

В.Б. Єрко¹, А.М. Шатров¹, М.О. Шишанов²

¹ Державний науково-дослідний інститут авіації, Київ

² Державне підприємство “Державне Київське конструкторське бюро “ЛУЧ”, Київ

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ЩОДО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО РЕМОНТОПРИДАТНОСТІ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ВІЙСЬКОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

У статті розглянуто методичний підхід з обґрунтування вимог до ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення на основі показника живучості, який враховує відновлюваність і стійкість системи до зовнішніх впливів. Для визначення взаємозв'язку між відновлюваністю і живучістю пропонується проводити функціонально-морфологічну декомпозицію системи з наданням переваги функціональній ознаці, результатом якої є визначення її основних властивостей, у тому числі живучості.

Показано, що при обґрунтуванні вимог до ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення необхідно враховувати їх стійкість до впливів засобів ураження та можливість відновлення експлуатаційних властивостей у бойових умовах.

Ключові слова: відновлюваність, відновлювальний ремонт, декомпозиція, живучість, засоби ураження, ремонтпридатність, складні технічні системи військового призначення.

Вступ

Постановка проблеми. Одним із актуальних питань підтримання боєздатності збройних сил в умовах масштабних бойових дій є забезпечення їх озброєнням та військовою технікою (ОВТ) у необхідній кількості. Це обумовлює необхідність перегляду структури систем відновлення справності та окремих аспектів її функціонування. При цьому акцент суттєво зміщується в сторону усунення несправностей та пошкоджень, отриманих внаслідок дії засобів ураження.

Більшість сучасних зразків ОВТ складаються з великої кількості складових (елементів, блоків, агрегатів, систем тощо), кожна з яких виконує свої функції, побудована на використанні певних фізичних принципів та має зв'язки з іншими, а їх структура визначається бойовим призначенням. Разом з цим, всі вони мають спільні риси щодо організації побудови та складу обладнання, тобто є типовими представниками складних технічних систем і можуть бути розглянуті з позицій теорії складних систем в організаційному і функціональному аспектах [1, с. 6...13].

На сьогодні складні технічні системи військового призначення (СТС ВП) знаходяться на озброєнні всіх видів збройних сил, а їх постійний розвиток та удосконалення обумовлюють ускладнення заходів з підтримання у постійній готовності до застосування за призначенням. Одним із таких заходів є ремонт різного змісту, який виконується для відновлення їх властивостей, що погіршуються внаслідок природного старіння, зносу або застосування противником засобів ураження [2, с. 6...15, 67...70, 156]. При цьому:

поточний ремонт проводиться для усунення несправностей, що виникли в процесі експлуатації;

плановий (середній або капітальний) ремонт виконується зі встановленою періодичністю для відновлення технічних характеристик, що погіршилися в процесі експлуатації;

відновлювальний ремонт проводиться для відновлення працездатності, втраченої внаслідок бойових пошкоджень.

Очевидно, що раціональна організація процесу виконання ремонту дає змогу підвищити його ефективність, мінімізувати затрати на його проведення і час знаходження системи у непрацездатному стані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами проведено аналіз робіт і публікацій, присвячених проблемі відновлюваності ОВТ як СТС ВП. Так, у роботі [2, с. 16...202] розглянуто питання організації і виконання різних видів ремонту радіоелектронних систем, задачі їх оптимізації щодо термінів виконання та оцінки якості. Також запропоновано методику рішення задач розрахунку ймовірного характеру їх пошкодження від найбільш поширених засобів ураження та оптимізації необхідного складу ремонтних сил і засобів.

Для оцінювання ефективності відновлення систем ОВТ у роботі [3, с. 87...94] запропоновано застосовувати математичну модель функціонування, яка враховує інформацію про кількість відновлених зразків на кожному рівні ієрархії та їх надійність, кількість неохоплених ремонтно-відновлювальними роботами зразків у кожній ланці та кількість зразків, що залишилися

працездатними на кожну добу операції (бойових дій). Основні принципи організації та управління складними організаційно-технічними системами та необхідність використання методології структурного синтезу при формалізації задач коригування основних параметрів системи відновлення наведено у [4, с. 3...13]. Теоретичні аспекти управління системою відновлення ОВТ щодо обґрунтування критеріїв оцінки ефективності прийняття рішень та методика комплексного розрахунку показників ефективності складних систем, а також зміст і завдання відновлювального ремонту, наведено в [5, с. 43...80, 94...95].

