Центральний науково-дослідний інститут
Збройних Сил України
Military Science. Vol. 1 No. 1. 2023

Моделювання продуктивності ремонтно-відновлюваних органів в умовах бойових дій

Марина Слюсаренко
кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України
03049, Повітрофлотський проспект, 28 Б, Київ, Україна
e-mail:slusarenko.gmail.com
ORCID: 0000-0003-4165-3908

Анотація. Сьогодні, коли рф розпочала повномасштабну війну проти України, найважливішою і найактуальнішою задачею щодо підтримання техніки у боєздатному стані становить пошук шляхів підвищення ефективності функціонування системи її технічного обслуговування та ремонту, тобто продуктивної роботи ремонтно-відновлюваних органів в умовах бойової обстановки. Від ефективної роботи ремонтно-відновлюваних органів буде залежати успіх збройних сил на полі бою.

Метою даного дослідження є моделювання виробничої діяльності ремонтно-відновлюваних органів з урахуванням бойових дій. Дослідження проводилося на прикладі самохідної вогневої установки зенітного ракетного комплексу «Бук-М1».

Для вирішення цієї проблеми використовується метод аналітичного моделювання із застосуванням теорії ймовірності, який дозволяє комплексно розглянути всі підходи до вирішення цього питання.

У статті розглянуті причини, через які військова техніка може виходити з ладу. Це внаслідок обмеженої технічної надійності, через вогневий вплив з боку противника під час ведення бойових дій або за сумісного впливу обох цих факторів. Наводиться варіант знаходження кількості техніки, яка виведена з ладу через кожну з цих причин. Розглядається питання як вплине досягнута величина середнього часу безвідмовної роботи самохідної вогневої установки на характер її пошкодження, як зміниться величина часу наробітку на відмову з урахуванням втрат (відмов) у результаті обмеженої технічної надійності порівняно з величиною відносних втрат за рахунок вогневого впливу з боку противника. Доведено, що з підвищенням середнього часу наробітку до відмови самохідної вогневої установки кількість техніки, виведених з ладу внаслідок тільки обмеженої технічної надійності буде знижуватися. Запропоновано співвідношення між кількістю техніки, яка вийшла з ладу внаслідок обмеженої технічної надійності та кількістю самохідної вогневої установки, що вийшла з ладу через вогневий впливу противника. Оцінено значення ймовірності безвідмовної роботи та імовірності відмови техніки для обох цих випадків. Знаючі очікувану величину ремонтного фонду можна моделювати продуктивність ремонтно-відновлюваних органів з урахуванням бойової обстановки. Урахування співвідношення між кількістю техніки, яка вийшла з ладу через обмежену технічну надійність та кількістю техніки, що відмовила через бойові пошкодження дозволяє підвищити ефективність створюваної у бойових умовах системи відновлення пошкоджених у ході бойових дій самохідних вогневих установок, поліпшити планування виробничої діяльності ремонтно-відновлювальних органів, тобто підвищити у цілому боєздатність військового формування, наприклад, у процесі відбиття нальоту засобів повітряного нападу на війська (об’єкти).

Матеріали статті становлять практичну цінність для прогнозування роботи ремонтно-відновлюваних органів в умовах бойових дій.

Ключові слова: моделювання, технічна надійність, бойова обстановка, імовірність безвідмовної роботи.

Вступ (Introduction)

