

УДК 623.438.334

**МАТУЗКО Б.П., О.І. СИВАК О.І., ХАУСТОВ Д.Є., ЧОРНИЙ М.В.,
ХАМУЛА В.В.**, Львівський інститут Сухопутних військ Національного
університету «Львівська політехніка»

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ПРИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТАНКІВ

Для предоставления завершенности работам по модернизации современных танков возникает необходимость проведения сравнительного оценивания существующих и модернизированных танков или определения целесообразности внедрения нескольких технических решений при совершенствовании их систем. Решение задачи сравнительного оценивания существующих и модернизированных танков может достигаться применением метода, который базируется на определении общего критерия эффективности танков и обеспечивает получение сравнимых результатов.

Постановка проблеми й аналіз публікацій. За умов, що склалися на сьогоднішній день у військовій сфері, особливого значення набуває розв'язання питань модернізації існуючого та розробки перспективного озброєння, в тому числі і танків. Серед різноманітних застосовуваних підходів до модернізації сучасних танків перспективним на думку як вітчизняних, так і іноземних фахівців є напрямок, який ґрунтується на вдосконаленні окремих систем танків. При цьому для надання завершеності роботам з модернізації виникає необхідність проведення порівняльного оцінювання існуючих (типових) і модернізованих (розроблюваних) танків або визначення доцільності впровадження тих чи інших технічних рішень з удосконалення систем танків. Існуючі методи порівняльного оцінювання зразків озброєння, що ґрунтуються на обчисленні загального показника ефективності [1,2], аналізі ієрархій [3], обчисленні узагальнених показників, наприклад, «ефективність-вартість» [1,3], застосуванні додаткових критеріїв за різних умов застосування порівнюваних зразків [4], на жаль не є універсальними і застосовуються індивідуально для кожного окремого випадку. На цьому фоні, вдосконалення існуючих методів апріорного оцінювання зразків озброєння, в тому числі і танків, є безумовно актуальною задачею.

Метою роботи є вирішення задачі порівняльного оцінювання існуючих і модернізованих танків за допомогою застосування методу, який базується на визначенні загального критерію ефективності танків і забезпечує отримання порівнянних результатів. Далі під ефективністю будемо розуміти об'єктивну властивість цілеспрямованого процесу функціонування танка, яка характеризує його пристосованість до вирішення поставлених, відповідно до цільового призначення, завдань.

Основна частина дослідження. Для танків показниками, які дозволяють оцінити рівень успішності їх застосування та якість дій членів екіпажу, є ймовірність $P_{ур}$ ураження цілі (показник результативності), витрати боєприпасів на ураження цілі N (показник ресурсомісткості) та середній час до ураження цілі $T_{ур}$ (показник оперативності). Отже, ефективність бойового застосування танків може описуватися виразом:

$$X_{\langle 3 \rangle} = \langle P_{УР}, N, T_{УР} \rangle. \quad (1)$$

Основним призначенням складових частин танка, є: по-перше – забезпечення високої точності стрільби з ходу за рахунок зменшення помилок наведення; по-друге – підготовка пострілу за мінімальних витрат часу. Тому, для танків показниками, які дозволяють оцінити вплив на результати стрільби якості і ступеня їх досконалості, а, також, рівня майстерності членів екіпажу, є: $P_{ВЛ}$ – ймовірність влучення в ціль та $T_{ВЛ}$ – час, витрачений при стрільбі до влучення в ціль. Це пояснюється і тим, що випробування порівнюваних танків за витратами боєприпасів здійснити неможливо [5]. Отже, ефективність танка описується вектором на площині двох параметрів $P_{ВЛ}$ – $T_{ВЛ}$:

$$X_{\langle 2 \rangle} = \langle P_{ВЛ}, T_{ВЛ} \rangle. \quad (2)$$

Між вказаними показниками існує певна аналітична залежність [5]:

$$T_{ВЛ} = t_1 + \left(\frac{1}{P_{ВЛ}} - 1 \right) (t_2 + t_{П}) + t_{П}, \quad (3)$$

де t_1 – час підготовки першого пострілу, с;

t_2 – час підготовки кожного наступного пострілу, с;

$t_{П}$ – час польоту снаряда до цілі, с.

