

SECTION 7. INFORMATICS, COMPUTING AND AUTOMATION

DOI: 10.46299/ISG.2024.MONO.TECH.2.7.1

7.1 Методика оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет

***Анотація.** В статті розглядаються питання щодо розробки комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет для періодів як мирного так і військового часу. У якості коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння обрано середній коефіцієнт надійності наземного засобу зенітного озброєння за визначений інтервал наробітку. Оцінка коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння у воєнний час від мирного часу відрізняється тим, що при розрахунках враховано тривалість ведення протиповітряного бою. Заключною складовою комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет є саме методика визначення коефіцієнта боєготовності зенітних керованих ракет за результатами бойових стрільб (бойових дій). Результатом цієї складової даної методики є розрахований коефіцієнт надійності бойового використання ракети j-го боєкомплекту при проведенні бойової стрільби.*

Вступ. 24 лютого 2024 року минуло два роки від початку злочинного повномасштабного вторгнення російських військ в Україну з масованим бомбардуванням мирних міст. Цей напад став кульмінацією загарбницької війни, яку Москва розпочала проти України 10 років тому з окупації Криму. Світ визнав війну Росії проти України найсерйознішим збройним конфліктом в Європі від часів Другої світової війни. Минуло 10 років очікувань та сподівань. Але боротьба нашої держави триває і досі. Вирішальним фактором завершення війни буде перебіг і результати воєнних дій, ресурсне забезпечення воюючих сторін. Але на умови і саму можливість завершення війни також впливатиме

розвиток соціально-політичної та економічної ситуації в Росії, Україні, США та ЄС, і загальна міжнародна ситуація. Від поєднання даних чинників залежатимуть і умови завершення війни, і те, коли саме вона може завершитися.

Важливу роль у ході війни відіграють бойові дії зенітних ракетних військ (ЗРВ), як основної складової протиповітряної оборони держави. Досягнення високої ефективності ведення бойових дій частинами і підрозділами ЗРВ Повітряних Сил Збройних Сил України не можливе без всебічного їх планування та забезпечення. Підготовленість виробів зенітного ракетного озброєння (ЗРО) до використання за призначенням не можливе без проведення заходів технічного забезпечення та обслуговування, що сприяли б забезпеченню високого рівня бойової ефективності бойових підрозділів і угруповання ЗРВ в цілому у ході їх застосування. Звідси виникає актуальне питання, у якому порядку, чи за якою методикою здійснювати оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем ЗРО та зенітних керованих ракет, що впливає на ефективність бойового застосування угруповання ЗРВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботі [178] автори проводять найглибший аналіз оцінки коефіцієнту бойової готовності підрозділу, при цьому вони показують, що даний коефіцієнт підміняється коефіцієнтом готовності озброєння та військової техніки (ОВТ), який визначається через врахування середнього часу до відмови і на відновлення працездатності цільового каналу. При цьому відсутній чітко визначений, на той час, порядок його обчислення.

В роботах [179] та [180] авторами розроблено пропозиції щодо оцінки боєготовності зразків ЗРО відповідно для періодів мирного і військового часу. Автори ввели коефіцієнт боєготовності виробу ЗРО і показують, що даний коефіцієнт $K_{б.г}(t)$ – є імовірність того, що у довільний момент наробітку (часу) t виріб ЗРО буде готовим до бойового використання і надалі безвідмовно профункціонує протягом заданого інтервалу часу бойового використання – $t_{б.в.}$

У роботі [179] показано, що коефіцієнт боєготовності виробу ЗРО у мирний час $K_{б.г.м}(t)$ – є імовірність того, що за винятком запланованих періодів, протягом

яких використання виробу ЗРО за призначенням не передбачено, він у довільний момент наробітку t виявиться готовим до бойового використання і надалі безвідмовно профункціонує протягом заданого наробітку бойового використання – $t_{б.в.}$. Автори запропонували варіант оцінювання коефіцієнту боєготовності наземних засобів виробу ЗРО у мирний час і довели, що він має вигляд аналогічний коефіцієнту оперативної готовності відновлюваного об'єкта, а для ракет він визначається через імовірності безвідмовної роботи невідновлювальних об'єктів.

