

О. А. Макогон, С. М. Губа, С. І. Машенко, О. М. Горбов, О. В. Мартиненко, І. О. Ковальов
Військовий інститут танкових військ НТУ “ХПІ”, Харків, Україна

ВИБУДОВУВАННЯ ЧАСОВОЇ ПРЯМОЇ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ЗРАЗКА ТАНКА Т-64Б ТА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ПЕРІОДИЧНОСТІ ЙОГО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Анотація. Предметом вивчення в статті є життєвий цикл зразка танка Т-64Б. Метою дослідження є визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування зразка танка Т-64Б, його складальних одиниць та систем. **Задачі:** визначити закон надійності та аналітичні залежності між ймовірністю безвідмовної роботи та інтенсивністю відмов окремих складальних одиниць та систем танків Т-64Б; проаналізувати середнє напрацювання на відмову окремих складальних одиниць та систем танків Т-64Б, які експлуатувалися в навчально-бойовій групі у період від нормальної експлуатації до старіння і капітального ремонту; провести коригування термінів чергового технічного обслуговування; вибудувати часову пряму життєвого циклу зразка Т-64Б на основі оптимізації циклу технічного обслуговування і ремонту. Методологічною основою дослідження стали загальнонаукові та спеціальні методи наукового пізнання. Отримані такі **результати.** Були досліджені статистичні дані наробітки на відмову складальних одиниць та систем танків Т-64Б, які експлуатувалися в навчально-бойовій групі у період від нормальної експлуатації до капітального ремонту. За результатами дослідження обраховані оптимальні строки технічного обслуговування систем зразка танку Т-64Б до капітального ремонту. Пропонується цикл технічних обслуговувань зразка Т-64Б протягом його життєвого циклу сприятиме збільшенню загального часу експлуатації зразка Т-64Б збільшився на 4% за період від початку нормальної експлуатації до технічного обслуговування -2. **Висновки.** Термін чергового технічного обслуговування може бути визначений як інтервал часу знаходження об'єкта в працездатному стані із заданою ймовірністю. Ймовірності часу напрацювання до відмови вузлів та систем зразка танка Т-64Б у період життєвого циклу до капітального ремонту є випадковою величиною, яка підкорена закону Вейбулла, при наближенні його до експоненціального закону у період нормальної експлуатації до старіння і капітального ремонту. Аналітичні залежності між ймовірністю безвідмовної роботи і інтенсивністю відмов дають змогу визначити оптимальні строки технічного обслуговування систем зразка танку Т-64Б до капітального ремонту та необхідно-достатній час експлуатації машини при заданій надійності. Вибудування часової прямої життєвого циклу зразка техніки на основі оптимізації циклу технічного обслуговування і ремонту сприятиме підтриманню на нормативному рівні показників експлуатаційної надійності протягом всього його життєвого циклу з одночасним скороченням матеріальних, трудових та фінансових витрат.

Ключові слова: технічне обслуговування і ремонт бронетанкового озброєння і техніки, життєвий цикл зразка техніки, закон надійності.

Постановка проблеми та завдання дослідження

Забезпечення високих показників надійності бронетанкового озброєння і військової техніки (БТОТ), модернізація та продовження термінів служби існуючого парку БТОТ, розвиток чинної системи технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) можна вважати пріоритетними напрямками розвитку Збройних Сил України (ЗСУ).

Науково обґрунтована за відповідними критеріями раціональна форма організації та виконання їх ТО і Р є головною передумовою забезпечення необхідного рівня експлуатаційної надійності ОБТ.

Сучасний танк являє собою складну систему, що є сукупністю сумісно діючих елементів – вузлів, механізмів, з'єднань та агрегатів, які забезпечують виконання ним завдань за призначенням. Справність і готовність танка до використання за призначенням забезпечуються його технічними станом. Зміни технічного стану зразка БТОТ та його складальних одиниць і систем в процесі експлуатації пов'язані з впливом на нього різних механічних, фізичних та кліматичних факторів. Технічна експлуатація має на меті визначити раціональний набір діагностичних та профілактичних операцій, що дозволяє оцінити трудомісткість технічного обслуговування, здійснювати планування постів та персона-

лу. Встановлення оптимальної періодичності ТО дозволить знизити трудомісткість поточного ремонту, кількість операцій та час простою БТОТ.

Вищевказане свідчить про **актуальність** дослідження та необхідність встановлення оптимальної періодичності ТО дозволить знизити трудомісткість поточного ремонту, кількість операцій та час простою БТОТ.

