

Б. О. Дем'янчук, О. В. Сухін, А. В. Косенко, О. П. Угольніков

ПРОГНОЗНІ ОЦІНКИ СИСТЕМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ ЗРАЗКІВ ОЗБРОЄННЯ

У статті обґрунтовано залежність ефективності забезпечення живучості зразків озброєння та військової техніки від рівнів інтенсивності протидії різноманітних факторів, які характеризуються можливостями технічних засобів протидії засобам розвідки і вогневого впливу противника, а також можливостями його сил і засобів. Саме наявність і своєчасне застосування можливостей та ресурсів сприятимуть збереженню функцій озброєння і відновленню його в разі пошкоджень. До цих факторів в узагальненому вигляді належать протидіючі впливи різних сучасних та перспективних засобів: з одного боку, розвідки і вогневого ураження наших сил противником; з іншого – маскуванню наявності техніки на позиції, пересування на марші та підготовки до функціонування наших зразків озброєння і техніки передусім шляхом створення та широкого практичного застосування широкосмугових радіопоглинальних матеріалів із потрібними властивостями поглинання енергії електромагнітного поля для зменшення їх помітності.

Обґрунтовано вимоги і можливості ефективного захисту озброєння та військової техніки за допомогою застосування саме широкосмугових композиційних полімерних феритових матеріалів, що поглинають енергію хвиль мікрохвильового та інфрачервоного діапазонів хвиль радіолокаційних засобів технічної розвідки та тепловізійних приладів.

Визначено: залежність показника збереження функцій озброєння, у разі застосування засобів радіолокаційного маскуванню, від дальності їх виявлення технічними засобами розвідки; залежність параметрів прогнозного тренда змін за часом показника відновлення зразків озброєння, у разі їх пошкодження противником, та довірчих інтервалів тренда на перспективному інтервалі часу їх бойового застосування.

Запропоновано також метод визначення оптимальних параметрів тренда процесу змін за часом показника оперативної готовності зразків озброєння та військової техніки, у разі їх відмов на критичному інтервалі часу експлуатації, що дозволяє встановлювати прогнозну величину показника готовності на заданий час його застосування та визначати, коли рівень цього показника готовності зразка озброєння стає незадовільним.

Ключові слова: озброєння та військова техніка; технічні засоби розвідки; оцінки результатів застосування радіопоглинальних матеріалів; прогнозні оцінки показників живучості та готовності; показник збереження функцій озброєння, показник відновлення зразка озброєння.

Постановка проблеми в загальному вигляді. Ефективність системи забезпечення живучості сучасних зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) залежить від інтенсивності протидії багатьох факторів в умовах сучасних бойових дій, передусім сукупності демаскувальних ознак, а саме, характеристик засобів зв'язку й управління; параметрів засобів розвідки та вогневого ураження озброєння противником.

© Б. О. Дем'янчук, О. В. Сухін, А. В. Косенко, О. П. Угольніков, 2022

Ефективний захист озброєння від технічних засобів розвідки і вогневої дії противника, а саме забезпечення живучості зразків озброєння під час виконання бойового завдання і вдень, і вночі, є принципово можливим передусім за умов їх надійного маскуванню з метою збереження функцій кожного зразка під час дії противника. Забезпечення живучості шляхом швидкого відновлення пошкоджених противником зразків, як правило, суттєво ускладнене на практиці через типові значні їх пошкодження високоточною зброєю, а також через непростий та тривалий процес відновлення протягом його типових етапів, які передбачають: технічну розвідку рівня і місць пошкодження, евакуацію зразків, їх ремонт та повернення у стрій.

Для запобігання дистанційного ураження зразків ОВТ вогневими засобами противника, тобто для надійного збереження функцій під час його дії, маскуванню за допомогою радіопоглинального покриття повинно бути передусім широкосмуговим за діапазоном електромагнітних хвиль, протирадіолокаційним і протиракетним, що не знижує маневреності озброєння.

Досвід військових конфліктів та наших досліджень показують, що радіопоглинальні засоби маскуванню для зниження радіолокаційної помітності ОВТ повинні мати коефіцієнт віддзеркалення хвиль у радіолокаційному та інфрачервоному діапазонах на рівні -20–30 дБ. Це відповідає послабленню потужності електромагнітного поля, що віддзеркалюється від зразка ОВТ у сторону розвідувальних засобів противника, у 100–1000 разів. При цьому згідно з рівнянням радіолокації дальність засобу розвідки зразка озброєння противником зменшується в 3,15–5,6 рази.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання живучості озброєння найбільш гостро постають під час використання противником високоточної зброї, після виявлення засобів ОВТ технічними засобами радіолокаційної та космічної розвідки.

Технічні рішення щодо підвищення показників живучості реалізуються як на етапах створення нових, перспективних типів, наприклад, бойових машин, так і під час проведення заходів модернізації наявного парку зразків озброєння.

