

УДК 355.52

М.В. Бархударян, В.В. Бурцев, О.І. Ведмідь, С.В. Кліменков

*Харківській університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*

## ТИПОВІ НЕШТАТНІ СИТУАЦІЇ ТА ОЦІНКА РИЗИКІВ ЇХ ВИНИКНЕННЯ ПРИ СТРІЛЬБАХ ЗРК С-300П

*Формулюються типові нештатні ситуації, які виникають внаслідок некерованого руху зенітних керованих ракет із-за можливих відмов в бортовій або в наземній апаратурі при стрільбах ЗРК С-300П, та що необхідні при розрахунках зон безпеки. Наводяться формули для розрахунку ризиків (ймовірностей) виникнення нештатних ситуацій.*

**Ключові слова:** зони безпеки, нештатні ситуації, стрільба, зенітний ракетний комплекс С-300П.

### Вступ

**Постановка задачі та аналіз літератури.** Для проведення стрільб систем зенітного керованого ракетного озброєння (ЗКРО) 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 конкретній системи зенітного керованого ракетного озброєння необхідно надати розрахунки розмірів зони безпеки.

Під зоною безпеки 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 безпеки обумовлена можливістю виникнення небезпечної ситуації в наслідок падіння ракет чи їх уламків під час стрільб. Розміри зони безпеки більше, ніж розміри сектора стрільби, та пов'язані з некерованим польотом ракет при нештатних ситуаціях. Далі вважаємо, що нештатні ситуації виникають в наслідок відмов в бортовій чи наземній апаратурі зенітного ракетного комплексу (ЗРК). Виникнення нештатних ситуацій в наслідок не відповідних дій бойової обслуги не розглядається.

Для зменшення розмірів зони безпеки розробником озброєння приймаються різні технічні заходи для припинення некерованого руху ракет, в тому числі за рахунок встановлення на борту ракети системи (блоку) самоліквідації. Але це не в якому разі не виключає ризик виникнення нештатних ситуацій.

Розрахунки зон безпеки при стрільбах систем ЗКРО є прерогативою розробників озброєння. Вони, як правило, мають закритий характер, так як проводяться при розробці та випробуваннях озброєння. Тому в відомій авторам літературі публікації на цю тему відсутні.

### Метою статті є:

– викладення загального порядку до розрахунків зони безпеки;

– розробка типового переліку нештатних ситуацій і порядку розрахунку ймовірності (ризик) їх виникнення, які є основою для безпосередніх розрахунків зони безпеки при стрільбах ЗРК конкретного типу.

Розрахунки ймовірності виникнення нештатній ситуації, що наведені далі, базуються на відомих результатах теорії надійності радіоелектронної апаратури. При розрахунках використовуються відомості щодо побудови озброєння, які викладені, наприклад, в [1].

### Основний матеріал

Загальний порядок розрахунків зони безпеки, що пропонується, полягає в наступному.

1. Визначається набір варіантів нештатних ситуацій 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 приводять до відповідного варіанту нештатної ситуації. На цієї підставі розраховуються ризики (ймовірності) виникнення нештатних ситуацій.

3. Для кожного варіанту нештатної ситуації та з урахуванням можливого набору точок зустрічі ракети з мішенню розраховуються траєкторії руху ракети та його уламків після підриву бойової частини в наслідок або штатної роботи бойового спорядження, або в наслідок спрацьовування системи самоліквідації. Координати точок падіння на площині задають межу зони безпеки для кожної вибраної для аналізу точки зустрічі ракети з мішенню.

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

4. Після побудови меж зон небезпеки проводиться аналіз їх припустимості з точки зору забезпечення безпеки при проведенні стрільб на конкретному полігоні. В результаті такого аналізу визначаються допустимі умови стрільби (параметри руху мішені, діапазон дальності точок зустрічі ракети з мішенню) з урахуванням припустимого рівня ризику виникнення нештатної ситуації.

5. Після визначення умов стрільби проводиться уточнення проведених розрахунків та будується узагальнена зона небезпеки. На ній відображаються межі небезпеки для найгірших (з точки зору безпеки при стрільбах) варіантів нештатних ситуацій.