У мирний час у Збройних Силах будь-якої держави вихід озброєння та військової техніки (ОВТ) з ладу значною мірою обумовлений тривалістю перебування її в експлуатації, оскільки на зразках спостерігаються процеси погіршення технічного стану елементів та матеріалів через їх старіння та зношення. У воєнний час додаються пошкодження техніки в умовах бойової обстановки. До початку війни Збройні Сили України були укомплектовані майже всіма видами ОВТ, але понад 60% техніки перебувало в експлуатації більше 15 років. Військова техніка може виходити з ладу через різні причини: внаслідок обмеженої технічної надійності, через вогневий впливу з боку противника під час ведення бойових дій, або за сумісного впливу обох цих факторів. Дане дослідження проводилося на прикладі самохідної вогневої установки (СВУ) «Бук-М1». Аналіз сучасного технічного стану СВУ показав, що відбуваються досить часті відмови через обмежену технічну надійність. Задача відповідних ремонтно-відновлювальних органів буде зводитись до своєчасного відновлення технічної готовності виведених з ладу СВУ, причому складніше ця задача буде розв'язуватися стосовно техніки, що відмовила внаслідок вогневого впливу з боку противника, у зв'язку з чим ремонтно-відновлювальні органи будуть зайняті, здебільшого, відновленням саме цих СВУ. Тому найважливішою і найактуальнішою задачею в сучасних умовах війни щодо підтримання техніки у боєздатному стані є пошук шляхів підвищення ефективності функціонування її системи технічного обслуговування та ремонту, тобто продуктивної роботи ремонтно-відновлюваних органів в умовах бойових дій.

Питання удосконалення системи технічного обслуговування і ремонту ОВТ відображені в численній літературі як теоретичного так і прикладного характеру. У (Старцев В. В. та ін., 2022) розглядаються методики оцінки ефективності відновлення наземних зразків ОВТ ПС ЗС України як у складі угруповання військ, так і у військових частинах та окремих підрозділах. Автори у (Опенько П. В. та ін., 2021) використовують методику оцінювання можливостей усунення бойових пошкоджень і відновлення придатності ОВТ для проведення розрахунків показників ефективності відновлення бойових засобів зенітного ракетного комплексу. Визначенням показників ефективності відновлення зенітного ракетного озброєння займаються автори у (Доска О. М. та ін., 2020). Моделювання може відігравати вирішальну роль у вдосконаленні виробничої діяльності та підтримці бойових операцій ремонтно-відновлювальних органів. Використовуючи математичні та обчислювальні моделі для імітації різних сценаріїв, стає можливим виявити потенційні вузькі місця, оптимізувати робочі процеси та більш ефективно розподіляти ресурси вважають вчені (Mair J. та ін., 2023) та автори у (National Defense Authorization Act for Fiscal Year, 2023).

Матеріали та методи (Materials and Methods)

Під час бойових дій ремонтно-відновлювальні органи стикаються з низкою унікальних викликів, які можуть суттєво вплинути на їх здатність підтримувати військові операції. Ці виклики можуть включати обмежені ресурси, часові обмеження та непередбачувані умови роботи. Для того, щоб ефективно вирішувати ці проблеми, важливо розуміти специфічні потреби та вимоги ремонтно-відновлювальних органів під час бойових дій. Це дозволить визначити можливості для покращення виробничої діяльності та підтримки бойових дій.

Ефективна виробнича діяльність має вирішальне значення для підтримки бойових дій, оскільки вона дозволяє ремонтно-відновлювальним органам швидко та ефективно усунути пошкодження техніки та інфраструктури, спричинені конфліктом. Щоб досягти такої ефективності, необхідно оптимізувати виробничі процеси і робочі потоки, мінімізувати час

простою і забезпечити ефективний розподіл ресурсів. Це вимагає глибокого розуміння специфічних викликів і вимог, з якими стикаються ремонтно-відновлювальні органи під час бойових дій, а також здатності швидко адаптуватися до мінливих обставин.

Моделювання відіграє важливу роль у вдосконаленні виробничої діяльності та підтримці бойових операцій ремонтно-відновлювальних органів. Використовуючи математичні та обчислювальні моделі для імітації різних сценаріїв, стає можливим виявити потенційні вузькі місця, оптимізувати робочі процеси та більш ефективно розподіляти ресурси. Це може допомогти ремонтно-відновлюваним органам приймати більш обґрунтовані рішення щодо розподілу ресурсів та визначення пріоритетів, що в кінцевому підсумку призведе до більш ефективної та результативної виробничої діяльності. Крім того, завдяки включенню даних з попередніх бойових ситуацій, моделі можуть з часом уточнюватися і вдосконалюватися, що призведе до ще більшої ефективності та результативності у підтримці військових операцій.

