(x, x_0, E) dx. \end{aligned} \quad (6)$$

З використанням таблиці V [3], в якій протабульована функція нормального закону в вигляді (5), знайдемо, що:

$$P(0 \leq x \leq x_0 + 5E) \approx 0,5 + 0,4996 = 0,9996. \quad (7)$$

Звідси, ймовірність вильоту засобу поразення за вказані межі становить:

$$P(x > x_0 + 5E) = 1 - 0,9996 = 4 \cdot 10^{-4}. \quad (8)$$

Таким чином, ймовірність  $4 \cdot 10^{-4}$  є нормованим показником для визначення меж зони небезпеки в Сухопутних Військах та в авіації Повітряних Сил. Враховуючи накопичений в військах досвід в визначенні меж зони небезпеки вважаємо за доцільне застосовувати їх апробований критерій, але для керованої зброї, що відмовила.

В подальшому ймовірність вильоту керованого засобу поразення, що відмовило, за межу  $P_{\text{МЕЖ}}$  визначимо з деяким запасом як:

$$P_{\text{МЕЖ}} = 1 \cdot 10^{-4}. \quad (9)$$

Відмітимо, що у відповідності до [4] ступінь довіри до події, що відбувається з ймовірністю 0,9999 отримала назву «майже впевнено».

З критерію (9) випливає такий наслідок – припустимим є знаходження об'єкту в межах зони небезпеки, якщо ймовірність влучення в нього засобу поразення не перевищує  $P_{\text{МЕЖ}}$ . Цей висновок збігається з нормою, що застосовувалася в одному із нормативних документів ВПС СРСР при стрільбах авіаційними керованими ракетами.

З введенням критерію межі зони небезпеки (9) виникає дві межі: одна обумовлена критерієм (9), а друга – максимально можливими відстанями падіння керованої зброї при відмовах в системі її керування в визначених умовах застосування. Далі, зону небезпеки, що обмежена ймовірністю  $P_{\text{МЕЖ}}$  будемо звати "практично можлива зона небезпеки", або просто "зона небезпеки". Зону небезпеки, яка обмежена максимально можливими відстанями падіння керованої зброї при відмовах в системі її керування в визначених умовах застосування зброї будемо звати "теоретично припустима зона небезпеки".

Звернемо увагу на той факт, що виліт керованої зброї за визначену межу при відмовах в системі її наведення ще не означає, що буде зроблена якась шкода, нанесені якісь збитки. Ризик (ймовірність

влучення в об'єкт) буде визначатися щільністю точок падіння в межах теоретично можливої зони небезпеки та площею відповідних об'єктів. Так, за даними [2] для багатьох об'єктів припустимою вважається величина ризику природних катастроф, яка оцінюється як  $10^{-6}$  1/рік.

Розглянемо особливості побудови меж зони небезпеки на прикладі зенітного ракетного озброєння. Загальний порядок розрахунків меж зони небезпеки наведений в [5] і стосується побудови теоретично припустимій зони небезпеки. Побудова практично можливої зони небезпеки проводиться в наступному порядку.

1. Визначається набір варіантів нештатних ситуацій  $\text{НШ}_i, i \in \overline{(1, n)}$  при застосуванні зенітних керованих ракет, пов'язаних з відмовою в роботі бортового чи наземного обладнання (апаратури) під час старту і польоту ракети, що впливають на подальший нештатний її політ.

2. Визначаються ймовірності відмови основних пристроїв бортового чи наземного обладнання (апаратури) під час старту або польоту ракети, що призводять до відповідного варіанту нештатної ситуації. На цій підставі розраховуються ризики (ймовірності)  $P_{\text{НШ}_i}, i \in \overline{(1, n)}$  виникнення відповідних нештатних ситуацій.

3. Проводиться ранжирування нештатних ситуацій  $\text{НШ}_i$  за рівнем ймовірності їх виникнення у порядку її зменшення:

$$P_1 \geq P_2 \geq \dots \geq P_j \geq P_{j+1} \geq \dots \geq P_n, \quad (10)$$

де нижній індекс  $j$  є порядковим номером після ранжирування  $\text{НШ}$ .

Знаходиться така кінцева нештатна ситуація  $\text{НШ}_k$  в цьому ряду проранжированих  $\text{НШ}_j$ , після якої сума ймовірностей виникнення нештатних ситуацій, що залишилися та мають меншу ймовірність, максимально наближена до  $P_{\text{МЕЖ}}$ :

$$\sum_{j=k+1}^n P_j \leq P_{\text{МЕЖ}}; \quad \sum_{j=k+1}^n P_j + P_k > P_{\text{МЕЖ}}. \quad (11)$$

4. Для кожного варіанту нештатної ситуації та з урахуванням визначеної точки зустрічі ракети з мішенню розраховуються точки падіння ракети чи її уламків після підриву бойової частини в наслідок або штатної роботи бойового спорядження, або в наслідок спрацювання системи самоліквідації, якщо це передбачене варіантом нештатної ситуації. Максимально віддалені точки падіння на площині задають межу зони небезпеки для обраної нештатної ситуації та для заданої точки зустрічі ракети з мішенню.