Далі вважається, що нештатні ситуації виникають із-за відмов:

- автопілота (АП), імовірність безвідмовної роботи якого становить  $P_{АП}$  (загальна), в режимі схилення –  $P_{АП-СХ}$ , в режимі приведення за креном –  $P_{АП-ПКР}$ , в режимі стабілізації  $P_{АП-С}$ ;

- бортової радіоапаратури наведення (БРН), імовірність безвідмовної роботи якого становить  $P_{БРН}$ ;

- бортового радіопеленгатора (БРП), імовірність безвідмовної роботи якого становить  $P_{БРП}$ ;

- блоку самоліквідації (БСЛ), імовірність безвідмовної роботи якого становить  $P_{БСЛ}$ ;

- радіопідривача (РП), імовірність безвідмовної роботи якої становить  $P_{РП}$ ;

- радіолокатора підсвічування і наведення (РПН), імовірність безвідмовної роботи якого становить  $P_{РПН}$ .

Для оцінки ймовірностей безвідмовної роботи обладнання ракети: автопілота, бортової радіоапаратури наведення, бортової радіоапаратури супроводження цілі, радіопідривача із складу бойового спорядження використовуються дані або попередніх випробувань, або результати розрахунків. У разі відсутності таких даних основні пристрої виробу можливо вважати рівнонадійними, і тоді для оцінки цих ймовірностей використовувати коефіцієнт бойової роботи ( $K_{БР}$ ) ракети в цілому, отриманий також за даними попередніх стрільб, тобто

$$K_{БР} = P_{АП} \cdot P_{БРН} \cdot P_{БРП} \cdot P_{РП} = P^4. \quad (1)$$

Тоді

$$P = \sqrt[4]{K_{БР}}.$$

За результатами аналізу функціонування озброєння та можливих відмов сформульовані такі нештатні ситуації.

#### Нештатна ситуація 1.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера (ТПК) не схилилася в наслідок виник-

нення відмови в каналі схилення автопілота. Ракета ліквідована системою самоліквідації.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – безвідмовна робота блоку самоліквідації та бойового спорядження та відмова в каналі схилення автопілота. Імовірність такої нештатної ситуації 1 (НШ1) становить

$$P_{НШ1} = (1 - P_{АП-СХ}) \cdot P_{БСЛ}, \quad (2)$$

де  $P_{АП-СХ}$  – імовірність безвідмовної роботи в каналі схилення автопілота.

Імовірність  $P_{АП-СХ}$  можливо приблизно оцінити в такий спосіб. Із аналізу принципіальних схем автопілота визначити долю елементів  $\delta$ , що приходиться на канал схилення, відносно загальної кількості елементів автопілота. Зазначимо час схилення ракети як  $t_{СХ}$ .

Для розрахунків імовірності безвідмовної роботи апаратури використаємо експоненціальний закон надійності, що має вигляд

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot t), \quad (3)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність потоку відмов елементів бортової апаратури;  $t$  – час роботи бортової апаратури, максимальне значення якого покладемо рівним часу роботи бортового джерела живлення –  $t_{БДЖ}$ .

З формули (3) при відомих  $P = P_{АП}$  і  $t_{БДЖ}$ , отримаємо значення інтенсивності потоку відмов апаратури автопілота  $\lambda_{АП}$

$$\lambda_{АП} = -\frac{\ln P_{АП}(t_{БДЖ})}{t_{БДЖ}}. \quad (4)$$

Для каналу схилення інтенсивність потоку відмов буде становити

$$\lambda_{АП-СХ} = \delta \cdot \lambda_{АП}. \quad (5)$$

Візьмемо далі  $t = t_{СХ}$  і з урахуванням значення  $\lambda_{АП-СХ}$  отримаємо

$$P_{АП-СХ} = \exp(-\lambda_{АП-СХ} \cdot t_{СХ}). \quad (6)$$

Уточнимо значення  $P_{БСЛ}$ . Як правило, для забезпечення безпеки блок самоліквідації може видати команду на самоліквідацію не раніш наперед визначеного часу ( $t_{БСЛ-МІН}$ ) – часу роботи двигуна ракети або інше. Аналогічно викладеному вище уточнимо значення  $P_{БСЛ}$  на час  $t_{БСЛ-МІН}$ . Значення  $\lambda_{БСЛ}$  визначається аналогічно формулі (4). Звідси, імовірність безвідмовної роботи блоку самоліквідації  $P_{БСЛ}$  для НШ1 становить

$$P_{БСЛ} = \exp(-\lambda_{БСЛ} \cdot t_{БСЛ-МІН}). \quad (7)$$

Розрахунки за формулою (2) проводяться з урахуванням формул (6) і (7).