У роботі [6, с. 75...77] запропоновано метод моделювання процесу функціонування системи відновлення виробів ОВТ угруповання військ, а у [7, с. 116...118] – прогнозування величини їх втрат при веденні бойових дій. Методику оцінювання відновлюваності зразків ОВТ, що знаходяться на озброєнні останні п'ять років, наведено у роботі [8, с. 89...96]. При цьому як основний оціночний параметр відновлюваності вибрано середній час простою виробу в ремонті. Це обумовлено тим, що його можна задати, виміряти або розрахувати. Особливості технічного забезпечення військ зв'язку Збройних Сил України в умовах бойових дій, складовою якої є підсистема відновлення, досліджено у роботі [9, с. 563...565]. У роботі [10, с. 91...98] показано, що на етапах розробки і виробництва ОВТ як об'єктам СТС ВП не приділяється належної уваги питанням їх ремонтпридатності. Розглядається необхідність та особливості обґрунтування вимог до цієї властивості з урахуванням трьох основних аспектів: технічного, економічного та організаційного.

У США проблема відновлення справності ОВТ певною мірою було вирішено завдяки впровадженню воєнного стандарту Mil-STD-470 (A, B). "Maintainability Program for Systems and Equipment", який визначив вимоги до програми забезпечення ремонтпридатності систем та їх складових [11, с. 62...64].

Отже, розробка науково обґрунтованих пропозицій щодо обґрунтування вимог до ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення з урахуванням їх відновлюваності і живучістю є актуальним науково-технічним завданням.

В основу розв'язання завдання розробки науково обґрунтованих пропозицій щодо обґрунтування вимог до ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення покладено основи теорії розвитку складних технічних систем та методи функціонально-морфологічної декомпозиції з наданням переваги функціональному признаку.

Метою статті є розробка методичного підходу щодо обґрунтування вимог до відновлюваності складних технічних систем військового

призначення при проведенні відновлювального ремонту, який враховує взаємозв'язок ймовірностей відмови та відновлення у випадках ураження (пошкодження).

Виклад основного матеріалу

У загальному випадку причини відмов СТС ВП можна умовно розподілити на три групи [4, с. 3...11].

У першу групу увійдуть такі, які обумовлені природним зносом деталей, що призводить до поступового погіршення характеристик механічних та електромеханічних складових агрегатів, вузлів, блоків тощо та, як наслідок, системи у цілому. Очевидно, що ця група відмов обумовлена наробітком. В умовах мирного часу ця група відмов є основною.

У другу групу увійдуть відмови, що обумовлені недосконалістю виробництва та конструктивними недоліками. Вони можуть проявлятися як раптово, так і поступово.

У третю групу увійдуть відмови, що виникли внаслідок аварійних ситуацій. Їх поява обумовлена як дією засобів ураження, так і порушенням правил експлуатації, тобто наслідками зіткнень, перекидань, затоплень тощо. Аварійні пошкодження в деталях і вузлах також можуть виникати внаслідок конструктивних або виробничих недоліків і низької якості ремонту. Вони, як правило, з'являються раптово і функціонально не пов'язані з часом експлуатації. В умовах воєнного часу ця група відмов є основною.

Класифікацію причин несправностей СТС ВП наведено на рис. 1.



Рис. 1. Класифікація причин несправностей і пошкоджень СТС ВП.

Джерело: розроблено авторами за даними [4, с. 3...11].

Комплексний вплив дефектів першої і другої групи призводить до погіршення експлуатаційних властивостей СТС ВП, зниження бойових і технічних показників якості.

В умовах бойових дій найбільш поширеною причиною виникнення несправностей є дія засобів ураження. При цьому несправності, що виникають у мирний час не тільки не виключаються, а й навпаки – швидкість їх проявлення зростає, оскільки техніка часто працює на граничних режимах та з перевантаженнями.

Чисельна оцінка можливості виникнення пошкоджень і відмов є випадковою величиною і зазвичай пов'язана з деяким фіксованим проміжком часу або величиною напруження. Враховуючи випадковість виникнення несправностей, для їх прогнозування використовують ймовірнісно-статистичні методи дослідження випадкових величин. При цьому, одним із основних факторів, що визначає тривалість використання СТС ВП за призначенням в умовах бойових дій, є стійкість до факторів ураження, яка, у свою чергу, характеризується рядом кількісних характеристик, найважливішими з яких є ймовірність ураження (у тому числі неможливість використання за призначенням деякий визначений час) та можливість відновлення працездатності за певний (заданий) час [4, с. 3...13].