У роботі [180] автори показали та довели, що коефіцієнт готовності до бойового використання наземного засобу виробу ЗРО у воєнний час $K_{п.г.н.в.}(t)$ – це імовірність того, що в умовах воєнного часу наземний засіб виробу ЗРО буде приведений у початкове положення та у довільний момент часу на етапі очікування використання за призначенням буде готовим до використання за призначенням. Надалі автори, з урахуванням особливостей застосування виробу ЗРО у військовий час, пропонують варіант оцінювання коефіцієнту боєготовності наземних засобів виробу ЗРО воєнного часу, при цьому вони показують, що даний коефіцієнт має аналогічний вигляд визначеному раніше коефіцієнту технічного використання відновлюваного об'єкта, а для ракет він визначається через імовірності безвідмовної роботи невідновлювальних об'єктів.

В роботі [181] автори, з урахуванням отриманих у роботах [179] та [180] результатів, розробили підхід щодо порядку оцінювання коефіцієнту боєготовності виробу ЗРО, як комплексного показника надійності, який враховує наявність у нього запасу ресурсу, своєчасність його приведення у початкове положення та підтримання у готовності до бойового використання, а також безвідмовність при бойовому використанні, як для умов мирного часу, так і для умов воєнного часу. Отриманий підхід дозволяє використовувати даний показник при проведенні розрахунків бойової ефективності підрозділів і військових частин у складі угруповань ЗРВ, при плануванні в процесі підготовки до ведення бойових дій та проведенні модернізації ОВТ і визначення стратегій

їх обслуговування [182]. Розроблений підхід автори пропонують застосовувати в ході перевірки бойової готовності частин та підрозділів ЗРВ. Такий підхід може бути застосовано при оцінюванні боєготовності як окремого засобу ЗРО, так і комплексів та систем зенітного ракетного озброєння в цілому. Тобто розроблений в [181] підхід може бути основою для розробки методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет.

Мета статті.

Метою статті є розробка комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет для періодів як мирного так і військового часу.

Виклад основного матеріалу.

Визначимо коефіцієнт боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння для мирного часу.

Визначення даного показника кожного із засобів систем зенітного озброєння для мирного часу можливе через статистичні оцінки середнього часу між відмовами та середнього часу відновлення.

Для розрахунку коефіцієнта боєготовності використовується останній інтервал наробітку ($t - \Delta t, t$), наприклад $\Delta t = 1$ рік за даними лічильників годин (приладів) наробітку під струмом шафів (блоків) апаратури.

До цього наробітку входять: сумарний час перебування у боєготовності $\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t)$ з наробітками (t_{6i}) між $n_6(t - \Delta t, t)$ відмовами боєготовності, що дорівнює

$$\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{i=1}^{n_6(t - \Delta t, t)} t_{6i} ; \quad (1)$$

сумарний час відновлень боєготовності $\hat{T}_{B\Sigma}(t - \Delta t, t)$ з наробітками ($t_{B,6i}$), що дорівнює

$$\hat{T}_{B\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{i=1}^{n_6(t - \Delta t, t)} t_{B,6i} ; \quad (2)$$

сумарний наробіток проведення $m(t - \Delta t, t)$ технічних обслуговувань $\hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t)$ з наробітками $t_{\text{ТО}j}$, що дорівнює

$$\hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{j=1}^{m(t-\Delta t, t)} t_{\text{ТО}.j} . \quad (3)$$

Таким чином, сумарний наробіток (Δt) апаратури і обладнання засобу ЗРС можливо визначити як:

$$\Delta t = \hat{T}_{\text{Г}\Sigma}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{Б}\Sigma}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t) . \quad (4)$$

До кількості відмов боєготовності наземних засобів ЗРС відносять відмови, що визначаються за кількістю доповідей про небоєготовність кожного засобу внаслідок її виникнення і фіксуються у журналах бойового чергування.