Моделювання виробничої діяльності ремонтно-відновлюваних органів може допомогти забезпечити наявність у них необхідних ресурсів для виконання своїх завдань. Беручи до уваги такі фактори, як кількість ОВТ, які потребують ремонту, типи необхідного обладнання та наявність запасних частин, можна розробити модель, яка точно прогнозує попит на ресурси. Це, у свою чергу, може допомогти забезпечити доступність необхідного обладнання та витратних матеріалів у разі потреби, мінімізуючи затримки та простої.

Іншим важливим аспектом моделювання виробничої діяльності в ремонтно-відновлювальних органах є максимізація ефективності. Розробляючи моделі, що враховують бойовий досвід, ремонт і відновлення можна проводити таким чином, щоб мінімізувати простої і максимально підвищити якість робіт. Це може включати розробку моделей, які враховують такі фактори, як види необхідного ремонту, наявність кваліфікованого персоналу та типи необхідного обладнання. Завдяки цьому ремонтно-відновлювані органи можуть гарантувати, що вони працюють на максимальній потужності навіть у найкритичніших ситуаціях, що саме і відбувається в умовах бойових дій.

Крім мінімізації простоїв і максимального підвищення ефективності, моделювання виробничої діяльності в ремонтно-відновлювальних органах також може допомогти мінімізувати затримки в критичних ситуаціях. При розробленні моделей, які враховують типи необхідних ремонтів і наявність ресурсів, ремонтно-відновлювальні органи також можуть гарантувати, що вони здатні швидко реагувати на критичні ситуації. Це може включати розробку моделей, які враховують такі фактори, як типи необхідного обладнання, наявність запасних частин і час, необхідний для завершення ремонту. Таким чином, ремонтно-відновлювальні органи можуть гарантувати, що вони здатні швидко та ефективно реагувати на критичні ситуації, мінімізуючи вплив на бойові дії.

Військова техніка може виходити з ладу через різні причини: внаслідок обмеженої технічної надійності, через вогневий вплив з боку противника під час ведення бойових дій або за сумісного впливу обох цих факторів. Імовірність повної групи несумісних подій буде обчислюватися наступним чином, (О. Вентцель, 2006):

$$P(t) = P(t)_1 + P(t)_2 + P(t)_3 + P(t)_4, \quad (1)$$

де $P(t)_1$ – стан зразка техніки з урахуванням тільки технічної складової;

$P(t)_2$ –стан зразка техніки з урахуванням тільки вогневого впливу противника;

$P(t)_3$ – стан зразка техніки за сумісного впливу обох цих факторів;

$P(t)_4$ – стан зразка техніки якщо ніякі фактори не впливають.

У свою чергу можна записати, що

$$P(t)_1 = P(t)_H \cdot (1 - P(t)_\beta), \quad (2)$$

$$P(t)_2 = P(t)_\beta \cdot (1 - P(t)_H), \quad (3)$$

$$P(t)_3 = P(t)_H \cdot P(t)_\beta, \quad (4)$$

$$P(t)_4 = (1 - P(t)_H) \cdot (1 - P(t)_\beta), \quad (5)$$

де $P(t)_H$ – імовірність безвідмовної роботи СВУ за рахунок тільки обмеженої технічної надійності;

$P(t)_\beta$ – імовірність безвідмовної роботи СВУ за рахунок тільки вогневого впливу противника

Підставляючи вирази (2) – (5) у (1) отримаємо:

$$P(t) = P(t)_H \cdot (1 - P(t)_\beta) + P(t)_\beta \cdot (1 - P(t)_H) + P(t)_H \cdot P(t)_\beta + (1 - P(t)_H) \cdot (1 - P(t)_\beta) =$$
$$= P(t)_H - P(t)_H \cdot P(t)_\beta + P(t)_\beta - P(t)_\beta \cdot P(t)_H + P(t)_H \cdot P(t)_\beta + 1 - P(t)_\beta - P(t)_H +$$
$$+ P(t)_H \cdot P(t)_\beta = 1$$

Отже, результат свідчить, що усі стани СВУ враховані, оскільки імовірність повної групи несумісних подій дорівнює одиниці.