На відміну від поточного і планового ремонту, які проводяться переважно в стаціонарних умовах, відновлювальний ремонт має ряд особливостей та є основним в умовах бойових дій. Він проводиться для усунення наслідків впливу на зразки ОВТ засобів ураження, при цьому характер і складність пошкоджень залежить від багатьох факторів, основними з яких є їх конструктивні особливості, тип і кількість боєприпасів, що були застосовані. Природно, що від характеру і складності цих пошкоджень залежить тривалість відновлювального ремонту (величина трудовитрат), склад сил і засобів (ремонтного обладнання, запасних частин, експлуатаційних матеріалів тощо), необхідних для його виконання. При цьому широке коливання обсягу трудових затрат і змісту ремонтних робіт є характерним.

Враховуючи, що відновлювальний ремонт СТС ВП притаманний для умов воєнного часу, а терміни його виконання обмежені, підготовка до нього повинна проводитися завчасно, у тому числі у мирний час. Це обумовлює необхідність проведення прогнозування складності ремонту при різних варіантах пошкоджень та заздалегідь розрахувати потрібний склад ремонтних сил і засобів, обсяги їх накопичення, розробляти ремонтну документацію, визначати оптимальні варіанти організації відновлювального ремонту

тощо. При цьому трудові затрати під час ремонту навіть однотипних систем можуть суттєво відрізнятися і залежать від:

характеру і кількості пошкоджень складових системи;

рівня технологій ремонту;

забезпеченості обладнанням, запасними частинами, експлуатаційними і витратними матеріалами;

кваліфікації персоналу.

Аналіз зазначених факторів показує, що без накладання певних обмежень отримати однозначне рішення неможливо. У зв'язку з цим як основну умову приймаємо мінімізацію часу на відновлювальний ремонт однотипних СТС ВП, що у свою чергу, буде визначатися технологією ремонту. Таким чином, як основний показник відновлювального ремонту зразка СТС ВП приймемо оперативний час його відновлення $T_{ОВ}$, який може бути розрахований за формулою [12, с. 89]

$$T_{ОВ} = T_{ТР} + T_E + T_P + T_{П}, \quad (1)$$

де $T_{ТР}$ – час ведення технічної розвідки щодо пошуку непрацездатних зразків; T_E – час евакуації; T_P – час виконання ремонту; $T_{П}$ – час повернення для використання за призначенням.

Із формули (1) видно, що відновлювальний ремонт характеризується рівнем (часом ведення) технічної розвідки для виявлення та евакуації непрацездатних зразків, їх ремонтом, доукомплектуванням та поверненням для використання за призначенням.

В умовах бойових дій, основною властивістю, що визначає термін служби СТС ВП при застосуванні за призначенням, є живучість, яка, у свою чергу, характеризується такою властивістю, як відновлюваність у випадку ураження (V). Вона визначається такими ж показниками, що і ремонтпридатність, а саме – часом відновлення T_B та ймовірністю відновлення у заданий термін $P_B(t)$. У ряді випадків для оцінки живучості доцільно використовувати показник, який об'єднує стійкість і відновлюваність. Таким показником, що враховує взаємозв'язок ймовірності переходу у непрацездатний стан СТС ВП внаслідок ураження та ймовірність її відновлення, є показник живучості, який розраховується за формулою [13, с. 21]:

$$V = \frac{K_B^2 W_C}{1 + (K_B^2 - 1) W_C}, \quad (2)$$

де W_C – показник стійкості системи в бойових умовах; K_B – показник, що оцінює можливість відновлення системи у випадку її ураження.

Використовуючи формулу (2), можна розрахувати значення показника живучості (V) залежно від значень його складових, який показує, що при збільшенні стійкості W_C та відновлюваності K_B , живучість системи стрімко зростає.

Як приклад у таблиці 1 наведено значення показника живучості V при малих, середніх і великих значеннях K_B і W_C .

Таблиця 1
Значення показника живучості V при різних значеннях W_C і K_B

W_C	K_B		
	0,1	0,5	0,90
0,1	0,0011	0,0099	0,0818
0,5	0,0270	0,2000	0,6931
0,9	0,0896	0,4478	0,8785

Джерело: [13, с. 18...24]

Для встановлення взаємозв'язку надійністю і живучістю СТС ВП пропонується проводити функціонально-морфологічну декомпозицію з наданням переваги функціональному принципу, процедуру виконання якої наведено у [13, с. 43...46]. Відповідно до такого підходу, функціональний опис зразка буде представляти собою опис процесів його застосування за призначенням, в якому відображено мету функціонування та засоби її досягнення. Основні результати декомпозиції за функціонально-морфологічним принципом показано на рис. 2.