Підтримання на нормативному рівні показників експлуатаційної надійності зразка БТОТ протягом всього його життєвого циклу з одночасним скороченням матеріальних, трудових та фінансових витрат було і залишається актуальним завданням у технічній політиці ЗСУ України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій стосовно зазначених вище питань засвідчує актуальність цієї проблематики.

Зазвичай, кількість та трудомісткість операцій при різних видах технічного обслуговування БТОТ як і сама періодичність ТО визначена керівними документами [1–3]. Однак, існуюча система техобслуговування в сучасних умовах мало ефективна і морально застаріла. Основними її недоліками будемо вважати такі: періодичності проведення та обсягів робіт ТО є завищеними і не задовольняють вимогам їх мінімальної необхідності для підтримання необхідного рівня технічного стану БТОТ; недостатня обґрунтованість значень діагностичних параме-

трів складальних одиниць та системи зразка техніки, параметрів обслуговування та періодичності його проведення; стратегії та види ТО є єдиними для зразків техніки різного цільового призначення; відсутні операції, які виконуються за технічним станом; при організації технічного обслуговування, не в повній мірі враховують специфічні особливості й фактори, що впливають на надійність зразка техніки або її окремих складальних одиниць і систем; не в повній мірі враховується допустимий час проведення ТО та відновлення працездатності об'єкта [4–7].

Метою статті є визначення оптимальної періодичності технічного обслуговування зразка танка Т-64Б, його складальних одиниць та систем. Для досягнення поставленої мети визначені **завдання дослідження**:

– визначити закон надійності та аналітичні залежності між ймовірністю безвідмовної роботи та інтенсивністю відмов окремих складальних одиниць та систем танків Т-64Б;

– проаналізувати середнє напрацювання на відмову окремих складальних одиниць та систем танків Т-64Б, які експлуатувалися в навчально-бойовій групі у період від нормальної експлуатації до капітального ремонту;

– провести корегування термінів чергового ТО;

– вибудувати часову пряму життєвого циклу зразка Т-64Б на основі оптимізації циклу ТО і Р.

Виклад основного матеріалу

Закон надійності та аналітичні залежності між ймовірністю безвідмовної роботи та інтенсивністю відмов окремих складальних одиниць та систем зразка танка Т-64Б. З урахуванням індивідуальних властивостей конкретної машини, умов її експлуатації, характеру та графіка навантаження, інших факторів темп зносу як окремих вузлів і деталей так і підсистем танка може помітно відрізнятися від показників, визначених для об'єкта-аналога. Тобто, в результаті техобслуговування можуть проводитися до вичерпання запасу працездатності агрегатів, або збільшиться число відмов, що вимагають аварійно-відновлювальних ремонтів. В тому і в інших випадках збільшуються матеріальні втрати, пов'язані з необґрунтованими витратами на ремонт ще працездатного обладнання або ж з неплановими витратами на відновлення після відмови, що як наслідок, призводить до зниження боєготовності техніки, в цілому.

Для вирішення зазначеної проблематики автори пропонують скористатися методикою коригування термінів технічного обслуговування об'єктів протягом життєвого циклу об'єкту з використанням інформації про надійність його окремих складальних одиниць та систем.

В основі методики лежить залежність між ймовірністю безвідмовної роботи і інтенсивністю відмов.

Ймовірність знаходження об'єкта в працездатному стані на планований інтервал напрацювання τ_n будемо визначати за формулою експоненціального закону розподілення

$$P(\tau_I + \tau_n) = \exp \left[- \int_0^{\tau_I + \tau_n} \lambda(t) dt \right], \quad (1)$$

де τ_I – напрацювання об'єкта до моменту проведення останнього технічного обслуговування;

$\lambda(t)$ – інтенсивність відмов.

Інтервал часу τ_n фактично визначає термін чергового технічного обслуговування, проведення якого забезпечить збереження працездатного стану об'єкта із заданою ймовірністю.

Цю ймовірність можна виразити через умовну ймовірність знаходження об'єкта в працездатному стані:

$$P_{зад} = P(\tau_I / \tau_n) = \exp \left[- \int_{\tau_I}^{\tau_I + \tau_n} \lambda(t) dt \right], \quad (2)$$

де $P_{зад}$ – визначене (директивне) значення ймовірності безвідмовної роботи об'єкта.