У наукових статтях [1, 2] сформульовано напрямки підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин, які направлені на: оптимізацію компоновальних схем; впровадження засобів посилення протимінної стійкості; бронювання різних видів із використанням сучасних високоміцних матеріалів; підвищення мобільності та зменшення маси бойових броньованих машин. У [3–5] описано принципи формування перспективних типів бойових броньованих машин шляхом їх багатофакторного порівняння та запропоновано варіанти технічних рішень з метою підвищення живучості цих зразків.

У роботі [6] розроблено методику техніко-економічного порівняння альтернативних варіантів застосування пасивних засобів маскуванню від засобів розвідки в діапазонах електромагнітних хвиль різних частот електромагнітного поля. Метою є техніко-економічне порівняння відомих варіантів модернізації типового зразка військової техніки та вибір кращого з них за критерієм «ефективність – вартість».

Отже, зараз актуальності набуває питання оцінювання ефективності системи забезпечення живучості озброєння в широкому напрямку розробки, впровадження та застосування і матеріалів для маскуванню, і сил та засобів для відновлення озброєння й техніки, у разі їх пошкодження противником в умовах безкомпромісного протиборства.

Під час дії технічних засобів розвідки озброєння і вогневих засобів противника це сприятиме вирішенню завдання збільшення живучості озброєння і шляхом збереження функцій зразків ОВТ, і шляхом своєчасного відновлення пошкодженого озброєння. Цю актуальність підтверджує саме зараз досвід сучасної бойової протидії, а також прогноз перспективних напрямів розвитку засобів протидії.

Формулювання завдання дослідження. Метою дослідження є оцінка ефективності заходів для збільшення узагальненого показника живучості зразків ОВТ: по-перше, збереження функцій зразків під час впливу противника, тобто дій сил і засобів його розвідки та вогневого ураження за даними технічних засобів, шляхом створення і застосування передусім широкосмугових радіопоглинальних матеріалів; по-друге, шляхом прискореного відновлення зразків ОВТ, завдяки своєчасній підготовці та застосуванню сил і засобів технічної розвідки пошкоджених зразків, їх евакуації й засобів ремонту (за допомогою блочних комплектів) у польових умовах.

Виклад основного матеріалу

Визначення кількісного показника живучості ОВТ. Надійне маскування зразка озброєння від виявлення його за допомогою технічних засобів розвідки (ТЗР) противником в умовах сучасного бойового протиборства є принципово потрібним. Захист інформації про координати дислокації та напрям переміщення зразка в процесі виконання завдань за призначенням однозначно сприяє його живучості, тому що він є пріоритетною ціллю для противника під час вогневого ураження. Крім того, вирішення проблеми живучості зразків ОВТ шляхом швидкого та своєчасного їх відновлення, в разі пошкодження противником в умовах динаміки сучасного бою, є сумнівним, тому що час відновлення в польових умовах пошкодженого зразка ОВТ (навіть у разі пошкодження середнього ступеня) становитиме, мабуть, десять годин чи навіть добу.

Тому виникає необхідність удосконалювати не тільки методи, технологію і засоби для збереження функцій зразків ОВТ під час дії противника, але й удосконалювати методи, технологію і засоби для швидкого, своєчасного відновлення ОВТ протягом послідовного виконання його етапів: *технічної розвідки* пошкоджених зразків, *їх евакуації, ремонту, повернення у стрій*.

Кількісна оцінка узагальненого показника живучості зразка, а саме ймовірності $P_{жс}(t)$ перебування його в живучому стані в ході бойових дій, залежить передусім від ймовірності $P_{\phi}(t)$ збереження функцій ОВТ під час безпосередньої дії на нього засобів розвідки і вогневих засобів ураження, а також від ймовірності відновлення зразків у разі пошкодження їх противником.

Отже, ймовірність перебування ОВТ у живучому стані протягом часу бою доцільно надати у вигляді виразу

$$P_{жс}(t) = P_{\phi}(t) + [1 - P_{\phi}(t)] \cdot P_{\epsilon}(\Delta t \leq t_3), \quad (1)$$

де Δt – час, який є фактично потрібним для процесу відновлення, містить такі етапи: *технічна розвідка* пошкодженого зразка ОВТ; *його евакуація*; *ремонт*; *повернення у стрій*;

t_3 – відомий (середній) час, заданий (командиром, начальником) для відновлення зразка ОВТ у разі пошкодження його в бою.

Ця форма кількісного визначення узагальненого показника живучості зразка озброєння не суперечить формі, наданій у Військовому енциклопедичному словнику [7].

Згідно з формулою (1) в умовах звичайно великого інтервалу часу Δt , який є суттєво меншим заданого часу t_e саме через завжди низький рівень ймовірності $P_e (\Delta t \leq t_e)$, передусім у разі малого рівня ймовірності P_ϕ збереження функцій зразка під час його маскуванню завжди отримуватиме практично нульовий рівень ймовірності $P_{ж}$ перебування ОВТ у живучому стані в бойових умовах. Саме тому принципово потрібне надійне збереження функцій ОВТ у процесі їх застосування за призначенням під час дії технічних засобів технічної розвідки та вогневого ураження.

Визначення залежності показника забезпечення живучості зразків ОВТ від дальності їх виявлення в умовах застосування радіопоглинальних матеріалів. Оцінимо ефективність системи захисту зразків озброєння від пошкодження противником, а саме вплив захисту від ТЗР, зокрема в мікрохвильовому та ГЧ діапазоні хвиль [8–10].

