

УДК 62-192.001:519.711.3

Б.М. Ланецький, О.О. Зверев, О.О. Паніцин, І.О. Чигрин

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МОДЕЛЬ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗРК З ВРАХУВАННЯМ НАДІЙНОСТІ ЙОГО СКЛАДОВИХ ЧАСТИН

В статті представлена модель надійності функціонування ЗРК, яка враховує неодноразове використання його засобів та різну кратність їх резервування.

**Ключові слова:** модель надійності, коефіцієнт збереження ефективності.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Функціонування засобів зенітного ракетного комплексу (багатоканальної станції наведення ракет (БСНР), апаратури підготовки зенітних керованих ракет (ЗКР) та керування їх стартом, пускових установок (ПУ) та ін.) відбувається за визначеним технологічним циклом з неодноразовим їх використанням. Крім того, в залежності від вирішуваного завдання бойового використання ЗРК (стрільба по поодинокій цілі, груповій цілі, по групі цілей із складу заданого удару засобів повітряного нападу (ЗПН) та ін.) змінюється кратність резервування його засобів. Для порівняльного аналізу надійності сучасних варіантів радіоелектронних засобів ЗРК, які експлуатуються, необхідно коректно враховувати вищезазначені особливості функціонування засобів ЗРК, що потребує, в свою чергу, розробки відповідних моделей надійності.

**Аналіз літератури.** Відомі моделі надійності ЗРК, в тому числі [1, 2], не враховують різночасне використання різних його засобів та отримані, взагалі, для фіксованих вимог до працездатності, які не змінюються в залежності від режимів бойового використання (БВ). При цьому отримувані оцінки показників надійності ЗРК малочутливі до технологічного процесу функціонування засобів ЗРК, що в свою чергу не дозволяє проводити порівняльний аналіз різних варіантів побудови експлуатованих ЗРК.

**Мета статті.** Розробити модель надійності функціонування ЗРК з врахуванням надійності його складових частин, яка буде враховувати неодноразове їх використання та різну кратність резервування.

### Виклад основного матеріалу

При рішенні задач БВ з врахуванням рівнів резервування ЗРК з точки зору функціональних особливостей раціонально представляти у вигляді БСНР і стартових засобів та розглядати їх функціонування в режимі очікування БВ та в режимі БВ. Режим бойового використання визначається різними вимогами до працездатності засобів ЗРК, що характеризується відповідними рівнями резервування.

Режим БВ розділяється на такі часові інтервали – інтервал від моменту видачі ціле-вказування по назначеній для обстрілу цілі до моменту пуску ракет та інтервал від моменту пуску ракет до моменту закінчення оцінки результатів стрільби.

У запропонованій моделі надійності ЗРК розроблені структурні схеми надійності БСНР та стартових засобів відповідно до режимів БВ на зразку зенітної ракетної системи середньої дальності [3].

В ЗРК найменш надійним елементом є БСНР.

В структурній схемі надійності БСНР необхідно враховувати особливості конструктивно-функціонального виконання пристроїв БСНР та умов їх працездатності, а також режимів функціонування.

У зв'язку з цими особливостями функціонування пристроїв БСНР та умов їх працездатності структурну схему надійності БСНР можна представити у вигляді послідовного з'єднання двох елементів, еквівалентним складовим частинам БСНР: СЧ-1 і СЧ-2, де СЧ-1 включає в себе радіопередавальний пристрій (РПП), антенно-хвильовий пристрій (АХП), систему керування променем (СКП), радіоприймальний пристрій (РПрП) та обчислювальний комплекс (ОК), а СЧ-2 – пристрої обробки інформації про цілі (ПОЦ) та ракети (ПОІР).

Очевидним являється незмінність умов працездатності СЧ-1 для всіх режимів функціонування БСНР, що розглядаються. Для СЧ-2 умови працездатності залежать від режимів функціонування БСНР та етапів бойової роботи.