Після логарифмування маємо

$$\ln P_{зад} = - \int_{\tau_I}^{\tau_I + \tau_n} \lambda(t) dt. \quad (3)$$

Якщо шляхом статистичної обробки результатів контролю за безвідмовністю об'єктів отримано нове значення інтенсивності відмов $\lambda_{нов}(t)$ і є підстави вважати, що це нове значення протягом планового напрацювання τ_n не зміниться $\lambda_{нов}(t) = \lambda$, то з останнього виразу випливає

$$\ln P_{зад} = -\lambda \cdot \tau_n. \quad (4)$$

Звідки

$$\tau_n = - \frac{1}{\lambda} \ln P_{зад}. \quad (5)$$

Таким чином, при відомому законі надійності об'єкта та наявності директивного терміну технічного обслуговування (ремонту) T_p можна визначити час чергового ремонту за формулою

$$T_n = \int_0^{T_p} P(t) dt, \quad (6)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи об'єкта [8].

Аналіз середнього напрацювання на відмову окремих складальних одиниць та систем зразка танка Т-64Б та коригування термінів чергового ТО. Середнє напрацювання на відмову складальних одиниць зразка танка Т-64Б, які експлуатувалися в навчально-бойовій групі у період від нормальної експлуатації до капітального ремонту наведені, в табл. 1.

Оптимальні строки ТО окремих систем Т-64Б, обраховані згідно запропонованої методики надані в табл. 2.

Таблиця 1 – Середнє напрацювання на відмову складальних одиниць зразка танка Т-64Б

Основні складальні одиниці	Середнє напрацювання на відмову за рік	Ресурс	Час до капітального ремонту, рік
Ходова частина (ХЧ)	3000 км	7000 км	≈2,3
Двигун	230-285 год.	500 год.	≈2,0
Пушка	60-80 пострілів	700 пострілів	≈6-7
Стабілізатор	24 год.	250 год.	≈10-11

Таблиця 2 – Оптимальні строки ТО систем зразка танку Т-64Б до капітального ремонту

Найменування систем зразка танка Т-64Б	T_{cp} , год	λ	$Q(T_p)$	T_p , год	T_n , год
СУВ	1100	0,0001	0,82	230	160
СУ	400	0,0025	0,6	250	240
ЕСО	1500	0,00067	0,64	1700	600
Т і ХЧ	510	0,004	0,79	420	107
СП	140	0,0071	0,74	400	89

Статистичному дослідженню підлягали такі системи:

- системи управління вогнем (СУВ);
- силова установка (СУ);
- електроспецобладнання (ЕСО);
- трансмісія і ходова частина (Т і ХЧ);
- система повітреочистки (СП).

При розрахунках було зроблені припущення, що всі відмови були однократними та відбувалися незалежно одна від одної.

Крім того, вважалося, що відмови, які виникають у системі зразка техніки, проявляються миттєво; а після закінчення будь-якого виду відновлювальних робіт початкові властивості об'єкта повністю відновлюються [9].

Результати дослідження проілюстровані рис. 1.

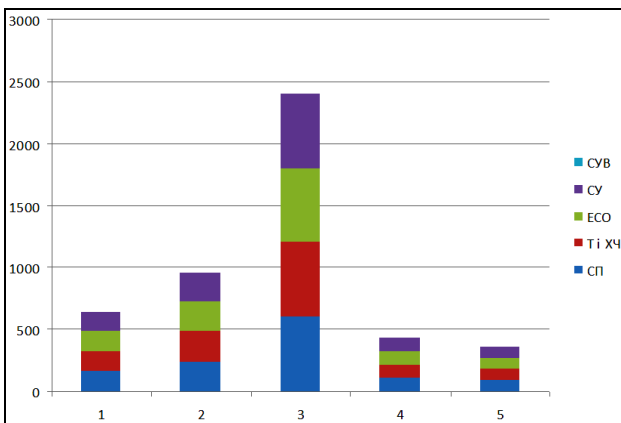


Рис. 1. Оптимальні терміни ТО зразка танка Т-64Б до капітального ремонту

Природно вважати, що в терміни від початку експлуатації до капітального ремонту оптимальний строк ТО зразка техніки $T_{зр}^*$ обчислюється як найменше спільне кратне T_{ni}^* кожної його системи

$$T_{зр}^* = НОК(T_{ni}^*) \quad (7)$$

$$T_{зр}^* = НОК(160, 240, 600, 107, 89) \approx \approx НОК(160, 240, 600, 100, 80) = 2400 \quad (8)$$

Зазначимо про необхідність округлення простих чисел до складових при проведенні розрахунків для отримання результатів, які знаходяться в межах реальних значень. Результати дослідження можуть бути використані для вибудовування часової прямої життєвого циклу зразка танка Т-64Б, рис. 2.