Розробка, виробництво та техніко-економічне порівняння альтернативних варіантів сучасних радіопоглинальних матеріалів є принципово необхідними етапами їх упровадження до практичного застосування через суттєві фінансові витрати на ефективну реалізацію [11, 12].

Відома залежність дальності радіолокаційної розвідки типового зразка ОВТ від параметрів радіолокатора противника, за умов відсутності радіопоглинальних засобів захисту зразка від ТЗР противника, у такому вигляді:

$$v_0 = \left\{ \frac{G \cdot P \cdot \sigma_0 \cdot \lambda^2}{P_{пр.мін}} \right\}^{\frac{1}{4}}, \quad (2)$$

де G – коефіцієнт посилення антени локатора, що дорівнює, наприклад, $8 \cdot 10^4$;

P – потужність передавача радіолокатора, яка має величину $10 \cdot 10^4$ Вт;

$P_{пр.мін}$ – пороговий рівень чутливості приймача 10^{-9} Вт;

λ – довжина хвилі електромагнітного випромінювання радіолокатора $1 \cdot 10^{-1}$ м;

σ_0 – ефективна відбивальна поверхня зразка ОВТ, що дорівнює 50 м².

Згідно з формулою (2), в умовах відсутності маскуванню зразка ОВТ за допомогою радіопоглинальних матеріалів для зниження дальності розвідки його противником, отримаємо максимальну величину v_0 дальності виявлення його у вигляді

$$v_0 = \left\{ \frac{10^5 \cdot (10 \cdot 10^3) \cdot 50 \cdot 1^2}{10^{-10}} \right\} = 1,49 \cdot 10^5 \text{ м} = 149 \text{ км.}$$

Повторимо далі розрахунки, за умови, що обслуга зразка військової техніки має застосовувати заходи захисту цього зразка від ТЗР противника за допомогою чохла з композитним радіопоглинальним феритовим матеріалом для маскуванню техніки. Ці чохла є насиченими радіопоглинальним композитним матеріалом, який має полімерну (зокрема, термоеластопластову) основу, наповнену дисперсним, наприклад, ферит-

феритовим оксидом перехідних металів з молекулярною структурою шпінелі оберненого типу. Саме такий RAM має достатні поглинальні властивості, механічну міцність, еластичність та масову густину.

Коефіцієнт зменшення радіолокаційної помітності металевого зразка ОБТ, за умови насичення цього чохла композитом, залежно від різних варіантів насичення його тканини розчином термоеластопласту (у толуолі) з ферит-феритовим наповнювачем, може дорівнювати величинам $K = 10; 100; 1000$.

У цьому разі формула (2) набуває такого вигляду:

$$v_0 = \left\{ \frac{G \cdot P \cdot (\sigma_0 / K) \cdot \lambda^2}{P_{np.min}} \right\}^{\frac{1}{4}}. \quad (3)$$

Приклад 1

$$\begin{aligned} K = 10; \quad v(K = 10) &= 84,1 \text{ км}; \\ K = 100; \quad v(K = 100) &= 47,3 \text{ км}; \\ K = 1000; \quad v(K = 1000) &= 26,6 \text{ км} \end{aligned}$$

Із формул (2) та (3) випливає залежність коефіцієнта m зменшення дальності розвідки зразка ОБТ у вигляді

$$m(K) = \frac{v_0(K=1)}{v(K \geq 1)}. \quad (4)$$

Приклад 2

$$\begin{aligned} m(10) &= 149 / 84.1 = 1,8; \\ m(100) &= 149 / 47.3 = 3,2; \\ m(1000) &= 149 / 26.6 = 5,6. \end{aligned}$$

Далі доцільно оцінити ймовірність забезпечення живучості $P_{ж}$ за допомогою формули (1) з урахуванням впливу на цей показник засобів маскуванню згідно з (4).

За умови відсутності радіопоглинальних засобів зниження помітності зразка озброєння, ймовірність забезпечення живучості $P_{ж}$ (під час дії розвідки й вогневих засобів противника) суттєво зменшується.

Ця величина збереження функцій зразка озброєння P_{ϕ} у формулі (1) є близькою до нуля (наприклад, за $P_e = 0,17$, на практиці вона також мало відрізняється від 0,17 у разі пошкодження зразка і близької до нуля ймовірності відновлення). А за умови наявності засобів маскуванню, згідно з (3) і (4), маємо збільшення і показника збереження функцій, пропорційного коефіцієнту $m(K)$, і показника відновлення, а саме показника забезпечення живучості зразка озброєння відповідно до скорегованої формули

$$P_{жс} = P_{\phi o} m(K) + [1 - P_{\phi o} \cdot m(K)] \cdot P_{\epsilon} (\Delta t \leq t_{\epsilon}) m(K). \quad (5)$$

Дійсно, згідно з (4) і (5), маємо відповідні результати.