До сумарного наробітку проведення технічних обслуговувань за видами входять [182]: щоденні, щотижневі, п'ятиденні та сезонні (річні) технічні обслуговування, витрати наробітку на їх проведення встановлені у відповідній нормативній документації.

Таким чином, визначення середнього коефіцієнта надійності наземного засобу зенітного озброєння у мирний час за інтервал наробітку $(t - \Delta t, t)$ може бути проведено за *наступною методикою*:

1) визначається залишок наробітку ($\Delta t_{\text{з.н}}$) без запланованих періодів, протягом яких використання об'єкта за призначенням не передбачено, таким чином

$$\Delta t_{\text{з.н}} = \Delta t - \hat{T}_{\text{ТО}\Sigma}(t - \Delta t, t) ; \quad (5)$$

2) розраховується сума середніх значень наробітків безвідмовної роботи і відновлень:

$$\hat{T}_{\text{Г}}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{\text{Б}}(t - \Delta t, t) = \frac{\Delta t_{\text{з.н}}}{n_{\text{Г}}(t - \Delta t, t)} ; \quad (6)$$

3) середній наробіток відновлення $T_{\text{в}}(t - \Delta t, t)$ встановлюється за результатами досвіду експлуатації та рівня підготовленості обслуговуючого персоналу. До того ж з досвіду встановлено, що середній наробіток на пошук

причини відмови та подальшого настроювання засобу ЗРС зазвичай не перевищує одну годину, а тому його можна визначити через кількість відмов боєготовності $n_6(t - \Delta t, t)$:

$$\hat{T}_{\Sigma}(t - \Delta t, t) = n_6(t - \Delta t, t) \times 1 \text{ год.}; \quad (7)$$

4) за отриманими даними про середній наробіток відновлення $T_B(t - \Delta t, t)$ встановлюється середній наробіток між відмовами боєготовності:

$$\hat{T}_6(t - \Delta t, t) = \frac{\Delta t_{3.H}}{n_6(t - \Delta t, t)} - \hat{T}_B(t - \Delta t, t); \quad (8)$$

5) розраховується середній параметр потоку відмов на етапі бойового функціонування:

$$\bar{\omega}_H(t) = \bar{\omega}_H(t - \Delta t, t) = \frac{1}{\hat{T}_6(t - \Delta t, t)}; \quad (9)$$

6) вимоги до наробітку безперервного бойового використання $t_{6.B}$, в межах якого недопустимо виникнення відмови засобу ЗРС, визначаються максимальною тривалістю занять зі спеціальної підготовки та зазвичай становить $t_{6.B} = 40\text{-}50$ хвилин.

7) для умов мирного часу середній за наробіток $(t - \Delta t, t)$ коефіцієнт боєготовності наземних засобів ЗРС можна розрахувати за наступною формулою

$$\bar{K}_{6.Г.ЗРС}(t, t + t_{6.B}) = \frac{\hat{T}_{6t}}{\hat{T}_{6t} + \hat{T}_{Bt}} e^{-\int_t^{t+t_{6.B}} \bar{\omega}_H(\tau) d\tau} = \frac{\hat{T}_{6t}}{\hat{T}_{6t} + \hat{T}_{Bt}} \left(1 - \frac{t_{6.B}}{\hat{T}_{6t}} \right). \quad (10)$$

Перейдемо до визначення коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння для воєнного часу.

Для цього проведемо статистичні оцінки середнього наробітку між відмовами боєготовності та середнього наробітку при простою за оцінюваний наробіток $(t - \Delta t, t)$.