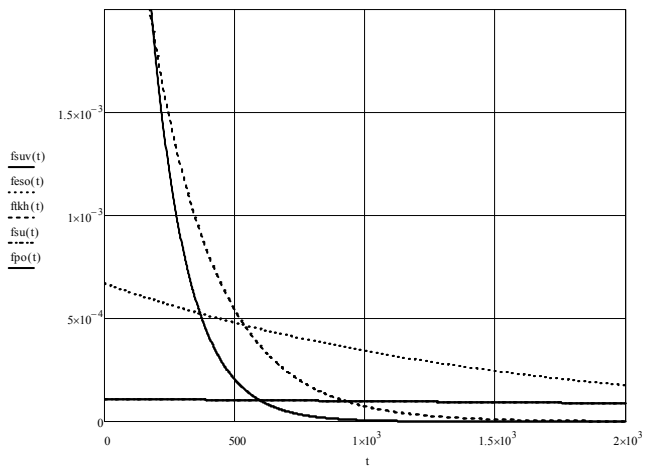


Рис. 2. Щільність ймовірності часу напрацювання до відмови вузлів та систем зразка танка Т-64Б у період нормальної експлуатації
1 – електроспецобладнання; 2 – силової установки; 3 – система управління вогнем; 4 – трансмісія та ходова частина; 5 – система повітреочистки

Як видно із рисунка, найімовірніший збіг відмов припадає на період експлуатації з 520 до 800 годин роботи зразка техніки. Саме цей період експлуатації пропонується вважати оптимальним для проведення ТО.

За період експлуатації зразка техніки у період від “обкатки” до капітального ремонту щільність

ймовірності відмов вузлів та систем зразка Т-64Б проілюстрована рис. 3.

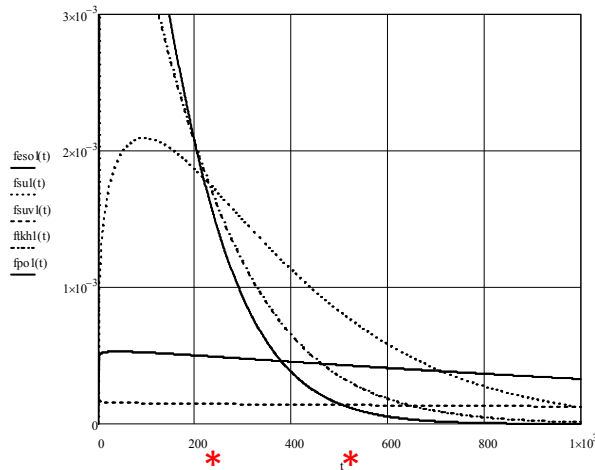


Рис. 3. Щільність ймовірності відмов вузлів та систем зразка танка Т-64Б у період життєвого циклу:
1– електроспецобладнання; 2– силова установка;
3 – система управління вогнем; 4– трансмісія та ходова частина; 5 – система повітреочистки

З рис. 3 випливає, що різні вузли агрегати та системи танка Т-64Б мають різне математичне очікування часу напрацювання до відмови і, відповідно, ймовірність безвідмовної роботи. Враховуючи, що ймовірність безвідмовної роботи обчислюється виразом

$$P_g(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) dt}, \quad (9)$$

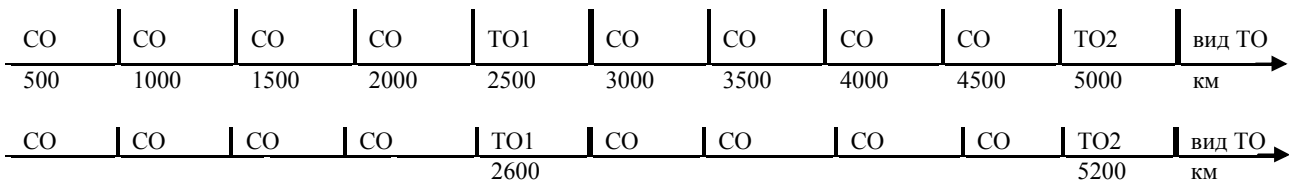


Рис. 4. Цикл технічних обслуговувань зразка Т-64Б а) існуючий; б) пропонуємий

З рис. 4 видно, що загальний час експлуатації зразка Т-64Б збільшився на 3,94% за період від початку нормальної експлуатації до ТО-2.