Приклад 3

$$\begin{aligned} P_{\phi} (K=1) &= 0,17; & P_{\epsilon} (K=1) &= 0,17; & P_{жс} (K=1) &= 0,31; \\ P_{\phi} (K=10) &= 0,17 \cdot 1,8 = 0,3; & P_{\epsilon} (K=10) &= 0,17 \cdot 1,8 = 0,3; & P_{жс} (K=10) &= 0,51; \\ P_{\phi} (K=100) &= 0,17 \cdot 3,2 = 0,54; & P_{\epsilon} (K=100) &= 0,17 \cdot 3,2 = 0,54; & P_{жс} (K=100) &= 0,79; \\ P_{\phi} (K=1000) &= 0,17 \cdot 5,6 = 0,95; & P_{\epsilon} (K=1000) &= 0,17 \cdot 5,6 = 0,95; & P_{жс} (K=1000) &= 0,99. \end{aligned}$$

З практичного досвіду випливає, що, за умов застосування феритових радіопоглинальних матеріалів, суттєвого зменшення їх коефіцієнта відбиття (у 1000 разів), тобто зменшення дальності розвідки ОБТ противником, імовірність відновлення зразків ОБТ за час, який не перевищує заданий, також збільшується. Цей результат досягається, мабуть, завдяки тому, що суттєво зменшуються можливості пошкодження зразків противником через суттєве скорочення обсягу простору, у межах якого противник здатний надійно пошкоджувати зразки ОБТ. Крім того, у цих умовах суттєво збільшується небезпека ураження саме розвідника.

Імовірність забезпечення живучості озброєння суттєво збільшується до рівня, що є близьким 0,99, відповідно до суттєвого нарощування якості радіопоглинальних матеріалів.

Технологія створення потрібних радіопоглинальних матеріалів ґрунтується на синтезі наповнювача (для полімерних композитів) у вигляді раніше вказаних оксидів перехідних металів з молекулярною структурою шпінелі оберненого типу, які мають високий рівень питомої електропровідності та високу магнітну проникність. Це сполучення є ефективним наповнювачем термостійкої полімерної основи. Кінцевий вигляд (форма застосування покриття) захисного радіопоглинального матеріалу завжди залежить від його конкретного призначення, умов й особливостей його практичного застосування.

У цілому вимоги, особливості технології створення, впровадження та практичне застосування цих покриттів металевої поверхні техніки або тканини для її маскування – це тема для подальших теоретичних і передусім експериментальних досліджень.

Далі доцільно розглянути залежність імовірності відновлення зразка ОБТ (у разі збільшення часу його бойового застосування), тобто оцінити інтенсивність зменшення другого доданка у формулі (1) для узагальненого показника живучості, від величини якого показник живучості зразка ОБТ, згідно з формулою (1), також суттєво залежить.

Визначення параметрів прогнозного тренда змін за часом показника відновлення зразків ОБТ та довірчих інтервалів тренда. Статистичне прогнозування можливостей та очікуваних результатів відновлення зразків ОБТ за часом, у разі їх пошкодження противником, доцільно базувати на ймовірнісній моделі деградації у вигляді опорного тренда, тобто на S-подібній кривій деградації. Вона є функцією часу, що зменшується під впливом протидіючих факторів та завжди доповнює логістичну криву розвитку до одиниці. Похідна цієї кривої $P(t)$ має простий вигляд [13]:

$$dP(t)/dt = \alpha \cdot P(t)[1 - P(t)], \alpha < 0, \quad (6)$$

де $P(t)$ – імовірність відновлення пошкодженого зразка озброєння за час, що дорівнює Δt , який не перевищує заданий t_3 ;

α – коефіцієнт пропорційності, який кількісно дорівнює різниці величин інтенсивності протидії факторів, що сприяють збільшенню ймовірності відновлення зразка, та факторів, які перешкоджають збільшенню ймовірності відновлення зразка у разі пошкоджень його противником.

Розв'язання диференційного рівняння (6) доцільно здійснювати з урахуванням початкових умов, наприклад, у вигляді $P(t=0) = P_0$.

Результат розв'язку цього диференційного рівняння (6) набуває такого вигляду:

$$P(t) = \left\{ 1 + (P_0^{-1} - 1) \exp[-\alpha t] \right\}^{-1}. \quad (7)$$

Саме цей варіант моделі опорного тренда доцільно використовувати далі для вирішення завдання прогнозування динаміки змін за часом показника відновлення, а саме, прогнозування оперативної (бойової) готовності зразка ОВТ до застосування протягом бою.

Залежність (7) доцільно використати далі як апроксимуючу (опорну) функцію часу, взявши декілька m дискретних дослідних значень показника $P_k = P(t_k)$, $\forall k = 1 \dots m$ готовності зразка ОВТ, які раніше дослідним шляхом були отримані експериментально у військовій частині за результатами відновлення зразків озброєння конкретного типу, з метою визначення його параметрів P_0^* та α^* прогнозовної залежності методом, наприклад, найменших квадратів.

Алгоритм визначення параметрів P_0^* та α^* залежності (7) прогнозного тренду динаміки змін показника у вигляді ймовірності відновлення ОВТ, тобто алгоритм побудови оптимального прогнозного тренда (7) та його довірчих інтервалів містить декілька етапів.