При виборі припустимих точок зустрічі ракети з мішенню вважається, що вони знаходяться на межі дозволеного сектора стрільби. Координати межі

зони небезпеки розраховуються поза межами дозволеного сектора стрільби для всіх можливих значень дальності зустрічі ракети з мішенню, а в секторі стрільби – поза запланованою максимальною за дальністю точки зустрічі.

5. Будується узагальнена зона небезпеки для обраної точки зустрічі об'єднанням зон небезпеки для всіх  $\text{НШ}_j, j \in \overline{(1, k)}$ .

6. Після побудови узагальненої зони небезпеки проводиться аналіз її припустимості з точки зору забезпечення безпеки при проведенні стрільб на конкретному полігоні. В результаті такого аналізу визначаються припустимі умови стрільби (параметри руху мішені, діапазон дальності точок зустрічі ракети з мішенню).

Для варіантів  $\text{НШ}_i$ , наведених в [5], для умовних значень вихідних даних отримані такі оцінки  $P_i$ :

$$\begin{aligned} P_{\text{НШ}_1} &\approx 6 \cdot 10^{-5}; & P_{\text{НШ}_2} &\approx 8 \cdot 10^{-8}; & P_{\text{НШ}_3} &\approx 7 \cdot 10^{-5}; \\ P_{\text{НШ}_4} &\approx 9 \cdot 10^{-8}; & P_{\text{НШ}_5} &\approx 4 \cdot 10^{-3}; & P_{\text{НШ}_6} &\approx 4 \cdot 10^{-6}; \\ P_{\text{НШ}_7} &\leq 4 \cdot 10^{-2}; & P_{\text{НШ}_8} &\leq 3 \cdot 10^{-4}; & P_{\text{НШ}_9} &\leq 3 \cdot 10^{-2}; \\ P_{\text{НШ}_{10}} &= 0; & P_{\text{НШ}_{11}} &\approx 4 \cdot 10^{-2}. \end{aligned}$$

Після ранжирування маємо:

$$P_1 = P_{\text{НШ}_{11}} \approx 4 \cdot 10^{-2}; \quad P_2 = P_{\text{НШ}_7} \leq 4 \cdot 10^{-2};$$

$$P_3 = P_{\text{НШ}_9} \leq 3 \cdot 10^{-2}; \quad P_4 = P_{\text{НШ}_5} \approx 4 \cdot 10^{-3};$$

$$P_5 = P_{\text{НШ}_8} \leq 3 \cdot 10^{-4}; \quad P_6 = P_{\text{НШ}_1} \approx 6 \cdot 10^{-5};$$

$$P_7 = P_{\text{НШ}_3} \approx 7 \cdot 10^{-5}; \quad P_8 = P_{\text{НШ}_6} \approx 4 \cdot 10^{-6};$$

$$P_9 = P_{\text{НШ}_4} \approx 9 \cdot 10^{-8}; \quad P_{10} = P_{\text{НШ}_2} \approx 8 \cdot 10^{-8}; \quad P_{11} = P_{\text{НШ}_{10}} = 0.$$

Таким чином,

$$k = 6, \quad \sum_{j=7}^{11} P_j \approx 7 \cdot 10^{-5} < P_{\text{МЕЖ}}, \quad \sum_{j=6}^{11} P_j \approx 1,3 \cdot 10^{-4} > P_{\text{МЕЖ}}.$$

Схематично узагальнені практично можлива та теоретично припустима зони небезпеки для одного із можливих варіантів відстані пуску наведені на рис. 1.

Автор висловлює щире подяку с.н.с. Кліменкову С.В. за проведення розрахунків точок падіння зенітних керованих ракет із-за відмов в системі їх керування за відповідними нештатними ситуаціями.

## ВИСНОВКИ

1. Обґрунтований практичний критерій  $P_{\text{МЕЖ}}$  для розрахунків меж зони небезпеки при застосуваннях керованої зброї на полігонах на підставі досвіду застосування некерованої зброї на полігонах.

2. Введені поняття "практично можлива зона небезпеки" та "теоретично припустима зона небезпеки".

3. Наведений загальний порядок проведення розрахунків меж практично можливої зони небезпеки при застосуванні керованої зброї на полігонах.

4. Наведений приклад порядку розрахунків меж зони небезпеки для ЗРК С-300П.