#### Нештатна ситуація 2.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера не схилилася із-за відмови в каналі схилення автопілота. Ракета не ліквідована із-за відмови в блоці самоліквідації.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – відмова в каналі схилення автопілота та відмова в роботі блоку самоліквідації. Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ2}} = (1 - P_{\text{АП-СХ}}) \cdot (1 - P_{\text{БСЛ}}). \quad (8)$$

#### Варіант нештатної ситуації 3.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера за креном не привилася із-за відмови в каналі крену автопілота. Ракета ліквідована системою самоліквідації.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – відмова в каналі крену в режимі приведення за креном автопілота та безвідмовна робота блоку самоліквідації та бойового спорядження.

Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ3}} = (1 - P_{\text{АП-ПКР}}) \cdot P_{\text{БСЛ}}. \quad (9)$$

Розрахунок  $P_{\text{АП-ПКР}}$  проводиться аналогічно НШ1. Відмітимо, що неприведення ракети за креном при довільним дирекційним куті будівельної вісі пускової установки призводить до того, що ракета буде схилитися в довільному напрямку.

#### Варіант нештатної ситуації 4.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера за креном не привилася із-за відмови в каналі крену автопілота. Ракета не була ліквідована із-за відмови в блоці самоліквідації.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – відмова в каналі крену в режимі приведення за креном автопілота та відмова в роботі блоку самоліквідації.

Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ4}} = (1 - P_{\text{АП-ПКР}}) \cdot (1 - P_{\text{БСЛ}}). \quad (10)$$

#### Нештатна ситуація 5.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера штатно схилилася та, із-за відмови бортової апаратури наведення в режимі захвату або із-за відмови радіолокатора підсвічування та наведення, на супроводження взята не була. Ракета штатно ліквідована за допомогою блоку самоліквідації.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – справна робота автопілота, відмова бортової апаратури наведення в режимі захвату або відмова РПН, безвідмовна робота системи самоліквідації.

Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ5}} = P_{\text{АП-С}} \cdot (1 - P_{\text{БРН-ЗХВ}} \cdot P_{\text{РПН}}) \cdot P_{\text{БСЛ}}. \quad (11)$$

Величину  $P_{\text{АП-С}}$  можливо оцінити таким чином

$$P_{\text{АП-С}} = \frac{P_{\text{АП}}}{P_{\text{АП-СХ}} \cdot P_{\text{АП-ПКР}}}. \quad (12)$$

#### Нештатна ситуація 6.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера штатно схилилася та із-за відмови бор-

тової апаратури наведення в режимі захвату або відмови радіолокатора підсвічування та наведення вона на супроводження взята не була. Ракета із-за відмови блоці самоліквідації продовжила політ по траєкторії, близької до балістичної.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – справна робота автопілота, відмова або бортової апаратури наведення в режимі захвату, або РПН та відмова в роботі блоку самоліквідації.

Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ6}} = P_{\text{АП-С}} \cdot (1 - P_{\text{БРН-ЗХВ}} \cdot P_{\text{РПН}}) \cdot (1 - P_{\text{БСЛ}}). \quad (13)$$

#### Нештатна ситуація 7.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера штатно схилилася, взята РПН на супроводження, але потім із-за відмови або бортової апаратури наведення, або РПН наведення ракети було зірвано. Ракета продовжила політ у відповідності до останніх команд наведення, що були видані на його борт. Ракета штатно ліквідована за допомогою блоку самоліквідації.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – справна робота автопілота, відмова або бортової апаратури наведення, або РПН та безвідмовна робота системи самоліквідації.

Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ7}} = P_{\text{АП-С}} \cdot (1 - P_{\text{БРН}} \cdot P_{\text{РПН}}) \cdot P_{\text{БСЛ}}. \quad (14)$$

#### Нештатна ситуація 8.

Ракета після виходу з транспортно-пускового контейнера штатно схилилася, взята РПН на супроводження, але потім, із-за відмови бортової апаратури наведення або відмови РПН, наведення ракети було зірвано. Ракета продовжила політ у відповідності до останніх команд наведення, що були видані на його борт. Із-за відмови блоку самоліквідації ракета ліквідована не була.

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – справна робота автопілота, відмова бортової апаратури наведення або відмова РПН та відмова в роботі блоку самоліквідації.