Спочатку доцільно визначити оцінки параметрів тренда та їх дисперсії. Розглянемо при цьому такі етапи.

1. Побудова суми квадратів відхилень дискретних величин P_k від $P(t_k)$ у вигляді цільової функції β , яку необхідно мінімізувати і яка повинна дорівнювати мінімальній її величині

$$\beta = \sum_{k=1}^m \left\{ P_k - \left[1 + (P_0^{-1} - 1) \exp(-\alpha t) \right]^{-1} \right\}^2 = \min. \quad (8)$$

2. Вирівнювання цільової функції β шляхом введення нової функції, що дорівнює

$$f(t) = \ln[P^{-1}(t) - 1]. \quad (9)$$

3. Лінеаризація цільової функції (8) шляхом підстановки в неї нової функції (9), у результаті чого отримаємо

$$\beta = \sum_{k=1}^m \left\{ P_k - \left[\ln(P_0^{-1} - 1) - \alpha t \right] \right\}^2 = \min. \quad (10)$$

4. Обчислення екстремуму (мінімуму) цільової функції (10) двох змінних шляхом визначення часткових похідних цієї функції за аргументами P_0 і α та прирівнювання їх до нуля. Далі доцільно отримати рівняння, що відповідають екстремуму цільової функції, у такому вигляді:

$$\frac{d\beta}{dP_0} \sum_{k=1}^m \left\{ P_k - \left[\ln\left((P_0^*)^{-1} - 1\right) - \alpha^* t_k \right] \right\}^2 = 0; \quad (11)$$

$$\frac{d\beta}{d\alpha} \sum_{k=1}^m \left\{ P_k - \left[\ln\left((P_0^*)^{-1} - 1\right) - \alpha^* t_k \right] \right\}^2 = 0.$$

5. Визначення із системи (11) оцінок P_0^* та α^* параметрів прогнозного тренда з урахуванням (9) і (10), які дорівнюють

$$P_0^* = \left\{ 1 + \exp \left[\frac{\sum_{k=1}^m f_k \sum_{k=1}^m t_k^2 - \sum_{k=1}^m t_k \sum_{k=1}^m f_k t_k}{m \sum_{k=1}^m t_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m t_k \right)^2} \right] \right\}^{-1}; \quad (12)$$

$$\alpha_0^* = \frac{\sum_{k=1}^m f_k \sum_{k=1}^m t_k - m \sum_{k=1}^m f_k t_k}{m \sum_{k=1}^m t_k^2 - \left(\sum_{k=1}^m t_k \right)^2}. \quad (13)$$

6. Отримання прогнозного тренда, який, згідно із (7), (11), (13), має такий загальний вигляд:

$$P(t, \Delta t \leq t_3) = \left\{ 1 + \left[(P_0^*)^{-1} - 1 \right] \exp \left[-\alpha^*(t) \right] \right\}^{-1}. \quad (14)$$

7. Визначення за формулою (14) ймовірностей $P_k = P(t_k)$, $\forall k = 1 \dots m$ з метою побудови (для перспективного інтервалу часу) за обмеженою сукупністю дослідних значень $P(t_k)$, $\forall k = 1, 2, \dots, m$ узагальненого показника відновлення зразка ОВТ.

8. Пошук дисперсії оцінок P_0^* та α^* параметрів тренда (14) шляхом підстановки оцінок (13), (14) у (8), у формулу мінімізованої суми квадратів відхилень дискретних даних прогнозного тренда (14) $P(P_0^*, \alpha^*, t_k)$ від дискретних даних опорної кривої. Ці дані (як опорної кривої $P(t_k)$, $\forall k = 1, 2, \dots, m$, так і прогновної кривої (14)) для обчислення

дисперсії σ^2 прогнозних результатів за загальною формулою необхідно брати лише на ретроспективному інтервалі часу:

$$\sigma^2 = \sum_{k=1}^m \left\{ P_k - \left[1 + (P_0^{-1} - 1) \exp(-\alpha t_k) \right]^{-1} \right\}^2 / (m-1). \quad (15)$$

Зрозуміло, що величини цієї дисперсії однозначно зменшуються і шляхом збільшення інтервалу дослідного спостереження дискретних величин обраного показника пошкоджених зразків ОБТ, і шляхом збільшення точності його вимірювань, а також точності визначення відхилень дискретних величин показника від опорної кривої для прогнозування та параметрів опорної кривої на етапі спостережень.

Варто врахувати, що дисперсії σ_p^2 і σ_α^2 окремого оцінювання P_0^* та α^* за допомогою рівнянь (15) є сумірними та пов'язані із загальним рівнем дисперсії. Помилки прогнозування доцільно характеризувати однаковими середньоквадратичними величинами:

$$\sigma^2 = \sigma_p^2 + \sigma_\alpha^2 = 0,5\sigma^2 + 0,5\sigma^2; \quad \sigma_p = \sigma / \sqrt{2}; \quad \sigma_\alpha = \sigma / \sqrt{2}. \quad (16)$$

9. Далі здійснюють побудову оптимального прогнозного тренда (14) і його довірчих інтервалів шляхом використання цього тренда, за умов різних рівнів оптимальних оцінок його параметрів і сумірних помилок їх оцінювання згідно з (16).