Далі потрібно дослідити як зміниться стан СВУ, коли фактори будуть діяти у різних комбінаціях. Якщо виключити стан зразка техніки коли ніякі фактори не впливають, імовірність безвідмовної роботи СВУ, згідно з теоремою додавання ймовірностей можна записати:

$$P^0(t) = P(t)_1 + P(t)_2 + P(t)_3, \quad (6)$$

Підставляючи вирази (2) – (4) у (6) отримаємо:

$$P^0(t) = P(t)_H \cdot (1 - P(t)_\beta) + P(t)_\beta \cdot (1 - P(t)_H) + P(t)_H \cdot P(t)_\beta =$$
$$= P(t)_H - P(t)_H \cdot P(t)_\beta + P(t)_\beta - P(t)_H \cdot P(t)_\beta + P(t)_H \cdot P(t)_\beta = \quad (7)$$
$$= P(t)_H + P(t)_\beta - P(t)_H \cdot P(t)_\beta$$

Моделювання безвідмовності СВУ без урахування умов бойової обстановки доцільно здійснювати з використанням розподілу Вейбулла-Гнеденко, що дозволяє більш коректно урахувати старіння та зношення її комплектуючих [13]:

$$P(t)_H = e^{-\theta \cdot t^\alpha}, \quad (8)$$

де t – час безперервної роботи СВУ (год);

θ – параметр розподілу Вейбулла, який у даному випадку визначає інтенсивність λ ($\lambda = \frac{1}{T}$, 1/год) відмов СВУ за рахунок обмеженої технічної надійності;

T – величина середнього часу наробітку до відмови СВУ з урахуванням усіх факторів, які впливають на її стан (год);

α – параметр, який враховує старіння та зношення СВУ у процесі експлуатації у військах.

Ймовірність відмови СВУ за рахунок вогневого впливу з боку противника, наприклад, за експоненціального розподілу випадкової величини часу безвідмовної роботи становитиме:

$$P(t)_\beta = e^{-\varepsilon \cdot t}, \quad (9)$$

де ε – узагальнена (вислідна) величина відносних погодинних бойових втрат техніки у результаті вогневого впливу з боку противника.

Підставляючи (8) та (9) у (7) отримаємо вираз для обчислення ймовірності безвідмовної роботи СВУ протягом часу її безперервної роботи з урахуванням обох факторів:

$$P^0(t) = e^{-(\theta \cdot t^{\alpha-1}+\varepsilon)\cdot t} = e^{-\left(\frac{1}{T}\cdot t^{\alpha-1}+\varepsilon\right)\cdot t} \geq P_{ПОТР}, \quad (10)$$

де $P_{ПОТР}$ – необхідне (потрібне) значення ймовірності безвідмовної роботи СВУ в умовах урахування як обмеженої технічної надійності, так і вогневого впливу з боку противника.

Якщо величина ε відома, можна визначити кількість ΔN_β виведених з ладу СВУ тільки за рахунок вогневого впливу з боку противника протягом часу безперервної роботи техніки для майбутнього планування роботи ремонтно-відновлювальних органів. Ця кількість може бути визначена таким чином:

$$\Delta N_\beta = Q_\beta \cdot (1 - Q_H) \cdot N_0, \quad (11)$$

де N_0 – кількість СВУ у підрозділі до початку бойових дій;

Q_H – ймовірність відмови СВУ за рахунок тільки обмеженої технічної надійності;

Q_β – ймовірність відмови ОВТ за рахунок тільки впливу з боку противника.

