

УДК 355.32

В.Л. Козачук¹, к.т.н., с.н.с.,**О.В. Поповіченко²**, к.військ.н., доц.,**В.П. Харченко¹**, к.військ.н., с.н.с.¹ *Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України, м. Київ*² *Військова академія (м. Одеса)*

МЕТОДИЧНИЙ ПІДХІД ДО МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЯК МЕРЕЖІ МАСОВОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ

Представлено один із методичних підходів до моделювання системи ремонту пошкодженого та з відмовами озброєння і військової техніки, який базується на математичному апараті мереж масового обслуговування.

Ключові слова: *ремонт, озброєння та військова техніка, мережа масового обслуговування.*

Постановка проблеми в загальному вигляді

Аналіз порядку та процесів проведення технічного забезпечення під час бойових дій свідчить, що в деяких ланках система ремонту зразків озброєння та військової техніки (ОВТ) з пошкодженнями та відмовами має, по-перше, певну неоднорідність, по-друге, в деяких ланках вона є надлишковою, а в деяких – недостатньою [1]. Недостатність системи ремонту негативно позначається не лише на термінах ремонту та спроможності системи, а й на бойовому потенціалі частин та підрозділів, який знижується внаслідок несвоєчасного відновлення пошкоджених зразків ОВТ.

Надлишковість системи ремонту – це, в першу чергу, подорожчання її утримання, складність управління (система менш мобільна, менш адаптивна до ситуації, що змінюється, особливо якщо зміни відбуваються досить швидко), потреба в значних матеріальних, часових та людських ресурсах. Крім того, через те, що потік заявок на проведення робіт з ремонту не є упорядкованим, продуктивність сил і засобів ремонту, які можна розглядати як систему масового обслуговування (СМО), доволі низька. З огляду на викладене, питання коректного формування раціонального складу системи ремонту, визначення чисельності її підсистем та елементів за рахунок подальшого вдосконалення методичного апарата щодо обґрунтування оптимального складу ремонтних органів є актуальним.

Аналіз останніх досягнень і публікацій

Підходи до моделювання системи ремонту зразків ОВТ з пошкодженнями та відмовами мали декілька умовних етапів. На першому здійснювалось моделювання з використанням методів, які базуються на гіпотезі про лінійну залежність між кількістю ремонтних органів і показниками процесу ремонту [2]. Однак цей підхід не дозволяє враховувати стохастичний характер процесу ремонту зразків ОВТ, існування різних режимів функціонування ремонтних засобів під час виконання завдань, а також втрати цих засобів.

На другому умовному етапі створені моделі процесу ремонту були представлені як стохастичні, які базувались на теоріях імовірності, масового обслуговування та на статистичних спостереженнях, а власне система ремонту уявлялась як система масового обслуговування (СМО) [28]. Але і цей підхід має низку суттєвих недоліків. По-перше, система ремонту вважалася однорівневою, іноді і без урахування взаємодії органів ланки того рівня, який розглядається, з органами інших рівнів – вищого або нижчого, в результаті чого з'явилися припущення про СМО з очікуванням в черзі та відмовами в обслуговуванні. По-друге, система ремонту моделювалася як багатоканальна система, що не завжди відповідає дійсності. По-третє, під час моделювання не враховувався той факт, що в існуючій системі ремонту потоки заявок і процеси є неоднорідними та нестационарними, натомість систему ремонту розглядали як сукупність однорідних систем в одному рівні.

Постановка завдання та його розв'язання

Мета статті полягає у викладенні методичного підходу до формування моделі системи ремонту зразків ОВТ з пошкодженнями та відмовами як мережі масового обслуговування, що дозволить мінімізувати тривалість очікування заявок у черзі на обслуговування, виявити раціональну кількість каналів (засобів) ремонту зразків ОВТ як у цілому в мережі, так і в її елементах.

Вигляділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття

Представлення системи ремонту лише як сукупності окремих СМО недостатньо повно враховує особливості системи ремонту ОВТ та процесів, які в ній протікають, що може призвести до значних похибок у розрахунках. Реальному процесу ремонту ОВТ (і знов-таки з деякими припущеннями) більшою мірою відповідають моделі, які представляють досліджувану систему як мережу масового обслуговування (ММО) [9].