Оцінювання ефективності танків за сукупністю імовірнісних і часових показників достатньо повно може здійснюватися за витратами часу до влучення в ціль, які характеризують здатність танка упередити противника у відкритті вогню і дозволяють визначити внесок різних систем і членів екіпажу як до підвищення точності стрільби, так і до скорочення витрат часу на підготовку пострілу з танка.

При стрільбі час $T_{ВЛ}$ повністю характеризує успішність функціонування танка, є найбільш чутливим до зміни його параметрів і вдовольняє всім вимогам до критерію ефективності.

Виходячи з викладених міркувань, загальним показником ефективності танка, який має виразний фізичний смисл, є чутливим до зміни факторів і умов виконання завдань, відображає сутність процесу функціонування танка і дозволяє оцінити внесок до ефективності танка його окремих ланок, в тому числі і членів екіпажу, доцільно прийняти середній час до влучення в ціль.

Недоліком наведеного методу може бути те, що при рівності або несуттєвій різниці значень критерію $T_{ВЛ}$ дослідник опиняється перед складною дилемою – котрому з танків віддати перевагу. Для розв’язання задач такого типу останнім часом широко використовується критерій «ефективність/вартість», який нажалі не є універсальним і в деяких випадках може бути причиною складення хибної уяви про перевагу того чи іншого танка.

Танки, як і будь-які складні системи, крім показників ефективності, мають й інші показники, які характеризують їх властивості: масу, надійність, вартість, тощо.

Тому, на думку авторів, метод оцінювання танка на основі визначення загального критерію ефективності – середнього часу до влучення в ціль необхідно

доповнити іншим методом, який дозволить розставити танки відповідно до ієрархії «технічного прогресу» в залежності від сукупності їх властивостей.

Таким методом можна вважати визначення технічного рівня танка за математичною залежністю, отриманою в результаті обробки статистичних часткових показників властивостей танків методом кореляційно-регресійного аналізу [6]. Критерієм технічного рівня у цьому випадку може служити економічна доцільність – вартість танка B за заданих властивостей:

$$B = F[A_1, A_2, \dots, A_n], \quad (4)$$

де A_1, A_2, \dots, A_n – незалежні змінні (показники часткових властивостей танка).

Використання даного критерію дозволить визначити економічні витрати при зміні будь-якої з властивостей танка.

У математичній статистиці [7] зв'язок між досліджуваним фактором і незалежними змінними визначається рівнянням множинної регресії. Завдання прогнозування витрат з використанням регресійної моделі зводиться до вибору виду залежності витрат від факторів, які на них впливають.

Припустимо, що показник технічного рівня танка описується рівнянням множинної регресії наступного виду:

$$B = b_1 + b_2 A_1 + b_3 A_2 + \dots + b_{n+1} A_n, \quad (5)$$

де b_1 – вільний член рівняння;

$b_2 \dots b_{n+1}$ – коефіцієнти незалежних показників властивостей танка.

Для вирішення рівняння (5) необхідно визначити вільний член і коефіцієнти незалежних змінних. В результаті обчислення коефіцієнтів парної кореляції між незалежними показниками властивостей танка, які враховуються, отримуємо систему нормальних рівнянь у стандартизованому масштабі:

$$\left. \begin{aligned} r_{BA_1} &= \beta_2 + r_{A_1 A_2} \beta_3 + \dots + r_{A_1 A_n} \beta_{n+1}; \\ r_{BA_2} &= r_{A_1 A_2} \beta_2 + \beta_3 + \dots + r_{A_2 A_n} \beta_{n+1}; \\ &\dots \\ r_{BA_n} &= r_{A_1 A_n} \beta_2 + r_{A_2 A_n} \beta_3 + \dots + \beta_{n+1}, \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

де $\beta_2 = b_2 \frac{\sigma_{A_1}}{\sigma_B}$, $\beta_3 = b_3 \frac{\sigma_{A_2}}{\sigma_B}$, ..., $\beta_{n+1} = b_{n+1} \frac{\sigma_{A_n}}{\sigma_B}$ – масштабні коефіцієнти;

$$\sigma_{A_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_i - m_{A_1})^2}{n}}, \dots, \sigma_{A_n} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (A_{ni} - m_{A_n})^2}{n}},$$

$$\sigma_B = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_i - m_B)^2}{n}} \text{ – середньоквад- ратичні відхилення показників властивостей};$$