У той же час СВУ у ході бойових дій можуть виходити з ладу і внаслідок тільки обмеженої технічної надійності. У цьому випадку кількість техніки, що відмовила протягом часу безперервної роботи тільки з цієї причини, визначається так:

$$\Delta N_H = Q_H \cdot (1 - Q_\beta) \cdot N_0, \quad (12)$$

Певна кількість СВУ $\Delta N_{H\beta}$ може бути виведена з ладу як за рахунок обмеженої технічної надійності, так і одночасно внаслідок вогневого впливу на них з боку противника:

$$\Delta N_{H\beta} = Q_H \cdot Q_\beta \cdot N_0. \quad (13)$$

Важливим стає питання, стосовно моделювання виробничої діяльності ремонтно-відновлювальних органів. При цьому, необхідно визначити до якого ступеню можна прогнозувати цю продуктивність залежно від характеру пошкоджень СВУ. Або інакше, як вплине досягнута величина середнього часу безвідмовної роботи СВУ на підтримання СВУ у технічно готовому стані, як зміниться величина T з урахуванням втрат (відмов) у результаті обмеженої технічної надійності порівняно з величиною відносних втрат за рахунок вогневого впливу з боку противника.

Нехай при плануванні величини часу T наробітку до відмови СВУ передбачається, що значення ΔN_H повинно бути у σ разів меншим ніж значення ΔN_β, тобто щоб виконувалося таке співвідношення (за $\varepsilon \neq 0$):

$$\frac{\Delta N_H}{\Delta N_\beta} = \frac{Q_H \cdot (1 - Q_\beta)}{Q_\beta \cdot (1 - Q_H)} = \frac{\left(1 - e^{-\frac{1}{T}\cdot t^\alpha}\right)\cdot e^{-\varepsilon \cdot t}}{\left(1 - e^{-\varepsilon \cdot t}\right)\cdot e^{-\frac{1}{T}\cdot t^\alpha}} = \frac{1 - e^{-\frac{1}{T}\cdot t^\alpha}}{1 - e^{-\varepsilon \cdot t}} \cdot e^{-\left(\varepsilon - \frac{1}{T}\cdot t^{\alpha-1}\right)\cdot t} = \frac{e^{-\left(\varepsilon - \frac{1}{T}\cdot t^{\alpha-1}\right)\cdot t} - e^{-\varepsilon \cdot t}}{1 - e^{-\varepsilon \cdot t}} \leq \sigma, \quad (14)$$

звідки

$$e^{-\left(\varepsilon - \frac{1}{T}\cdot t^{\alpha-1}\right)\cdot t} \leq e^{-\varepsilon \cdot t} + \sigma \cdot \left(1 - e^{-\varepsilon \cdot t}\right), \quad (15)$$

Логарифмуючи цей вираз, одержимо значення часу T наробітку до відмови СВУ в даних умовах застосування техніки протягом безперервної роботи за $\sigma > 0$:

$$T \geq \frac{t^\alpha}{\varepsilon \cdot t + \ln\left[e^{-\varepsilon \cdot t} + \sigma \cdot \left(1 - e^{-\varepsilon \cdot t}\right)\right]}, \quad (16)$$

Саме за такого значення T буде виконана умова $\frac{\Delta N_H}{\Delta N_\beta} \le \sigma$.

Результати і обговорення (Results and Discussions)

Розрахунок часу наробітку до відмови СВУ наведений у таблиці 1.

З таблиці 1 випливає, що, наприклад, за $\sigma = 0{,}2$ переважати будуть вогневі втрати. Отже ремонтні органи повинні бути готові до усунення відмов через вогневий вплив противника.

Таблиця 1. Значення наробітку до відмови для заданих співвідношення σ, необхідного (потрібного) значення ймовірності безвідмовної роботи та часу безперервної роботи