Визначення довірчих інтервалів прогнозного тренда змін за часом показника відновлення зразка ОБТ. Розв'язати задачу доцільно з урахуванням рівня дисперсії (16) оцінок параметрів прогновної функції (14) і зменшення за часом цього показника у вигляді ймовірності відновлення зразків.

Величини помилок (16) оцінювання параметрів прогнозного тренда (1) повністю впливають на ширину смуги довірчих інтервалів отриманих результатів прогнозування змін показника відновлення зразка ОБТ за часом його застосування за призначенням.

Довірчу смугу рівня зазначеного показника технічного стану зразка в конкретні моменти часу доцільно побудувати шляхом визначення трьох трендів: середнього та двох довірчих меж.

Побудова при цьому здійснюється за допомогою двох параметрів тренда $P_0 = P_0^*$; $\alpha = \alpha^*$ і трьох середньоквадратичних значень помилок оцінювання в такому вигляді:

$$P_0 = P_0^*; \quad \alpha = \alpha^*; \quad P_0 = P_0^* + 3\sigma_p; \quad \alpha^* - 3\sigma_\alpha; \quad P_0 = P_0^* - 3\sigma_p; \quad \alpha^* + 3\sigma_\alpha. \quad (17)$$

Умови (17) для побудови довірчої смуги з метою отримання смуги максимальної ширини, тобто одержання гарантованого результату прогнозу динаміки змін за часом показника відновлення зразка ОБТ.

Результати прогнозування і побудови довірчих інтервалів цього показника наведено на рис. 1.

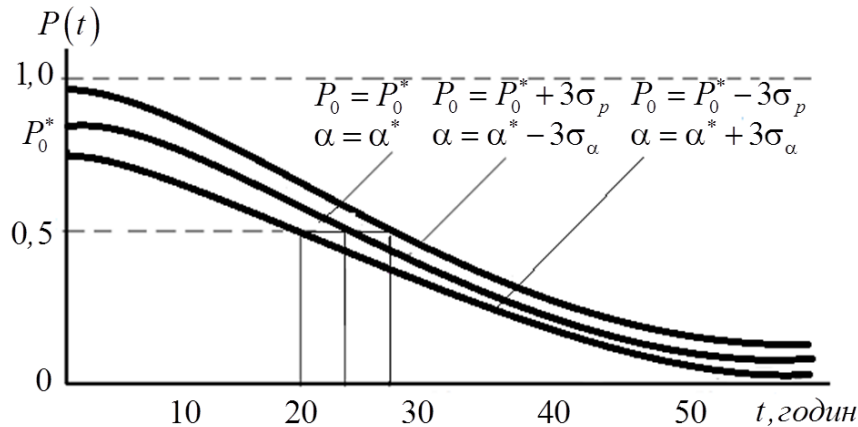


Рис. 1. Результати прогнозування тренда і побудова довірчих інтервалів показника відновлення зразка ОБТ за час, який не перевищує заданий, протягом його бойового застосування

Визначення живучості зразків озброєння з урахуванням застосування радіопоглинальних матеріалів та засобів відновлення у разі пошкодження зразка ОБТ. Згідно з формулою (5), отриманою для визначення показника живучості озброєння, за умов збереження функцій озброєння та відновлення його в разі пошкодження, відповідно до формули (14) доцільно визначити узагальнену залежність у такому вигляді:

$$P_{жс}(t) = P_{фо}(t) \cdot m(K) + [1 - P_{фо}(t) \cdot m(K)] \cdot P(t, \Delta t \leq t_e) m(K), \quad (18)$$

де $P(t, \Delta t \leq t_e) = \left\{ 1 + \left[(P_0^*)^{-1} - 1 \right] \exp[-\alpha^*(t)] \right\}^{-1}$.

Висновки. Отримані результати розробки методики дослідження для прогнозування динаміки змін показника живучості зразків ОБТ протягом часу їх бойового застосування дають підстави для таких висновків.

1. Негативні фактори, що заважають збереженню функцій і швидкому відновленню зразків ОБТ, найбільш суттєво впливають протягом їх бойового застосування на динаміку змін оперативної готовності на потрібному рівні.

2. Збереження функцій живучості ОБТ та швидке відновлення зразків, у разі їх пошкодження, є принципово необхідним.

3. Методика визначення оптимальних параметрів тренда процесу змін за часом показника оперативної готовності ОБТ шляхом швидкого відновлення протягом бойових дій дозволяє обчислити прогнозну величину цього показника на заданий час його застосування. Окрім того, це дозволяє встановити час, коли рівень цього показника готовності зразка ОБТ стає незадовільним. Саме ця прогнозна інформація є потрібною для планування й організації адекватних заходів для надійного захисту зразка ОБТ шляхом своєчасного забезпечення його живучості.

4. Отримання оцінок оптимальних прогнозних параметрів динаміки змін (за часом бойового застосування) показника живучості конкретного зразка ОБТ є достатньо громіздкою процедурою, тому виникає необхідність здійснювати це за допомогою

комп'ютерного програмного продукту. В умовах, коли кількість зразків у військовій частині досягає сотень одиниць, програмне забезпечення є, безумовно, корисним.