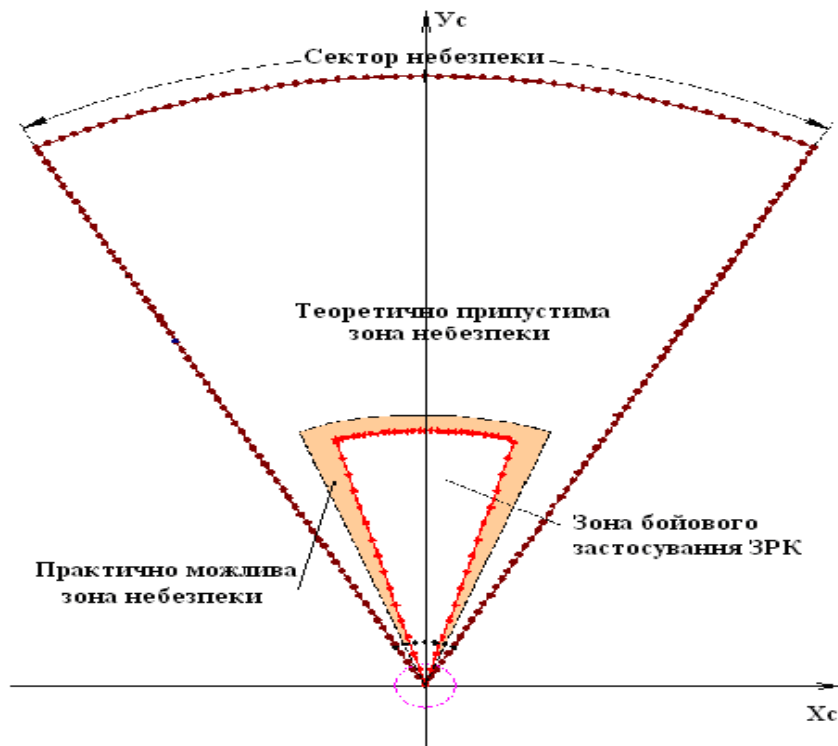


Рис. 1. Зони небезпеки

Подальшими напрямками досліджень за визначеною тематикою можуть бути:

- розробка інших критеріїв для визначення меж зони небезпеки при застосуваннях керованої зброї на полігонах;
- розробка методик розрахунку ризиків знаходження об'єктів в теоретично припустимій зоні небезпеки при застосуванні керованої зброї.

### Список літератури

1. Венцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е.С. Венцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высш. шк., 2000. – 480 с.
2. Безопасность и надежность технических систем / Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, В.И. Круглов и др. – М.: Университетская книга, Логос, 2008. – 376 с.

3. Справочник по вероятностным расчетам / Г.Г. Абергауз, А.П. Тронь, Ю.Н. Копейкин и др. – М.: Воениздат, 1970. – 536 с.

4. Блехман И.И. Механика и прикладная математика: Логика и особенности приложений математики / И.И. Блехман., А.Д. Мышкис., Я.Г. Пановко. – М.: Наука, ГРФМЛ, 1983. – 328 с.

5. Типові нештатні ситуації та оцінка ризиків їх виникнення при стрільбах ЗРК С-300П / М.В. Бархударян, В.В. Бурцев, О.І. Ведмідь, С.В. Кліменков // Системи озброєння і військова техніка. – 2009. – № 3(19). – С. 7-10.

Надійшла до редколегії 11.04.2012

Рецензент: д-р техн. наук, проф. О.Б. Леонтьев, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ПРАКТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ДЛЯ РАСЧЕТОВ ГРАНИЦ ЗОНЫ ОПАСНОСТИ ПРИ СТРЕЛЬБЕ УПРАВЛЯЕМЫМ ОРУЖИЕМ НА ПОЛИГОНЕ

О.И. Медведь

Обосновывается на основе опыта применения неуправляемого оружия критерий для расчетов зон опасности при стрельбе управляемым оружием. Вводятся понятия теоретически допустимой и практически возможной зон опасности. Приводится порядок расчетов границ практически возможной зоны опасности, дается пример ее расчетов для зенитного ракетного комплекса С-300П.

**Ключевые слова:** зона опасности, стрельба, управляемое оружие, зенитный ракетный комплекс С-300П.

### PRACTICAL CRITERION FOR DETERMINATION OF PERIL ZONE BOUNDARY WHILE SHOOTING CONTROL WEAPON ON TRAINING GROUND

O.I. Vedmid

Criterion for determination peril zone boundary while shooting control weapon is based on the experience of use noncontrol weapon. Concept of the theoretically acceptable and practically possible peril zone is introduced. The order of determination and the example of determination for antiaircraft complex С-300П are given for practically possible peril zone.

**Keywords:** peril zone, shooting, control weapon, antiaircraft complex С-300П.