Можливі значення σ	Можливі значення $P_{ПОТР}$				
	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95
1	33 ($\varepsilon = 0{,}0450$)	49 ($\varepsilon = 0{,}0325$)	81 ($\varepsilon = 0{,}0211$)	95 ($\varepsilon = 0{,}0010$)	186 ($\varepsilon = 0$)
0,5	45 ($\varepsilon = 0{,}0597$)	68 ($\varepsilon = 0{,}0435$)	116 ($\varepsilon = 0{,}0282$)	264 ($\varepsilon = 0{,}0137$)	362 ($\varepsilon = 0{,}0050$)
0,45	47 ($\varepsilon = 0{,}0619$)	73 ($\varepsilon = 0{,}0451$)	125 ($\varepsilon = 0{,}0293$)	280 ($\varepsilon = 0{,}0142$)	469 (481) ($\varepsilon = 0{,}0062$)
0,4	50 ($\varepsilon = 0{,}0643$)	77 ($\varepsilon = 0{,}0468$)	134 ($\varepsilon = 0{,}0303$)	307 ($\varepsilon = 0{,}0147$)	643 ($\varepsilon = 0{,}0073$)
0,3	59 ($\varepsilon = 0{,}0700$)	93 ($\varepsilon = 0{,}0509$)	161 ($\varepsilon = 0{,}0328$)	381 ($\varepsilon = 0{,}0159$)	744 ($\varepsilon = 0{,}0077$)
0,2	76 ($\varepsilon = 0{,}0771$)	122 ($\varepsilon = 0{,}0558$)	221 ($\varepsilon = 0{,}0359$)	952 ($\varepsilon = 0{,}0190$)	1082 ($\varepsilon = 0{,}0085$)

Як бачимо, із збільшенням $P_{ПОТР}$ за будь-якого значення σ потрібна величина T збільшується, що природно. Із зменшенням σ, тобто за зменшення ΔN_H за будь-якого значення $P_{ПОТР}$ потрібна величина T повинна збільшуватися, що також є очікуваним. Розрахунки свідчать, що величина ремонтного фонду СВУ через вогневий вплив противника у 1,6 рази перевищує величину ремонтного фонду СВУ, що утворюється внаслідок обмеженої технічної надійності техніки.

Дослідники Національної академії оборони України у своїх роботах, а саме (Хазанович О. І., 2004) та (Поляков А. П., 2004) з різних позицій розглядають роль і місце системи технічного обслуговування та ремонту в системі технічного забезпечення військ, аналізують особливості її функціонування. Варіант визначення кількості запасних частин, необхідних для компенсації бойових пошкоджень зразків озброєння та військової техніки у ремонтних органах різних рівнів надають у (Мальцев В. А. та ін., 2015). Проблему порядку відновлення, ремонту, модернізації, збільшення установленого ресурсу та продовження терміну служби (зберігання) озброєння, військової і спеціальної техніки вирішується у (Постанові КМ. 2018). Автори (В. Шуєнкін та ін., 2010) розглядають проблеми матеріально-технічного забезпечення військ у бойових умовах. Вчені (М. А. Ткачук та ін., 2018) розглядають математичні моделі при зміненні стану елементів бойових машин та технологічних систем для їх виготовлення; (Залевський Г. С. та ін., 2019) пропонують

методику оцінювання ефективності виконання завдань логістичного забезпечення військових частин Повітряних Сил Збройних Сил України у збройному конфлікті.

Але у даних роботах досить опосередковано ідеться про розрахунок ремонтного фонду з урахуванням бойової обстановки.

Висновки (Conclusion)

Таким чином, знаючі очікувану величину ремонтного фонду можна моделювати виробничу діяльність ремонтно-відновлюваних органів з урахуванням бойової обстановки. Урахування співвідношення між кількістю техніки, яка вийшла з ладу через обмежену технічну надійність та кількістю техніки, що вийшла за ладу через бойові пошкодження дає змогу обирати значення середнього часу наробітку до відмови техніки, що дозволяє підвищити ефективність створюваної у бойових умовах системи відновлення пошкоджених у ході бойових дій СВУ, поліпшити планування виробничої діяльності ремонтно-відновлювальних органів, використовуваних для цього, тобто підвищити у цілому боєздатність військового формування, наприклад, у процесі відбиття нальоту засобів повітряного нападу на війська (об'єкти), що прикриваються. За завдання величини σ можливо здійснити розрахунок необхідної для цього величини наробітку до відмови.