5. Окрім запропонованих пасивних засобів захисту ОВТ від технічних засобів розвідки противника, не менш важливим і принципово необхідним є здійснення додаткових ефективних заходів збереження маневреності, швидкості та прохідності зразків ОВТ.

Отже, застосування всіх розглянутих засобів для узгодженого збереження функцій зразків ОВТ під час дії противника та для своєчасного відновлення, наприклад, їх базових шасі в сучасних умовах, є безумовно актуальним.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Зеленюх О. М., Тимко А. Ю., Пинчук М. В. Обґрунтування напрямків підвищення технічних характеристик бойових броньованих машин // Системи управління, навігації та зв'язку. 2020. № 1 (59). С. 50–53.
2. Купріненко О. М. Обґрунтування принципів формування перспективних типів бойових броньованих машин // Системи озброєння і військова техніка. 2012. № 4 (32). С. 40–46.
3. Ковба В. Б., Рій В. Б. Обґрунтування технічних рішень щодо підвищення живучості автомобільної техніки Збройних Сил України // Системи управління, навігації та зв'язку. 2020. № 1 (59). С. 54–58.
4. Бісик С. П., Купріненко О. М., Корбач В. Г. Оцінка протимінної стійкості легкої бойової колісної машини // Вісник НТУ "ХПІ". 2015. № 31. С. 11–20.
5. Львова Л. А. Радиолокационная заметность летательных аппаратов : монографія. Снежинск : РФЯЦ-ВНИИТФ, 2003. 232 с.
6. Косенко А. В., Дем'янчук Б. О., Гончарук А. А., Артабаев Ю. З. Техніко-економічне порівняння варіантів маскування бойової броньованої машини для підвищення її живучості при використанні противником засобів технічної розвідки // Озброєння та військова техніка. 2020. № 4 (28). С. 83–98.
7. Советская военная энциклопедия [в 8 томах]. Т. III / Министерство обороны СССР. Москва, 1977. С. 333–334.
8. Особенности боевого применения высокоточных средств поражения и способы повышения эффективности борьбы с ними : учеб. / Под ред. Ю. Н. Черного. Минск : 1034 ЦВИИИ, 2008. 102 с.
9. Физические основы диапазонных технологий типа «Стелс» / Науч. ред. С. А. Масалов и др. Санкт-Петербург : ВИКИ им. А. Ф. Можайского, 1999. 250 с.
10. Сотников А. М., Сидоренко Р. Г. Оценка отражающих свойств наземных и воздушных объектов с пассивной защитой на основе композитных радиоизотопных покрытий // Системи управління, навігації та зв'язку. 2009. № 1 (9). С. 70–74.
11. Дем'янчук Б. О. Матеріали-перетворювачі електромагнітної енергії в теплову. Вимоги. Основи технології // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. 2006. № 5. С. 31–35.
12. Дем'янчук Б. О. Метод корекції хвильових опорів модифікованих радіозахисних композитів з гетерогенними наповнювачами // Зб. наук. праць Військ. ін.-ту Київськ. нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. 2011. № 31. С. 39–45.

13. Дем'янчук Б. О. Озброєння і техніка: теорія оновлення та удосконалення: підр. Одеса : Військова академія, 2020. 290 с.

Стаття надійшла до редакції 06.07.2022.