В режимі очікування БВ структурна схема надійності БСНР представлена у вигляді послідовно з'єднаних ПОЦ і ПОІР, кожен із котрих складається з послідовно з'єднаних елементів загальноканального пристрою та групи із  $n$  основних елементів каналної частини та навантаженого ковзного резерву із  $m_{\text{бснр}} = N_{\text{бснр}} - n_{\text{бснр}}$  елементів. При цьому кожен із резервних елементів замінює любий із основних елементів, які відмовили, шляхом додаткових перемикань.

На етапі БВ після пуску ракет заміна основного цільового каналу у разі його відмови (на відміну від попереднього етапу БВ) неможлива, тому працездат-

тність каналної частини ПОЩ забезпечується одним основним каналом без резервування.

Працездатність каналної частини ПОІР в режимі БВ після пуску ракет забезпечується працездатністю одного із двох ракетних каналів, які використовуються, а другий розглядається як постійний резерв.

Структурна схема надійності ПОЩ СЧ-2 в режимі БВ до пуску ракет представлена на рис. 1, а у виді послідовно з'єднаних елементу 1 загально-каналної частини та групи із одного загального елементу 2 каналної частини і навантаженого резерву заміщенням  $m_{ц}$  елементів 2, а структурна схема надійності ПОІР – у виді послідовного з'єднання елементу 3 загально-каналної частини та групи із двох основних елементів 4 каналів і навантаженого ковзного резерву із  $m_p$  елементів 4.

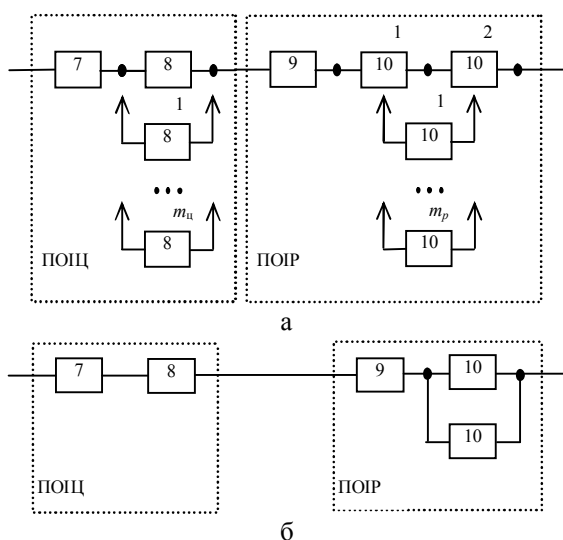


Рис. 1. Структурна схема надійності СЧ-2 БСНР в режимі бойового використання до пуску ракет (а) та після пуску ракет (б) при стрільбі двома ракетами по поодинокій цілі

Структурна схема надійності СЧ-2 БСНР в режимі БВ після пуску ракет (рис. 1, б) при стрільбі чергою із двох ракет по поодинокій цілі представляється у виді: для ПОЩ у виді системи із послідовно з'єднаних елементів 1 (загально-каналної частини) та 2 (цільового каналу каналної частини ПОЩ); для ПОІР у виді послідовно з'єднаних елементів 3 (загально-каналної частини) та дубльованої системи із елементів 4 (ракетних каналів ПОІР) з кратністю резервування 1:1.

Структурна схема надійності стартових засобів включає: основну частину системи керування стартом (01); каналну частину системи керування стартом (11); комутаційний пристрій системи керування стартом (03); основну частину ПУ (011) та ракетний канал (111). Структурна схема надійності стартових засобів визначається умовами працездатності у різних режимах функціонування та варіантами призначення каналів ПУ на обстрілювану ціль, які зале-

жать від кількості використовуваних ПУ, та кількості ракет, поставлених на передстартову підготовку.

У ввімкненому стані ПК функціонує в двох режимах: в режимі очікування бойового використання, тривалістю від моменту переходу у готовність бойового використання до моменту постановки бойової задачі; в режимі бойового використання, тривалістю від моменту постановки бойової задачі на обстріл заданої кількості цілей до моменту завершення передстартової підготовки і пуску призначеної кількості зенітних керованих ракет (ЗКР).