Предметом подальшого дослідження може бути розгляд інших факторів, які впливають на продуктивність ремонтно-відновлюваних органів. Це може бути навченість особового складу, фінансова складова, застосування знеособленого ремонту у військах.

Рекомендації (Recommendations)

Матеріали статті становлять практичну цінність для прогнозування роботи ремонтно-відновлюваних органів в умовах бойових дій для фахівців командування Сил логістики Збройних Сил України.

Використані джерела

1. Старцев, В. В., Мусієнко, О. П., Гурін, О. М., & Просянин, В. В. (2022). Методики оцінювання ефективності відновлення озброєння та військової техніки повітряних сил Збройних Сил України. *Зб. наук. пр. Державного наук.-досл. Інституту випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки.* Вип. №2(12). 134–144.
2. Опенько, П. В., Доска, О. М., Дудуш, А. С., & Козир, А. Г. України. (2021). Методологічний підхід до розрахунку ефективності усунення бойових пошкоджень і відновлення працездатності бойових засобів зенітних ракетних комплексів у контрнаступальній операції в сучасних умовах. *Зб. наук. пр. Державного наук.-досл. Інституту випробувань та сертифікації озброєння та військової техніки.* Вип. № 1(7), 68–77.
3. Доска, О. М., Опенько, П. В., & Дудуш, А. С. (2020) Визначення показників ефективності відновлення зенітного ракетного озброєння з урахуванням ресурсних обмежень. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони.* Вип. 1(37). 15–20.
4. Mair, J., Marti, I. Entrepreneurship in and around institutional voids: A case study from Bangladesh (2023). from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883902608000517.
5. National Defense Authorization Act for Fiscal Year. (n.d.). (2023) from https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1605/text.
6. Вентцель, Е. С. (2006) *Теория вероятностей: учеб. пос. для вузов.* Наука.
7. Поляков, А. П., Хазанович, О. І., & Чепак, О. Г. (2004). Методика планування технічного обслуговування бронетанкового озброєння і техніки. *Труди академії: Київ.* 53, 240-243.

8. Поляков, А. П., Чепак, О. Г., & Карабін, С. В. (2004) Методика визначення аналітичної залежності параметра потоку відмов на зразках БТОТ від напрацювання і терміну перебування їх в експлуатації. *Труди академії: Київ*. 49, 288-292.
9. Мальцев, В. А., & Нестеров ,В. Н. (2015). Особенности определения требуемого состава и количества запасных частей для ремонта образцов военной техники. *Известия ТулГУ*. Вип. 2, 118-127.
10. Шуєнкін, В. О., Закусило, П. С., & Хазанович, О. І. (2010) Теоретичні основи матеріально-технічного забезпечення військ (сил): навч. посіб. Київ: МО України, ЦНДІ ЗС України.
11. Ткачук, М. А., Хлань, О. В., Грабовський, А. В., Заворотній, А. В., Веретельник, О. В., Головін, А. М., & Черкашин, А. О. (2018). Математичні моделі напружено-деформованого стану елементів бойових машин та технологічних систем для їх виготовлення. *Вісник НТУ «Харківського політехнічного інституту»,* 7(1283), 121–131. http://library.kpi.harkov.ua.
12. Залевський, Г. С., Леках, А. А., Гурін, О. М., Старцев, В. В., & Калачова, В. В. (2019) Показники та критерії комплексної методики оцінювання ефективності виконання завдань логістичного забезпечення військових частин Повітряних Сил Збройних Сил України у збройному конфлікті. *Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил*. Вип. 3(61), 45–52. http://dx.doi.org/10.30748/zhups.2019.61.07.
13. Постанова Кабінету міністрів України від 26 липня 2018 р. № 591 «Про внесення змін до Порядку відновлення, ремонту, модернізації, збільшення установленого ресурсу та продовження строку служби (зберігання) озброєння, військової і спеціальної техніки». https://ips.ligazakon.net/document/view/KP180591.
14. Risk management and decision making in relation to .... (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-7.
15. S.1605 – National Defense Authorization Act for Fiscal Year .... (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1605/text.
16. Міністерство оборони України. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from http://files.khadi.kharkov.ua/avtomobilnij-fakultet/tekhnologiji-mashinobuduvannya-ta-remontu-mashin/item/download/18949_fef4f47876f40d8b3e7528e1e4e7442d.html
17. Слюсаренко М. О. (2015). *Розвиток методів математичного моделювання процесу зміни безвідмовності бойових засобів зенітних ракетних військ з урахуванням вогневого впливу противника* [Дис. канд. техніч. наук, Центральний науково-дослідний інститут Збройних Сил України].
18. Expedient Repairs – Analysis of Possibilities and Needs. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.aimt.cz/index.php/aimt/article/download/1607/86.
19. Engineering and Manufacturing Development (EMD) Phase. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://aaf.dau.edu/aaf/mca/emd-phase/.
20. FM 4-30.3: Maintenance Operations and Procedures. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm4-30.3%2804%29.PDF.
21. Defense Depot Maintenance. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.govinfo.gov/content/pkg/GAOREPORTS-T-NSIAD-97-111/html/GAOREPORTS-T-NSIAD-97-111.htm.
22. Яковлев, М. Ю., Прібилєв, Ю. Б., & Гудима, В. П. (2015). Використання теорії масового обслуговування для моделювання системи відновлення та метрологічного обслуговування військових засобів вимірювальної техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 1 (22), 144–149. http://sit.nuou.org.ua.