Імовірність такої нештатної ситуації становить

$$P_{\text{НШ8}} = P_{\text{АП-С}} \cdot (1 - P_{\text{БРН}} \cdot P_{\text{РПН}}) \cdot (1 - P_{\text{БСЛ}}). \quad (15)$$

#### Нештатна ситуація 9.

Ракета наводилася на ціль, але в районі цілі підриву бойової частини не відбулося внаслідок або значної похибки наведення із-за відмови бортового радіопеленгатора, або відмови радіопідривача

Виникнення такого варіанту нештатної ситуації є суміщення подій – справна робота РПН, бортової апаратури наведення, автопілота і відмова в роботі радіопідривача або бортового радіопеленгатора

$$P_{\text{НШ9}} = P_{\text{РПН}} \cdot P_{\text{БРН}} \cdot P_{\text{АП-К}} \cdot (1 - P_{\text{РП}} \cdot P_{\text{БРН}}). \quad (16)$$

Нештатна ситуація 10.

Прогар твердопаливного двигуна ракети (РД) або значно більша швидкості горіння палива із-за його розтріскування.

Імовірність такої ситуації дорівнює

$$P_{\text{НШ10}} = 1 - P_{\text{РД}}, \quad (17)$$

де  $P_{\text{РД}}$  – імовірність безвідмовної роботи ракетного двигуна ЗРК.

Нештатна ситуація 11.

Розгерметизації системи живлення рульових машинок ракети.

Внаслідок цієї ситуації в ракеті здійснюється руйнування її 4-го відсіку. Це призводить до втрати ракетою статичної сталості з подальшим її руйнуванням.

Імовірність такої ситуації оцінюється за статистичними даними.

Наведений вище перелік нештатних ситуацій не складає повну групу подій. До цього переліку віднесені лише події, які можуть приводити до найбільших розмірів зони небезпеки.

**Висновки**

1. Наведений загальний порядок проведення розрахунків зони небезпеки, який може бути застосований до будь-якого ЗРК.

2. На підставі логічного аналізу функціонування ЗРК С-300П і зенітної керованої ракети та можливих відмов апаратури розроблений перелік типових нештатних ситуацій, які можуть мати місце при

стрільбах ЗРК. Отримані формули для розрахунку ризиків (імовірностей) виникнення визначених нештатних ситуацій.

**Подальшими напрямками досліджень** за визначеною тематикою можуть бути:

– розширення списку нештатних ситуацій на основі практичного досвіду;

– розробка методичного апарату для визначення ймовірностей безвідмовної роботи бортового обладнання з урахуванням особливостей його побудови та функціонування в різних режимах роботи й на цій підставі

– уточнення формул для оцінки ризиків виникнення нештатних ситуацій;

– розробка математичних моделей врахування впливу відмов бортового обладнання зенітної керованої ракети на її рух.

**Список літератури**

1. Ганин С.М. Зенитная ракетная система С-300П / С.М. Ганин, Карпенко А.В., Жизневский В.И., Г.В. Федотов // Невський бастион, випуск 3, приложение к военно-техническому сборнику. – СПб, 1997. – 72 с.

Надійшла до редколегії 7.07.2009

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

**ТИПОВЫЕ НЕШТАТНЫЕ СИТУАЦИИ И ОЦЕНКА РИСКОВ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИ СТРЕЛЬБАХ ЗРК С-300П**

Н.В. Бархударян, В.В. Бурцев, О.И. Медведь, С.В. Клименков

*Формулируются типовые нештатные ситуации, которые возникают вследствие неуправляемого движения зенитных управляемых ракет из-за возможных отказов в бортовой или наземной аппаратуре при стрельбах ЗРК С-300П, и которые необходимы при расчетах зоны опасности. Приводятся формулы для расчетов рисков (вероятностей) возникновения нештатных ситуаций.*

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

**TYPICAL EMERGENCIES AND ESTIMATION RISK OF THEIR RISE ON FLAK ANTI-AIRCRAFT COMPLEX C-300P**

M.V. Barkhudaryan, V.V. Burtsev, O.I. Vedmid, S.V. Klimentov.

*Typical emergencies which rise as a result of noncontrol move of anti-aircraft missile due to possible failure on-board or ground-based apparatus on flak anti-aircraft complex C-300P and necessary for computation peril zone are formulated. Formulas for computation risk (probability) rise on emergencies are given.*

**Keywords:** peril zone, emergencies, flak, anti-aircraft complex C-300P.