$m_{A1}, m_{A2}, \dots, m_{An}, m_B$ – середньоарифметичні значення показників властивостей;
 n – кількість аналогів розроблюваного (модернізованого) танка;

$$r_{BA_1} = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - m_B)(A_{1i} - m_{A_1})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - m_B)^2 (A_{1i} - m_{A_1})^2}}, \dots, r_{BA_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (B_i - m_B)(A_{ni} - m_{A_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i - m_B)^2 (A_{ni} - m_{A_n})^2}},$$

$$r_{A_1 A_2} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{1i} - m_{A_1})(A_{2i} - m_{A_2})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_{1i} - m_{A_1})^2 (A_{2i} - m_{A_2})^2}}, \dots,$$

$$r_{A_{n-1} A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n (A_{(n-1)i} - m_{A_{n-1}})(A_{ni} - m_{A_n})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_{(n-1)i} - m_{A_{n-1}})^2 (A_{ni} - m_{A_n})^2}} \text{ – коефіцієнти парної кореляції між}$$

показниками властивостей танка, які враховуються, вирішення якої дозволить визначити коефіцієнти $\beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{n+1}$ і b_2, b_3, \dots, b_{n+1} .

Коректність застосування статистичного методу характеризується коефіцієнтом варіації для кожного із часткових показників, які враховуються:

$$v_k = \frac{\sigma_k}{m_k} \cdot 100\%, \quad (7)$$

де m_k, σ_k – математичне очікування і середньоквадратичне відхилення k -го показника властивості.

Вважається, що метод є коректним, якщо $v \leq 15\%$ [6].

Ступінь зв'язку між врахованими факторами характеризується коефіцієнтом множинної кореляції:

$$R = \sqrt{r_{BA1}\beta_2 + r_{BA2}\beta_3 + \dots + r_{BA_n}\beta_{n+1}}. \quad (8)$$

Вільний член b_1 знайдемо з рівняння множинної регресії (5):

$$b_1 = m_B - b_2 m_{A_1} - b_3 m_{A_2} - \dots - b_{n+1} m_{A_n} \quad (9)$$

Підставляючи значення b_1, b_2, \dots, b_{n+1} до рівняння (5), отримаємо розрахункову формулу для оцінки технічного рівня розроблюваних (модернізованих) танків.

На основі аналізу властивостей танків приходимо до висновку, що основними незалежними показниками їх властивостей доцільно вважати масу m , ймовірність безвідмовної роботи P_T , точність системи стабілізації $\sigma_{СТО}$.

Залежним показником технічного рівня танка приймемо вартість їх виготовлення B . Тоді система нормальних рівнянь (6) прийме вид:

$$\left. \begin{aligned} r_{mB} &= \beta_2 + r_{mP_T} \beta_3 + r_{m\sigma_{СТО}} \beta_4; \\ r_{P_TB} &= r_{P_T m} \beta_2 + \beta_3 + r_{P_T \sigma_{СТО}} \beta_4; \\ r_{\sigma_{СТО}B} &= r_{\sigma_{СТО} m} \beta_2 + r_{\sigma_{СТО} P_T} \beta_3 + \beta_4. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Аналіз чисельних значень показників $m, P_T, \sigma_{СТО}$ для танків Т-64, Т-72, Т-80 та їх модифікацій показує, що коефіцієнти варіації кожного з показників не перевищують 14%, що вказує на допустимість застосування статистичних методів. При обчисленні показників порівнюваних танків необхідно приймати, що вони працюють за однакових умов, тобто встановлюються на одному об'єкті, умови руху і параметри об'єктів регулювання – однакові.

Значення коефіцієнта множинної кореляції складає 0,97, що вказує на тісний зв'язок між факторами, які враховуються, і підкреслює правильність вибору основних властивостей танка.

В результаті обчислень, виконаних згідно викладеній методиці, отримано алгоритм для визначення технічного рівня танка:

$$B = 493771 + 389 m + 999239 P_T - 546461 \sigma_{СТО}. \quad (11)$$

Застосування алгоритмів (3) і (11) до танків, які модернізуються, дозволяє визначити значення показників $T_{ВЛ}$ і B для кожного із танків та їх відносну зміну у порівнянні з типовим танком:

$$\Delta T_{ВЛ} = \frac{|T_{ВЛ_B} - T_{ВЛ_T}|}{T_{ВЛ_T}} \cdot 100\%, \quad (12)$$

$$\Delta B = \frac{|B_B - B_T|}{B_T} \cdot 100\%, \quad (13)$$

де $T_{ВЛВ}$, V_B ($T_{ВЛТ}$, V_T) – комплексні показники модернізованого (типового) танка.