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів

Існуюча система ремонту являє собою чотирирівневу систему (рис. 1), в якій здійснюється ремонт всіх зразків ОВТ з пошкодженнями та відмовами – автомобільної техніки, бронетанкового озброєння та техніки, ракетно-артилерійського озброєння та техніки. Принцип побудови всіх перелічених систем приблизно однаковий, тому з метою спрощення моделі в статті розглядається лише одна складова – ремонт бронетанкового озброєння та техніки (БТОТ). При цьому мається на увазі, що принципи функціонування інших гілок» та процеси в них аналогічні.

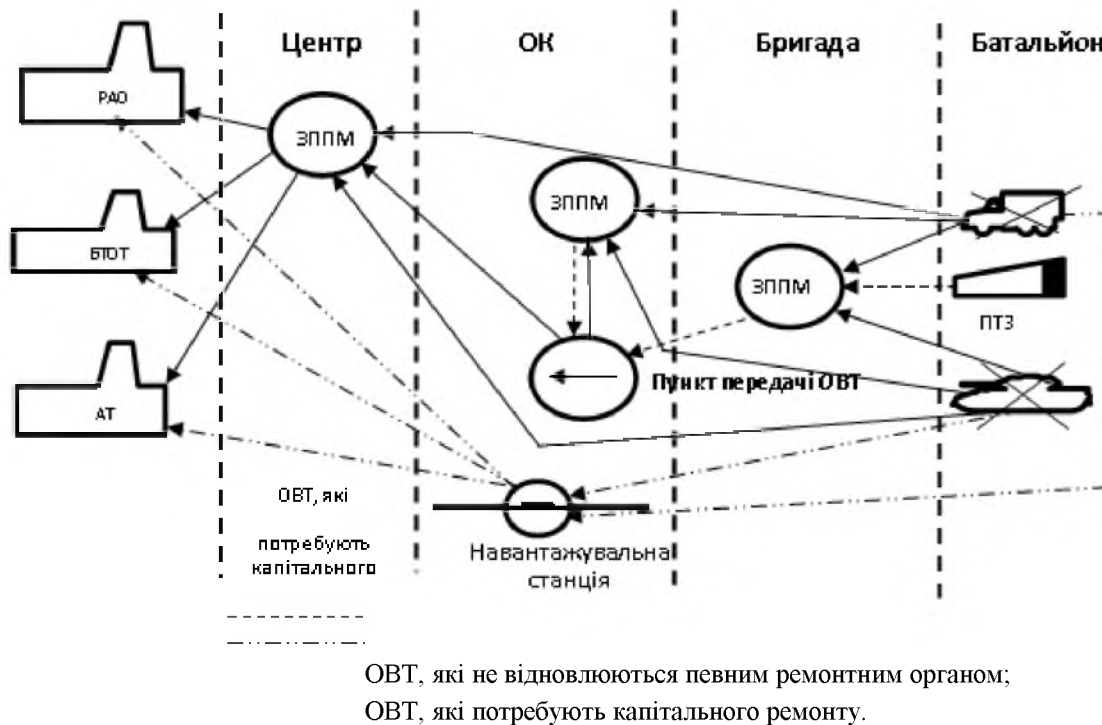


Рис. 1. Спрощена схема системи ремонту ОВТ

Виходячи з рис. 1, систему ремонту ОВТ можна уявляти як мережу масового обслуговування, яка має низку особливостей і для розгляду якої зроблені деякі припущення:

- мережа масового обслуговування є розімкнутою ММО (РММО), тобто потік заявок на вхід мережі є необмеженим, однорідним і здійснюється з зовнішнього незалежного джерела;
- розімкнута ММО включає кінцеву кількість вузлів – систем масового обслуговування;

- вузли можуть бути як одноканальними СМО, так і багатоканальними;
- після завершення обслуговування в деякому вузлі передача заявки в інший вузол здійснюється миттєво;
- усі канали багатоканального вузла є ідентичними і заявка може обслуговуватися будь-яким каналом;
- заявка, яка поступила в багатоканальний вузол, коли всі або декілька каналів вільні, направляється випадковим чином в один із вільних каналів;
- у кожному вузлі РММО є накопичувач заявок безмежної ємності, що означає відсутність відмов заявкам, які поступають, під час їх постановки в чергу, тобто заявка, яка поступає в вузол, завжди знайде в накопичувачі місце для очікування, незалежно від того, скільки заявок уже знаходиться в черзі;
- тривалість обслуговування заявок у всіх вузлах РММО є випадковою величиною;
- обслуговуючий канал вузла не просторує, якщо в його накопичувачі є хоча б одна заявка, причому після завершення обслуговування цієї заявки миттєво з накопичувача обирається наступна заявка;
- у кожному вузлі мережі заявки з накопичувача обираються в порядку надходження за правилом «першим прийшов – першим обслуговують» (FIFO – First In First Out).