Структурну схему надійності стартових засобів в режимі очікування БВ рис. 2 можна представити у виді послідовного з'єднання елементу загально-каналної частини та системи з ковзним резервуванням із  $n_{пу}$  загальних елементів та  $m_{пу} = N_{пу} - n_{пу}$  резервних у навантаженому режимі.

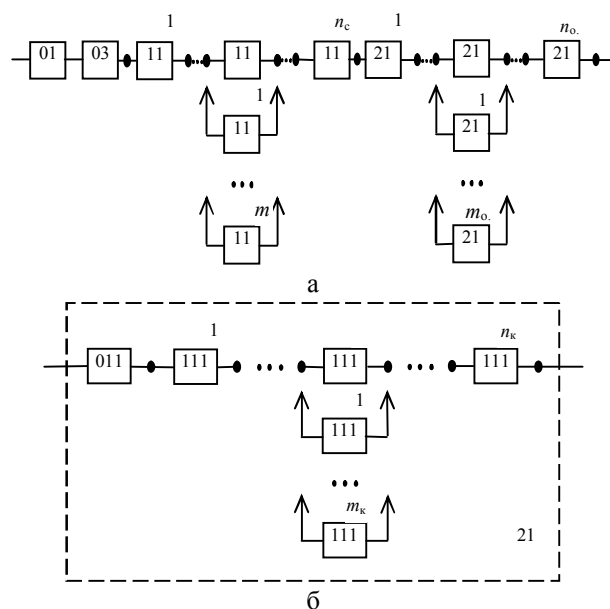


Рис. 2. Структурні схеми надійності пускового комплексу (а) та елемента 21 пускового комплексу (б) для режиму очікування бойового використання

В режимі БВ рис. 3 умови працездатності і структурні схеми надійності стартових засобів будуть залежати від кількості використовуваних ПУ та кількості ракет, поставлених на передстартову підготовку.

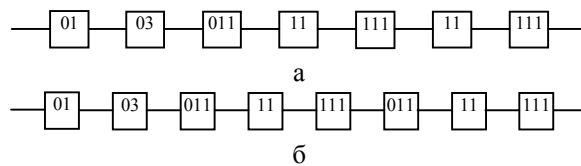


Рис. 3. Структурні схеми надійності пускового комплексу для режиму бойового використання при стрільбі чергою із двох ракет по поодинокій цілі та варіантах призначення каналів ПУ: а – двох ЗКР на одній ПУ; б – по одній ЗКР на двох ПУ

Структурні схеми надійності засобів ЗРК у різних режимах функціонування представляють собою послідовно-паралельне з'єднання елементів з навантаженим резервуванням з різним способом включення резерву: постійним, заміщенням та ковзним, тому розрахунок показників надійності ЗРК зводиться до визначення основних ПН за відомими ПН його елементів за допомогою методу ССН [3].

Для математичних моделей надійності ЗРК отримані співвідношення для оцінки показника ефективності функціонування ЗРК з урахуванням надійності складових частин. У якості показника ефективності функціонування розглядається коефіцієнт зберігання ефективності.

Оцінка коефіцієнта зберігання ефективності БСНР  $K_{\text{эф БСНР}}$  проводиться в припущенні необмеженої величини боєзапасу ЗРК і необмеженої тривалості заданого нальоту для обстрілу ЗПН ПК ЗРК. Так як математичне сподівання числа знищуваних БСНР ЗПН визначається для цих умов за визначену тривалість нальоту  $t_n$  і відомих абсолютних пропускних спроможностях ЗРК  $A_{\text{ун0}}$  і  $A_{\text{ун}}$ , тобто це  $M_0(\xi_{\text{max}}) = A_{\text{ун0}} t_n$  та  $M(\xi_{\text{max}}) = A_{\text{ун}} t_n$ , то

$$K_{\text{эф БСНР}} = A_{\text{ун}} / A_{\text{ун0}},$$

де  $A_{\text{ун0}}$  і  $A_{\text{ун}}$  – номінальне число ЗПН, яке знищується БСНР за одиницю часу при ідеальній і фактичній надійності відповідно.