Визначення доцільності технічних рішень з модернізації танків проводиться при сумісному розгляді обчислених значень $\Delta T_{ВЛ}$ і ΔB для кожного з порівнюваних танків, що дозволяє отримати порівнянні результати для різних варіантів модернізованих танків і зіставити їх з аналогами, які є на озброєнні.

Аналіз отриманих даних (рис. 1) дозволить зробити висновок про доцільність модернізації серійного танка шляхом впровадження конкретних технічних рішень.

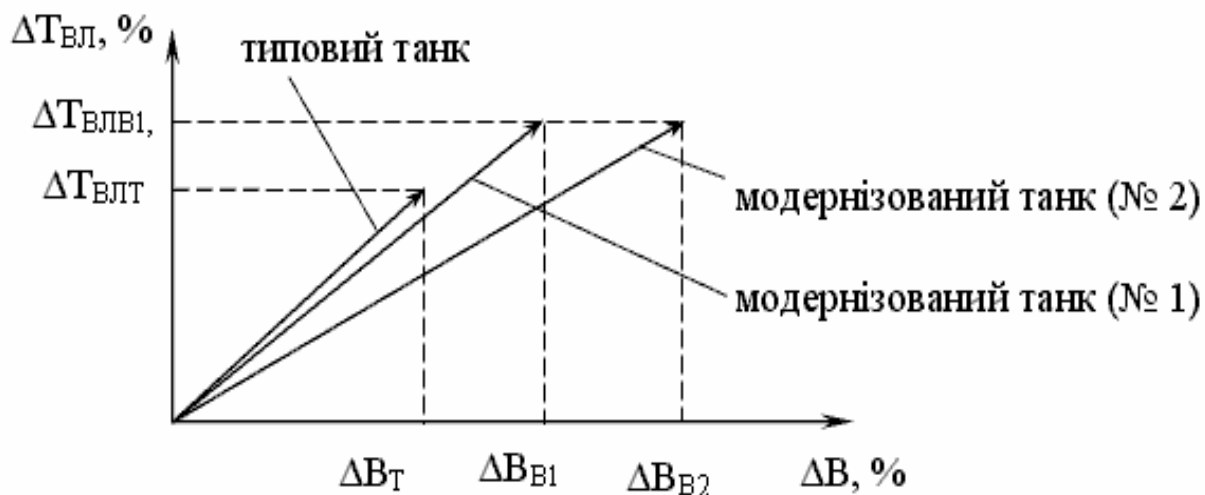


Рис. 1. Приклад визначення доцільності технічних рішень з модернізації типового танка

Висновок. Запропонований підхід до оцінювання технічного рівня танків дозволяє визначити перевагу того чи іншого танка, підвищує обґрунтованість рішень, що приймаються в ході їх модернізації, і може бути застосований до будь-якого зразка озброєння, який має достатню для аналізу кількість аналогів.

Список літератури 1. Чобіток В.О., Данков Є.В., Ткач О.Й. Про доцільність застосування деяких критеріїв і методик оцінки бойової ефективності танків /Науково-технічний збірник/ - К.: КІСВ, 1996. – С. 55-59. 2. Рязанцев Н.В., Килин І.А. Об оценении эффективности функционирования технических систем //Вісник Сумського державного університету, 2000. – № 16. – С. 36-42. 3. Вдовиченко С.І., Канєвський І.М., Троцько В.В. Застосування методу аналізу ієрархій для оцінки рівня якості зразків озброєння та військової техніки /Науково-технічний збірник/ - К.: КІСВ, 1996. – С. 32-34. 4. Ильичев А.В., Волков В.Д., Грущанский В.А. Эффективность проектируемых элементов сложных систем. – М.: Высшая школа, 1982. – 280 с. 5. Электроника и автоматика вооружения бронетанковой техники. – М.: ВА БТВ, 1986. – 281с. 6. Аблесимов А.К., Баркалов В.С., Татаринцев В.С. Проектирование автоматических систем управления вооружением. – К.: КВТИУ, 1983. – 62 с. 7. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.