Спрощена модель системи ремонту БТОТ як розімкнутої мережі масового обслуговування має вигляд, наведений на рис. 2.

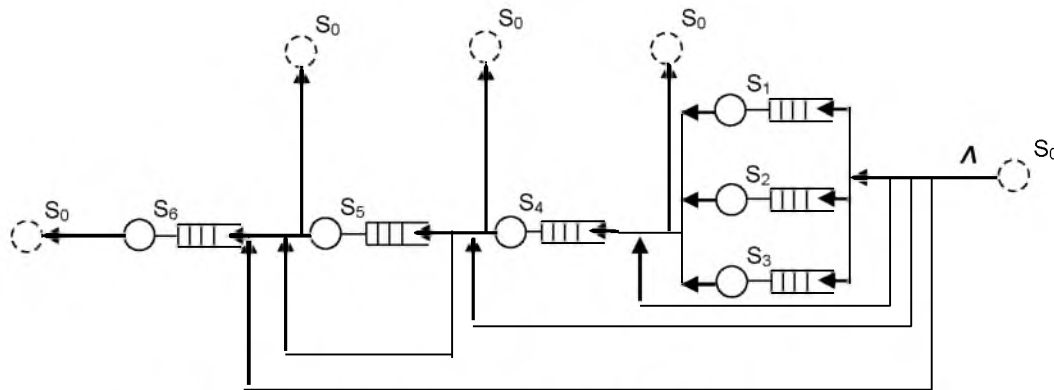


Рис. 2. Схема системи ремонту БТОТ у вигляді розімкнутої ММО

Функціонування РММО визначається сукупністю вузлових і мережових характеристик. Вузлові характеристики оцінюють функціонування кожної системи масового обслуговування та містять характеристики потоку заявок, який поступає на вхід вузла, а також весь набір характеристик, притаманний системам масового обслуговування. Мережові характеристики оцінюють функціонування мережі в цілому та включають:

- завантаженість – середню за часом кількість заявок, які обслуговуються мережею, і одночасно середню кількість каналів, зайнятих обслуговуванням;
- кількість заявок, які очікують обслуговування в мережі;
- кількість заявок, які знаходяться в мережі (в стані очікування і обслуговування);
- сумарний час очікування заявкою обслуговування в мережі;
- сумарний час перебування заявки в мережі.

На основі перелічених параметрів можуть бути розраховані вузлові та мережові характеристики, що описують ефективність функціонування вузлів і РММО в цілому. Розрахунок характеристик функціонування лінійних розімкнутих однорідних експонентних РММО базується на еквівалентному перетворенні мережі та проводиться в чотири етапи:

- розрахунок коефіцієнтів передач α_j та значень інтенсивності потоків заявок λ_j у вузлах $j = 1, n$ РММО;

- перевірка умови відсутності перевантажень у РММО;
- розрахунок вузлових характеристик;
- розрахунок мережеских характеристик.

Для прикладу розглянемо визначення параметрів системи ремонту БТОТ, яка діє в Сухопутних військах ЗС України (рис. 2).

Виходячи з спрощеної моделі, яка зображена на рис. 2, можна задати параметри розімкнутої ММО:

- число СМО дорівнює $N = 6$;
- число каналів у СМО 1–3 дорівнює 1, в інших СМО знаходиться в результаті розрахунків, виходячи з максимуму коефіцієнта завантаження (однак за умови, що він менше одиниці);
- інтенсивність вхідного потоку заявок Λ , яка складається з інтенсивності пошкоджень у результаті бойових дій та інтенсивності відмов, які виникли внаслідок низької надійності. Для прикладу, який розглядається, значення Λ дорівнює 0,1 од./год;
- середній часом обслуговування $T_{обс1}, \dots, T_{обсN}$ заявок в СМО. Прийнято, що $T_{обс1} = T_{обс2} = T_{обс3} = 50$ год, $T_{обс4} = 100$ год, $T_{обс5} = 150$ год, $T_{обс6} = 200$ год;
- матриця перехідних ймовірностей $P = \| p_{ij} \|$, $i = 1, \dots, N$; $j = 0, \dots, N$. Для моделі варіанта системи ремонту БТОТ, яка розглядається (рис. 2), матриця перехідних ймовірностей виглядає таким чином:

$$P = \begin{array}{c|cccccc} 0 & p_{01} & p_{02} & p_{03} & p_{04} & p_{05} & p_{06} \\ p_{10} & 0 & 0 & 0 & p_{14} & 0 & 0 \\ p_{20} & 0 & 0 & 0 & p_{24} & 0 & 0 \\ p_{30} & 0 & 0 & 0 & p_{34} & 0 & 0 \\ p_{40} & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{45} & p_{46} \\ p_{50} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & p_{56} \\ p_{60} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array}$$