Рис. 2. Функціонально-морфологічна декомпозиція СТС ВП.

Джерело: розроблено авторами за даними [11, с. 43...46].

На рис. 2 видно, що функціонально-морфологічна декомпозиція СТС ВП дає змогу визначити такі її властивості, як командна керованість, універсальність, та складову живучості – відновлювальний ремонт.

Визначення структури системи відновлювального ремонту СТС ВП відноситься до класу задач синтезу складних ієрархічних систем, найбільш розповсюдженими з яких є аналітичний метод, числовий метод (метод статистичного пошуку або метод динамічного програмування) та комбінований метод, заснований на комбінації аналітичного методу і методу статистичного моделювання процесів функціонування складних систем [5, с. 221...243]. Для оптимізації систем, що розглядаються, переважними є числовий і комбінований методи.

Це, у свою чергу, потребує підвищення ремонтпридатності та формування вимог до ремонтпридатності ще на стадіях формування технічних завдань, розробки та до початку серійного виробництва. При цьому їх рішення повинно базуватися базується на комплексному застосуванні надійнісного і технологічного підходів, що у свою чергу означає необхідність розглядати ремонтпридатність як складову частину надійності і технологічності СТС ВП [14, с. 91...98].

Висновки

Наведений методичний підхід щодо комплексного обґрунтування вимог до відновлюваності СТС ВП при проведенні відновлювального ремонту використовує показник живучості (V), який враховує стійкість і відновлюваність досліджуваного об'єкту та розраховується за формулою (2). Для встановлення взаємозв'язку між ними пропонується використовувати результати функціонально-морфологічної декомпозиції з наданням переваги функціональному принципу. Це дасть змогу прогнозувати варіанти пошкодження, складність ремонту та заздалегідь розрахувати потрібний склад ремонтних сил і засобів

Отже, властивості ремонтпридатності та відновлюваності СТС ВП необхідно удосконалювати при модернізації існуючих або розробці нових систем ще на етапі розробки на етапах формування технічних завдань, що дозволить підвищити ефективність відновлювального ремонту та мінімізувати затрати і час знаходження системи у непрацездатному стані.

Подальші дослідження у цьому напрямі планується продовжити шляхом розробки заходів щодо забезпечення ремонтпридатності складних технічних систем військового призначення.

Список літератури

1. Ковтуненко А.П., Зубарев В.В. Основы анализа сложных технических систем. Теория и приложения: Монография. – К.: СПД Богданов В.О., 2009. – 496 с.
2. Ковтуненко А.П., Зубарев В.В., Шишанов М.А. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем. Монография. – К.: Книжное издательство НАУ. 2007. – 294 с.
3. Дачковський В.О., Стрельбицький М.А. Математична модель функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та озброєння*, 2020. №2(38). – С. 87–94. DOI:10.33099/2311-7249/2020-38-2-87-94.
4. Шишанов М.О., Шевцов М.М., Чеченкова О.Л. Методологічні основи структурного синтезу систем відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ. *Озброєння та військова техніка*, 2017. № 3 (15). – С. 3–13.
5. Основы военно-технических исследований. Теория и приложения. Монография. Т.12 Научные основы системного подхода при решении задач восстановления вооружения и военной техники / И.Б. Чепков, С.В. Лапицкий, В.В. Зубарев, М.А. Шишанов, С.С. Трегубенко, В.И. Коцуруб, А.В. Кучинский, А.А. Веретнов, И.И. Деркач, А.Н. Шатров, И.В. Звершковский / под ред. И.Б. Чепкова. – К.: Видавничий дім Дмитра Бураго, 2022. – 304 с.
6. Шишанов М.О., Гуляев А.В., Шевцов М.М. Обгрунтування методу моделювання процесу функціонування системи відновлення озброєння та військової техніки угруповання військ. *Озброєння та військова техніка*, 2017, №1(13). – С. 75–77.
7. Павловський О.В. Прогнозування величини втрат озброєння та військової під час бойових операцій (бойових дій). *Системи озброєння і військова техніка*, 2015, №4(44). – С. 116–118.
8. Дачковський В.О., Радченко Л.М. Методика оцінювання відновлюваності озброєння і військової техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та озброєння*, 2019. №3(36). – С. 89–96. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2019-36-3-89-96>.
9. Гришина Н.С., Білий О.А., Побережець Т.В., Новак А.О. Ткач В.О. Оптимізація системи технічного забезпечення військ зв'язку ЗС України за досвідом проведення бойових дій. “*Молодий вчений*”, 2018. №12(64). – С. 563–565.
10. Концептуальні основи розробки програм забезпечення ремонтпридатності складних технічних систем. М.О. Шишанов, А.О. Веретнов І.В. Кондратюк С.А. Горбачевський. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони* № 3(39). 2020. – С. 91–98. <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-39-3-91-98>.
11. Daniel R. Moody. Modernizing Automatic Test Systems for Force 2025 and Beyond. *Army Sustainment*, March/April 2016. P. 62–64.
12. Дачковський В.О. Методика визначення характеристики живучості озброєння і військової техніки. “*Social development & Security*”, 2020. №1(10). – С. 18–24. <https://doi.org/10.33445/sds.2020.10.1.3>.
13. Шишанов М.О., Шатров А.М., Гурба О.В. Методологічні рекомендації щодо розподілу складових частин керованих авіаційних засобів ураження на групи за рівнями безпеки застосування та контролю придатності // *Озброєння та військова техніка* 2018. №3(19). – С. 43–46.
14. Шишанов М.О., Кондратюк І.В., Веретнов А.О. Методичні основи комплексного обгрунтування вимог до відновлювальності складних технічних систем. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони* № 3 (39), 2020. – С 91–98. <http://doi.org/10.33099/2311-7249/2020-39-3-91-98>.