Для розрахунку коефіцієнта боєготовності за наробіток $(t - \Delta t, t)$ використаємо дані приладів годин наробітку під струмом шафів (блоків) апаратури. У цей загальний сумарний наробіток $(t - \Delta t, t)$ входять: сумарний наробіток перебування засобу у боєготовності $\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t)$ та сумарний наробіток простою. Окрім того встановимо кількість відмов і засобів $n_6(t - \Delta t, t)$. Кількість відмов визначається за кількістю доповідей про небоєготовність кожного засобу внаслідок втрати працездатності, що фіксуються у журналах бойової роботи (журналах бойового чергування). З цих журналів також можуть бути отримані дані про втрати часу на простої (t_{pi}) , як інтервали між доповідями про небоєготовність та про відновлення боєготовності.

Таким чином, визначення за наробіток $(t - \Delta t, t)$ середнього коефіцієнта боєготовності засобу зенітної ракетної системи для умов воєнного часу може бути проведено за *наступною методикою*:

1. Визначається сумарний наробіток $\hat{T}_{TO\Sigma}(t - \Delta t, t)$, витрачений на проведення технічних обслуговувань малої періодичності за встановленими в [178] видами. Витрати часу на їх проведення встановлені у відповідній нормативній документації, а час приведення у боєготовність засобу ЗРС на будь-якому етапі виконання технічного обслуговування не перевищує 5-6 хвилин.

2. Розраховується сумарний наробіток безвідмовної роботи і простоїв:

$$\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t) + \hat{T}_{п\Sigma}(t - \Delta t, t). \quad (11)$$

3. Сумарний наробіток при простоях $\hat{T}_{п\Sigma}(t - \Delta t, t)$ розраховується за формулою

$$\hat{T}_{п\Sigma}(t - \Delta t, t) = \sum_{i=1}^{n_6(t - \Delta t, t)} t_{pi}. \quad (12)$$

4. Розраховується сумарний наробіток перебування засобу ЗРС у стані боєготовності:

$$\hat{T}_{6\Sigma}(t - \Delta t, t) = \Delta t - \hat{T}_{п\Sigma}(t - \Delta t, t). \quad (13)$$

5. Розраховується середній параметр потоку відмов:

$$\overline{\omega}_H(t - \Delta t, t) = \frac{n_6(t - \Delta t, t)}{T_{6\Sigma}(t - \Delta t, t)}. \quad (14)$$

6. Необхідний для розрахунків наробіток безвідмовного бойового використання $t_{6.в}$ визначається максимальною тривалістю ведення протиповітряного бою протягом трьох послідовних ударів засобів повітряного нападу з загальною тривалістю до $t_{6.в} = 120$ хвилин або з досвіду ведення бойових дій.

7. Для умов воєнного часу коефіцієнт боєготовності наземних засобів ЗРС можна розрахувати за формулами (7)–(10), звідки:

$$K_{6.г.н}(t, t + t_{6.в}) = \frac{\hat{T}_{6\Sigma}(t)}{\hat{T}_{6\Sigma}(t) + \hat{T}_{п\Sigma}(t)} \exp \left\{ - \int_t^{t+t_{6.в}} \overline{\omega}_H(\tau) d\tau \right\}, \quad (15)$$

З [179] та [181], відомо, що зенітні керовані ракети (ЗКР) належать до класу не відновлюваних об'єктів в умовах експлуатації в зенітних ракетних підрозділах. Ракети у військову частину надходять боєкомплектами з практично однаковою (близькою) датою виготовлення.

Виходячи з того, що коефіцієнт боєготовності ракет при проведенні бойових стрільб $K_{6.г.р}(t, t + t_{о.ц})$ визначається імовірністю того, що у визначений наробіток від початку експлуатації t ракета, яка знаходиться у режимі підготовки до пуску буде працездатною $P_p(t)$ і надалі безвідмовно профункціонує в процесі обстрілу цілі (пуску, наведення та підриву бойової частини) $P_{р.о.ц}(t, t + t_{о.ц})$ можна визначити аналогічно через добуток:

$$K_{6.г.р}(t, t + t_{о.ц}) = P_p(t) P_{р.о.ц}(t, t + t_{о.ц}). \quad (16)$$

Імовірність безвідмовної роботи (справності) ракет одного j -го боєкомплекту на наробіток бортової апаратури, (за даними бортових сумок ракет) t від початку експлуатації кожної можливо оцінити за статистичними даними:

$$\hat{P}_{p,j}(t) = N_{p,j}(t) / N_{p,j}, \quad (17)$$

де $N_{p,j}(t)$ – кількість справних ракет у j -му боєкомплекті на наробіток t ;

$N_{p,j}$ – загальна кількість ракет у j -му боєкомплекті.