Значення ймовірностей у наведеній матриці перехідних ймовірностей такі: $p_{01} = 0,1$, $p_{02} = 0,1$, $p_{03} = 0,1$, $p_{04} = 0,15$, $p_{05} = 0,25$, $p_{06} = 0,3$, $p_{10} = 0,6$, $p_{14} = 0,4$, $p_{20} = 0,6$, $p_{24} = 0,4$, $p_{30} = 0,6$, $p_{34} = 0,4$, $p_{40} = 0,6$, $p_{45} = 0,3$, $p_{46} = 0,1$, $p_{50} = 0,8$, $p_{56} = 0,2$, $p_{60} = 1,0$.

У результаті проведення розрахунків отримані дані щодо значень мережеских параметрів (середнє число заявок у чергах, середнє число заявок у мережі, середній час очікування заявок у чергах на обслуговування, середній час перебування заявки в мережі) і параметрів кожної СМО, яка функціонує в мережі масового обслуговування, – коефіцієнт передачі, інтенсивність вхідного потоку, коефіцієнт завантаження, середнє число зайнятих каналів, середнє число заявок у СМО, середня довжина черги, середній час очікування заявки в черзі на обслуговування, середній час перебування заявки в СМО (табл. 1).

Аналізуючи розрахункові дані, які представлені в табл. 1, можна визначити, що з точки зору створення раціональної РММО система ремонту досягає максимальної ефективності тоді, коли її продуктивність щодо оброблення вхідного потоку заявок максимальна, а мінімальними є значення таких параметрів, як кількість заявок на обслуговування в черзі та кількість приборів (каналів) обслуговування, які діють у мережі.

Також слід зазначити, що отримані в наведеному прикладі результати розрахунків майже повністю збігаються з розрахунковими даними, які були отримані в інших дослідженнях [10].

Для проведення розрахунків була використана аналітична платформа «AnyLogic», версія 5.4.1.

Таблиця 1

Результати розрахунків показників системи ремонту БТОТ у вигляді розімкнутої ММО

№ пп	Параметр	Номер СМО					
		1	2	3	4	5	6
1	Час обслуговування заявки, год	50	50	50	100	150	200
2	Кількість каналів, од.	1	1	1	3	5	8
3	Коефіцієнт передачі	0,1	0,1	0,1	0,27	0,331	0,3932
4	Інтенсивність вхідного потоку, заявок/год	0,01	0,01	0,01	0,027	0,0331	0,0393
5	Коефіцієнт завантаження	0,5	0,5	0,5	0,9	0,993	0,983
6	Середня кількість зайнятих каналів, од.	0,5	0,5	0,5	2,7	4,965	7,864
7	Середня кількість заявок в СМО, заявок/год	1	1	1	10,05	144,34	62,54
8	Середня довжина черги в СМО, заявок	0,5	0,5	0,5	7,35	139,37	54,676
9	Середній час очікування в черзі, год	50	50	50	272,35	4210,7	1390,5
10	Середній час перебування в СМО	100	100	100	372,35	4360,68	1590,5
Мережа масового обслуговування							
11	Інтенсивність вхідного потоку, заявок/год				0,1		
12	Середня кількість заявок у чергах, заявок/год				202,9		
13	Середня кількість заявок у мережі, заявок/год				219,93		
14	Середній час очікування в чергах, год				2029,03		
15	Середній час перебування заявки в мережі, год				2199,32		

Висновки

1. Запропонований методичний підхід побудований на використанні методів теорії масового обслуговування, зокрема методів дослідження розімкнутих мереж масового обслуговування. Такий підхід на відміну від існуючих дозволяє сформувати раціональну структуру системи ремонту, яка досліджується, як у цілому (як мережі масового обслуговування), так і кожного її елемента окремо (як системи масового обслуговування), розрахувати значення характеристик мережі та її елементів.

2. Наведений у статті приклад свідчить про можливість практичного використання запропонованого методичного підходу.