Надійшла до редколегії 03.10.2023

Схвалена до друку 13.12.2023

Відомості про авторів

Єрко Віктор Борисович

кандидат технічних наук
старший дослідник
начальник науково-дослідного відділу
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-5150-5303>

Шатров Андрій Миколайович

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
провідний науковий співробітник
Державного науково-дослідного інституту авіації,
Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0002-3070-7483>

Information about the authors

Victor Yerko

Candidate of Technical Science
Senior Researcher
Head of Research Department
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5150-5303>

Andrii Shatrov

Candidate of Technical Science
Senior Researcher
Leading Research
of State Research Institute of Aviation,
Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-3070-7483>

Шишанов Михайло Олексійович

доктор технічних наук

професор

конструктор Державного підприємства

“Державне Київське конструкторське бюро “ЛУЧ”,

Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

Mihaylo Shishanov

Doctor of Technical Sciences

Professor

Constructor

of State Enterprise “SKDB “LUCH”,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7121-3666>

A METHODOICAL APPROACH TO PRIMING WAS POSSIBLE UNTIL THE MAINTAINABILITY OF FOLDING TECHNICAL SYSTEMS FOR MILITARY PURPOSES

V. Yerko, A. Shatrov, M. Shishanov

The majority of modern weapons and military equipment consists of a large number of systems, blocks, aggregates, etc., each of which performs its functions, is built on the basis of the use of certain physical principles and has connections with others, and the overall structure is determined by the combat purpose. At the same time, they all have common features regarding the organization of construction and the composition of equipment, which allows us to consider them from the standpoint of the theory of complex systems.

The article examines a methodical approach to substantiating the requirements for the maintainability of complex technical systems for military purposes based on the survivability index, which takes into account the system's restorability and resistance to external influences. The purpose of the article is to develop a methodical approach to substantiating requirements for the reparability of complex technical systems of military use during restorative repair, which takes into account the relationship between the probabilities of failure and recovery in cases of damage (damage). The development is based on the theory of the development of complex technical systems and the methods of functional-morphological decomposition with a preference for the functional feature.

For a comprehensive substantiation of the requirements for the reparability of complex technical systems of military use during reparative repairs, it is suggested to use the survivability index, which takes into account the system's resistance to the effects of damage factors and its reparability. To establish relationships between the components of the system, it is suggested to use the procedure of functional-morphological decomposition with preference given to the functional principle. This will make it possible to predict options for damage, the complexity of repairs, and to calculate in advance the required composition of repair forces and means. It is also shown that when justifying the requirements for the maintainability of complex technical systems of military use, it is necessary to take into account the possibility of restoring their operational properties in combat conditions, which will allow predicting damage options, the complexity of repairs and calculating the necessary composition of repair forces and means.

It is expedient to improve the properties of maintainability and restorability of complex technical systems for military purposes when modernizing existing or developing new systems at the development stage when forming technical tasks. This will increase the efficiency of restorative repairs, minimize costs and the time the system is in an inoperable state.

Keywords: renewability, renewable repair, decomposition, vitality, means of damage, complex technical systems for military purposes.