Час напрацювання на відмову до капітального ремонту зразка танка Т-64Б протягом життєвого циклу також є випадковою величиною, підкореною закону Вейбулла.

Параметри закону свідчать про наближеність його до нормального (рис. 5). Як видно з рисунку, математичне сподівання $m_n > m_{KP1} > m_{KP2}$ [10, 11].

Висновки

1. Термін чергового технічного обслуговування може бути визначений як інтервал часу знаходження об'єкта в працездатному стані із заданою ймовірністю.

2. Ймовірності часу напрацювання до відмови вузлів та систем зразка танка Т-64Б у період життєвого циклу до капітального ремонту є випадковою величиною, яка підкорена закону Вейбулла, при

де $\lambda(t)$ – інтенсивність відмов, можна визначити необхідно-достатній час експлуатації техніки при заданій надійності $P_g(t) = P_g^{zad}$ для кожного вузлів та систем зразка Т-64Б.

Так, $P_{gno}^{zad} = 0,95$ для системи повітреочистки відповідає значенню часу $t_{no} = 95$ годин.

Зазначимо, що ймовірності часу напрацювання до відмови вузлів та систем зразка танка Т-64Б у період життєвого циклу до капітального ремонту є випадковою величиною, яка підкорена закону Вейбулла, при наближенні його до експоненціального закону у період нормальної експлуатації до капітального ремонту.

Аналогічні розрахунки були проведені для інших систем танка Т-64Б. Розбіжності розрахунків із даними, наведеними у табл. 2 знаходяться в межах 5%.

Враховуючи, геометричний смисл ймовірності безвідмовної роботи шляхом зіставлення рівновеликих величин P_{vi}^{zad} для кожної і-ї системи танку можна визначити оптимальний час ТО машини

$$T_{зр}^* = \arg \{ P_{ПО}^{zad} \approx P_{СУВ}^{zad} \approx P_{СУ}^{zad} \approx P_{ЕСО}^{zad} \approx P_{ТХЧ}^{zad} \}. \quad (10)$$

За результатами розрахунків при $P_i^{zad} = 0,92...0,95$, $i = \overline{1,5}$ отримано значення $T_{зр1}^* = 260$ год та $T_{зр2}^* = 800$ год роботи. Доцільність проведення у такі терміни життєвого циклу машини проілюстровані на рис. 3 позначкою (*) та рис. 4.

наближенні його до експоненціального закону у період нормальної експлуатації до старіння і капітального ремонту.

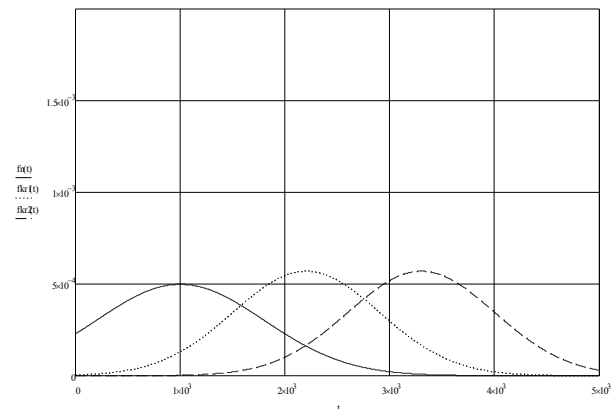


Рис. 5. Час напрацювання на відмову до капітального ремонту зразка танка Т-64Б протягом життєвого циклу

3. Аналітичні залежності між імовірністю безвідмовної роботи і інтенсивністю відмов дають змогу визначити оптимальні строки технічного обслуговування систем зразка танку Т-64Б до капітального ремонту та необхідно-достатній час експлуатації машини при заданій надійності.

4. Вибудування часової прямої життєвого циклу зразка техніки на основі оптимізації циклу ТО і

Р сприятиме підтриманню на нормативному рівні показників експлуатаційної надійності протягом всього його життєвого циклу з одночасним скороченням матеріальних, трудових та фінансових витрат.