Перспективи подальших досліджень

Наведений приклад є самим простим, він надає можливості використання РММО у випадках, коли тривалість обслуговування заявок у всіх вузлах є випадковими величинами, які розподілені за експоненціальним законом, а не за іншими законами. В подальших дослідженнях запропонований підхід може бути також використаний у випадку, коли обслуговування здійснюється не за безпріоритетною дисципліною обслуговування (FIFO), що є досить простим випадком, а для рішення більш складних завдань, наприклад, у випадку пріоритетної дисципліни обслуговування.

Список використаних джерел

1. Павловський О.В. Методологічні основи обґрунтування складу сил і засобів системи забезпечення оперативного угруповання військ озброєнням та військовою технікою за критерієм відвернений збиток [Текст] : дис. ... докт. військ. наук : 20.01.05 / Павловський Олег Володимирович. – К. – 2016. – 380 с.
2. Танкотехническое обеспечение танковых (мотострелковых) подразделений в боевых условиях [Текст] : учебное пособие / ГБТУ МО СССР. – М. : Воениздат, 1989. – 223 с.
3. Технічне забезпечення військ (сил) у операції і бою [Текст] : підручник. Частина 1. / В.О. Шуєнкін, О.І. Хазанович, І.С. Ішутін та ін.; під ред. М.І. Шаталенка. – К. : НАОУ, 2001. – 616 с.
4. Павловський О. В. Імовірнісна модель спільного функціонування евакуаційного і ремонтного органів [Текст] / О.В. Павловський, І.С. Ішутін, С.С. Трегубенко // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – 2011. – № 1 (55). – С. 145–154.

5. Мовчан О.М. Удосконалена імовірнісна модель спільного функціонування евакуаційного і ремонтного органів [Текст] / О.М. Мовчан, І.Б. Лук'яець, І.С. Ішутін // Труды університету: зб. наук. пр. – 2011. – № 102. – С. 254–261.

6. Янчик О.Г. Математична модель функціонування системи відновлення пошкоджених зразків озброєння та військової техніки з'єднання (частини) [Текст] / О.Г. Янчик // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – 2011. – № 3 (57). – С. 248–256.

7. Закусило П.С. Метод прогнозування можливостей ремонтних органів на основі опису їхньої роботи марковськими системами масового обслуговування [Текст] / П.С. Закусило, І.С. Ішутін, О.В. Павловський // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – 2010. – № 3 (53). – С. 75–84.

8. Шуєнкін В.О. Метод визначення оптимального складу ремонтно-відновлювального органу [Текст] / В.О. Шуєнкін, П.С. Закусило, І.С. Ішутін // Зб. наук. пр. ЦНДІ ЗС України. – 2013. – № 4 (66). – С. 16–25.

9. Жожикашвили В.А. Сети массового обслуживания [Текст] / В.А. Жожикашвили, В.М. Вишневський. – М : Радио и связь, 1988. – 190 с.

10. Удосконалення методики визначення раціонального складу сил і засобів відновлення озброєння та військової техніки Збройних Сил України під час відбиття збройної агресії [Текст] : звіт про НДР Шалфей (заключний) / ЦНДІ ЗС України; наук. кер. теми П.С. Закусило; викон.: О.В. Парій, В.Л. Козачук [та ін.]. – К., 2016. – 123 с.

Рецензент: Скачков В.В, д.т.н., проф., Військова академія (м.Одеса)

МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ СИСТЕМЫ РЕМОНТА ВООРУЖЕНИЯ И ВОЕННОЙ ТЕХНИКИ КАК СЕТИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

В.Л. Козачук, А.В. Поповиченко, В.П. Харченко

Приведён один из методических подходов к моделированию системы ремонта повреждённого и отказавшего вооружения и военной техники. Методический подход основывается на теории массового обслуживания, в частности на математическом аппарате сети массового обслуживания.

Ключевые слова: ремонт, вооружение и военная техника, сеть массового обслуживания.

METHODICAL APPROACH TO MODELING THE SYSTEM OF REPAIR OF WEAPONS AND MILITARY EQUIPMENT AS A QUEUING NETWORK

V. Kozachuk, A. Popovichenko, V. Kharchenko

One of the methodological approaches to modeling the repair system for damaged and abandoned weapons and military equipment is given. The methodical approach is based on the theory of mass service, in particular on the mathematical apparatus of the queuing network.

Keywords: repair: armament and military equipment, a network of queuing