REFERENCES

1. Zeleniukh, O. M., Tymko, A. Yu., & Pynchuk, M. V. (2020). Obgruntuvannia napriamkiv pidvyshchennia tekhnichnykh kharakterystyk boiovykh bronovanykh mashyn [Justification of directions for improving the technical characteristics of combat armored vehicles]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku [Control, navigation and communication systems]*, 1 (59), 50–53 [in Ukrainian].
2. Kuprinenko, O. M. (2012). Obgruntuvannia pryntsyypiv formuvannia perspektyvnykh typiv boiovykh bronovanykh mashyn [Justification of the principles of formation of prospective types of combat armored vehicles]. *Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika [Weapon systems and military equipment]*, 4 (32), 40–46 [in Ukrainian].
3. Kovba, V. B., & Rii, V. B. (2020). Obgruntuvannia tekhnichnykh rishen shchodo pidvyshchennia zhyvuchosti avtomobilnoi tekhniki Zbroinykh Syl Ukrainy [Justification of technical solutions to increase the survivability of the automotive equipment of the Armed Forces of Ukraine]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku [Control, navigation and communication systems]*, 1 (59), 54–58 [in Ukrainian].
4. Bisyk, S. P., Kuprinenko, O. M., & Korbach, V. H. (2015). Otsinka protymynnoi stiikosti lehkoi boiovoi kolisnoi mashyny [Assessment of anti-mine resistance of a light combat wheeled vehicle]. *Visnyk NTU "KhPI" [Bulletin of NTU "KhPI"]*, 31, 11–20 [in Ukrainian].
5. L'vova, L. A. (2003). *Radiolokatsionnaia zametnost' letatel'nykh apparatov [Radar visibility of aircraft]*. Snezhinsk [in Russian].
6. Kosenko, A. V., Dem'ianchuk, B. O., Honcharuk, A. A., & Artabaev, Yu. Z. (2020). Tekhniko-ekonomichne porivniannia variantiv maskuvannia boiovoi bronovanoi mashyny dlia pidvyshchennia yii zhyvuchosti pry vykorystanni protyvnykom zasobiv tekhnichnoi rozvidky [Technical and economic comparison of options for camouflaging an armored combat vehicle to increase its survivability when the enemy uses technical intelligence]. *Ozbroiennia ta viiskova tekhnika [Armament and military equipment]*, 4 (28), 83–98 [in Ukrainian].
7. *Sovetskaia voennaia entsiklopediia [Soviet military encyclopedia]*. (1977). (Vols. 1–8; Vol. 3). Moscow [in Russian].
8. Chernyi, Iu. N. (Eds.). (2008). *Osobennosti boevogo primeneniia vysokotochnykh sredstv porazheniia i sposoby povysheniia effektivnosti bor'by s nimi [Features of the combat use of high-precision weapons and ways to increase the effectiveness of combating them]*. Minsk [in Russian].
9. Masalov, S. A. et al. (Eds.). (1999). *Fizicheskie osnovy diapazonnykh tekhnologii tipa «Stels» [Physical basis of range technologies such as "Stealth"]*. Saint Petersburg [in Russian].
10. Sotnikov, A. M., & Sidorenko, R. G. (2009). Otsenka otrazhaiushchikh svoistv nazemnykh i vozdushnykh ob'ektov s passivnoi zashchitoy na osnove kompozitnykh radioizotopnykh pokritii [Evaluation of the reflective properties of ground and air objects with passive protection based on composite radioisotope coatings]. *Systemy upravlinnia, navihatsii ta zv'iazku [Control, navigation and communication systems]*, 1 (9), 70–74 [in Russian].

11. Dem'ianchuk, B. O. (2006). Materialy-peretvoriuvachi elektromahnitnoi enerhii v teplovu. Vymohy. Osnovy tekhnolohii [Materials that convert electromagnetic energy into thermal energy. Requirements. Basics of technology]. *Tekhnologiiia i konstruirovaniie v elektronnoi apparature [Technology and design in electronic equipment]*, 5, 31–35 [in Ukrainian].
12. Dem'ianchuk, B. O. (2011). Metod korektsii khvylevykh oporiv modyfikovanykh radiozakhysnykh kompozytiv z heterohennymy napovniuvachamy [The method of correction of wave resistances of modified radio-shielding composites with heterogeneous fillers]. *Zb. nauk. prats Viisk. in.-tu Kyivsk. nats. un-tu im. Tarasa Shevchenka [Collection of scientific works of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University]*, 31, 39–45 [in Ukrainian].
13. Dem'ianchuk, B. O. (2020). *Ozbroiennia i tekhnika: teoriia onovlennia ta udoskonalennia [Armament and equipment: the theory of renewal and improvement]*. Odesa [in Ukrainian].

B. O. Demianchuk, O. V. Suhin, A. V. Kosenko, O. P. Ugol'nikov

PREDICTIVE ESTIMATES OF SYSTEM SURVIVABILITY OF WEAPONS

The article substantiates the dependence of the effectiveness of ensuring the survivability of weapons and military equipment on the levels of intensity of countermeasures against various factors, which are characterized by the capabilities of technical means of countermeasures against the enemy's intelligence and firepower and the capabilities of his forces and means. It is the presence and timely use of opportunities and resources that will contribute to the preservation of the functions of the weapon and its restoration in case of damage. These factors in a generalized form include the counteracting effects of various modern and promising means: on the one hand, reconnaissance and enemy fire; on the other - masking of military equipment in position, movement on the march and preparation for the functioning of weapons and equipment, first of all, through the creation and wide practical application of broadband radio absorbing materials with the necessary properties of absorbing the energy of the electromagnetic field to reduce their visibility.

The requirements and possibilities of effective protection of weapons and military equipment using broadband composite polymer ferrite materials that absorb the energy of waves in the microwave and infrared wave ranges of technical intelligence radar and thermal imaging devices are substantiated.

It was determined: the dependence of the index of preservation of weapons functions, in the case of the use of radar masking means, on the range of their detection by technical means of intelligence; dependence of the parameters of the forecast trend of changes over time of the indicator of the recovery of weapons samples, in case of their damage by the enemy, and the confidence intervals of the trend on the prospective time interval of their combat use.

A method of determining the optimal parameters of the trend of the process of changes over time of the indicator of operational readiness of weapons and military equipment in the event of their failure at a critical time interval of their operation is also proposed, which allows to determine the predictive value of the indicator of readiness for a given time of its application and to determine when the level of this indicator readiness of the weapon sample becomes unsatisfactory.

Keywords: *weapons and military equipment; technical means of intelligence; evaluation of the results of the use of radio absorbing materials; predictive assessments of survivability and readiness indicators; indicator of preservation of weapons functions, indicator of restoration of a sample of weapons.*