За результати дослідження, застосування запропонованої методики дозволить збільшити час безвідмовної роботи зразка танка Т-64Б на 3,9%.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Керівництво з організації експлуатації та ремонту бронетанкового озброєння та техніки у ЗС України на мирний час [Електронний ресурс] : Наказ Міністра оборони України від 25.12.2009 № 665 // Законодавство України / LIGA ZAKON. URL : <http://www.search.ligazakon.ua/doc2.nsf/link1/RE29927.html>
2. Про затвердження Керівництво щодо перевірки та оцінки стану озброєння та військової техніки у Збройних Силах України [Електронний ресурс] : Наказ Міністра оборони України від 05.03.2004 № 74 // Сайт Міністерства оборони України / Нормативна правова база. URL : <http://da.coolreferat.com.ua/nuda/nakaz-74-pro-zatverdjenya-kerivnictva-shodo-perevirki-ta-ocin/main.html>.
3. Про затвердження Керівництва з забезпечення військових частин парковим обладнанням для технічного обслуговування ОВТ [Електронний ресурс] : Наказ Міністра оборони України від 16.12.2011 року № 772// Сайт Міністерства оборони України / Нормативна правова база. URL : <http://www.mil.gov.ua/ministry/normativno-pravova-baza/nakazi-ministra-oboroni-ukraini/>
4. Волох Олександр Петрович. Методика обґрунтування раціональних значень параметрів технічного обслуговування машин інженерного озброєння при їх використанні за призначенням : дис... канд. техн. наук: 20.02.14 / Військовий інженерний ін-т Подільського держ. аграрно-технічного ун-ту. – Кам'янець-Подільський, 2007. – 182 с.
5. Стратегії технічного обслуговування і ремонту озброєння та військової техніки “за станом” / М. В. Чорний, Р. В. Долгов, Р. Г. Будяну // Військово-технічний збірник. Львів, Львівський інститут Сухопутних військ, 2009 – № 1. – С. 65-68.
6. Смирнов Н. Н. Обслуживание и ремонт авиационной техники по состоянию / Н. Н. Смиронов, А. А. Ицкевич. – М. : Транспорт, 1987. – 272 с.
7. Ланецкий Б.Н. Обоснование оптимальных стратегий технического обслуживания и ремонта сложных технических систем / Б.Н. Ланецкий, В.В. Лукьянчук, Д.В. Фоменко // Системи обробки інформації – № 6 (80) – Харків : ХУПС, 2009. – С. 72 – 78.
8. Семенов А. А., Мелкумян В. Г. Основи теорії надійності: Навчальний посібник. — К.: КМУЦА, 1998. – 84 с.
9. Центр дослідження армії, конверсії та роззброєння / [Електронний ресурс]. URL: <http://cacds.org.ua/ru/activities/>.
10. Теория вероятностей : учебник / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, Физматгиз, 1969 – 576 с.
11. Исследование операций / Е. С. Вентцель – М.: Советское радио, 1972. – 552с.

Received (Надійшла) 20.02.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 08.04.2020

Building a time line for the tank t-64b sample lifecycle and determination of the optimal periodicity of its maintenance

H. Makogon, S. Guba, S. Mashchenko, O. Horbov, O. Martynenko, I. Kovalev

Abstract. The subject matter of the article is the T-64B sample life cycle. The **goal** of the study is to determinate the optimal maintenance period of the T-64B sample tank, its assembly units and systems. **The tasks** to be solved are: to determine the reliability law and analytical dependencies between the probability of failure-free operation and the failure rate of individual assembly units and T-64B tank systems; to analyze the average failure time of individual units and systems of T-64B tanks operated in the training-combat group during the period from normal operation to aging and overhaul; to adjust the time of regular maintenance; to build a time line of the T-64B sample life cycle based on the optimization of its maintenance and repair cycle. General scientific and special **methods** of scientific knowledge are used. The following **results** are obtained. The statistics on the failure of the assembly units and systems of the T-64B tanks operated in the training-combat group during the period from normal operation to aging and overhaul, were investigated. The proposed maintenance cycle of the T-64B sample over its life cycle will increase the total life of the T-64B sample by 4% over the period from the start of normal operation to the Maintenance -2. **Conclusions.** The term regular maintenance can be defined as the time interval of the facility in working condition with a certain probability. The probabilities of time to failure of units and systems of the T-64B sample tank during the life cycle to overhaul is a random variable that obeys the Weibull law as it approaches exponential law during normal operation and aging and overhaul. Analytical dependencies between the probability of failure-free operation and failure rate make it possible to determine the optimal time for maintenance of the T-64B tank sample systems before overhaul and need-sufficient time of operation of the machine at a given reliability. Building a time line for the sample equipment lifecycle based on optimization of the maintenance and repair cycle will help maintain sustainability performance throughout its life cycle while reducing material, labor, and financial costs.

Keywords: maintenance and repair of armored weapons and equipment, the lifecycle of the sample equipment, the reliability law.