Коефіцієнт зберігання ефективності ПК ЗРК розраховується із співвідношення:

$$K_{\text{эф ПК}} = \frac{M(Q)}{Q_0},$$

де  $Q_0$  – кількість ракет, розміщених на всіх ПК ЗРК (тобто 1,0 боєкомплект), а величина  $M(Q)$  розраховується з врахуванням надійності засобів ПК і характеризує потенційну величину фактичної витрати ракет з врахуванням надійності засобів ПК.

Показники ефективності функціонування в режимі максимального навантаження ЗРК розраховується за співвідношенням:

$$K_{\text{эф ЗРК}}(\xi_{\text{max}}, Q_0) = \frac{M(\xi_{\text{max}}, Q)}{M_0(\xi_{\text{max}}, Q_0)},$$

де  $M(\xi_{\text{max}}, Q)$  – математичне сподівання числа ЗПН, які знищуються ЗРК в режимі максимального навантаження  $\xi_{\text{max}}$  до використання  $Q$  ЗРК із числа  $Q_0$ , розміщених на ПК, з врахуванням надійності БСНР, ПК та ЗРК;  $M_0(\xi_{\text{max}}, Q_0)$  – теж саме, що й  $M(\xi_{\text{max}}, Q)$ , але для ідеальної надійності БСНР, ПК та ЗРК;  $Q_0$  – боєзапас ЗРК.

## Висновки

Таким чином, представлена адаптована до різних режимів бойового використання та заданим умовам обстрілу цілі модель надійності функціонування для засобів ЗРК, яка разом з відомим методом розрахунку надійності дозволяє більш повно врахувати неоднчасне їх використання та різну кратність перекриття. Врахування даних особливостей дозволяє більш обґрунтовано пред'являти та корегувати вимоги до ПН ЗРК, проводити порівняльний аналіз різних варіантів існуючих ЗРК.

## Список літератури

1. Ковтуненко А.П. Основы теории надежности, технического обслуживания и ремонта вооружения и военной техники / А.П. Ковтуненко. – Х.: ВИРТА, 1992. – 170 с.
2. Ланецкий Б.Н. Основы теории надежности, эксплуатации и ремонта радиоэлектронной аппаратуры зенитных ракетных систем: справочн. мат-лы / Б.Н. Ланецкий. – Х.: ХВУ, 1998. – 400 с.
3. Математическое моделирование в задачах исследования надежности технических систем: моногр. / А.П. Ковтуненко, Б.Н. Ланецкий, А.А. Зверев, В.В. Зубарев. – К: Кн. изд-во НАУ, 2006. – 236 с.

Надійшла до редколегії 18.12.2013

**Рецензент:** д-р військ. наук, проф. М.О. Єрмошин, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### МОДЕЛЬ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЗРК С УЧЕТОМ НАДЕЖНОСТИ ЕГО СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ

Б.Н. Ланецкий, А.А. Зверев, О.А. Паницин, И.А. Чигрин

*В статье приведена модель надежности функционирования ЗРК, которая учитывает одновременное использование его средств и различную кратность их резервирования.*

**Ключевые слова:** модель надежности, коэффициент сохранения эффективности.

### MODEL OF RELIABILITY OF FUNCTIONING OF ANTI-AIRCRAFT MISSILE COMPLEX TAKING INTO ACCOUNT RELIABILITY OF HIS COMPONENT PARTS

B.M. Lanetsky, O.O. Zverev, O.O. Panitsyn, I.O. Chygryn

*Model of anti-aircraft missile complex reliability of functioning in the terms of non-simultaneity of its means usage and their reservation various divisibility is considered in the article.*

**Keywords:** model of reliability, coefficient of maintainance of efficiency.