Імовірність безвідмовного функціонування ракети j -го боєкомплекту в процесі обстрілу цілі (пуску, наведення та підриву бойової частини) $P_{p.o.ц}(t, t + t_{o.ц})$ можливо визначити наступним чином

$$P_{p,j}(t, t + t_{o.ц}) = \exp \left\{ - \int_t^{t+t_{o.ц}} \lambda_{p.o.ц,j}(\tau) d\tau \right\}, \quad (18)$$

і при малому $t_{o.ц}$ імовірність безвідмовного обстрілу цілі однією ракетою:

$$\hat{P}_{p,j}(t, t + t_{o.ц}) \approx 1 - \hat{\lambda}_{p.o.ц,j} t_{o.ц}, \quad (19)$$

де $\lambda_{p.o.ц}(t)$ – інтенсивність відмов ракет j -го боєкомплекту в процесі обстрілу цілі (пуску, наведення та підриву бойової частини).

Статистична оцінка інтенсивності відмов ракет j -го боєкомплекту в процесі обстрілу цілі є відношення кількості несправних ракет $n_{pj}(t - \Delta t, t)$ до середньої кількості справних ракет за наробіток $(t - \Delta t, t)$ та тривалості інтервалу наробітку і становить

$$\hat{\lambda}_{p.o.ц,j}(t) = \frac{n_{pj}(t - \Delta t, t)}{\bar{N}_{pj} \Delta t}, \quad (20)$$

де $\bar{N}_{pj} = \frac{N_{pj}(t - \Delta t) + N_{pj}(t)}{2}$ – середня кількість справних ракет j -го боєкомплекту при їх пусках та наведенні за наробіток $(t - \Delta t, t)$.

Тому коефіцієнт надійності бойового використання ракети j -го боєкомплекту при бойовій стрільбі визначається наступним чином

$$\hat{K}_{б.в.p,j}(t, t + t_{o.ц}) = \hat{P}_{p,j}(t) \hat{P}_{p.o.ц,j}(t, t + t_{o.ц}) \quad (21)$$

і становить

$$\hat{K}_{б.в.p,j}(t, t + t_{o.ц}) = \frac{N_{pj}(t)}{N_{pj}} (1 - \hat{\lambda}_{p.o.ц,j} t_{o.ц}). \quad (22)$$

Висновки

Таким чином результатом роботи є розроблена комплексна методика оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет при їх застосуванні в ході проведення бойових стрільб зенітними ракетними підрозділами як при проведенні навчань так і у період ведення бойових дій.

Комплексна методика оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння складається з двох складових частин, а саме для мирного часу та воєнного часу. Оцінка коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння у воєнний час від мирного часу відрізняється тим, що при розрахунках враховано тривалість ведення протиповітряного бою.

Третьою складовою комплексної методики оцінювання коефіцієнта боєготовності наземних засобів систем зенітного озброєння та зенітних керованих ракет є саме методика визначення коефіцієнта боєготовності зенітних керованих ракет за результатами бойових стрільб (бойових дій).

Результатом третьої складової даної методики є розрахований коефіцієнт надійності бойового використання ракети j -го боєкомплекту при проведенні бойової стрільби.

Таким чином запропонована методика може бути застосована при проведенні розрахунків бойової ефективності підрозділів і військових частин як при самостійному веденні бойових дій підрозділами ЗРВ так і у складі угруповань ЗРВ. Дану методику можливо застосовувати в ході перевірки бойової готовності частин та підрозділів ЗРВ, а також при плануванні їх бойового застосування в процесі підготовки до ведення бойових дій.