23. Коваленко, О.А. (2016). Оцінювання можливостей ремонтно-відновлюваних органів з евакуації пошкоджених зразків озброєння та військової техніки. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*, 1 (25), 55-59. http://www.irbis-nbuv.gov.ua.
24. Баган, В. Р. (2020). Особливості проведення евакуаційних та ремонтних робіт під час ведення бойових дій механізованими і танковими підрозділами на Сході України. У О. М. Калінін, М. Я. Волощук, С. С. Степанов (Ред), *Перспективи розвитку озброєння та військової техніки сухопутних військ* (с. 7–8). Зб. тез доповідей Міжнародної науково-технічної конференції Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного. https://dspace.pdau.edu.ua.
25. Головко, В. Р. (2021). Розроблення рекомендацій щодо оцінювання ефективності військового ремонту ОВТ ремонтно-відновлюваного органу угрупування ЗС України в районі проведення ООС. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: тези доповідей XXIX міжнародної науково-практичної конференції*. (с. 49-50). http://science.kpi.kharkov.ua.

References

1. Startsev V. V., Musiienko O. P., Gurin O. M. & Prosyanin V. V. (2022). Methods for assessing the effectiveness of the restoration of weapons and military equipment of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine. *Collection of scientific papers of the State Research Institute for Testing and Certification of Arms and Military Equipment.* Issue #2(12). 134-144.
2. Openko P. V., Doska O. M., Dudush A. S., & Kozyr A. H. (2021). Methodological approach to calculating the effectiveness of eliminating combat damage and restoring the performance of combat assets of anti-aircraft missile systems in a counteroffensive operation in modern conditions. *Collection of scientific papers of the State Research Institute for Testing and Certification of Arms and Military Equipment. Issue* No. 1(7), 68-77.
3. Doska O. M., Openko P. V., & Dudush A. S. (2020) Determination of performance indicators for the restoration of anti-aircraft missile weapons taking into account resource constraints. *Modern information technologies in the field of security and defense.* Iss. 1(37). 15-20.
4. Mair J., Marti I. Entrepreneurship in and around institutional voids: A case study from Bangladesh (2023). from https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883902608000517.
5. National Defense Authorization Act for Fiscal Year. (n.d.). (2023) from https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1605/text.
6. Wentzel E.S. (2006) *Theory of probabilities: a textbook for universities.* Nauka.
7. Polyakov A. P., Khazanovich O. I. & Chepak O. H. (2004). Methodology for planning the maintenance of armoured vehicles and equipment. *Proceedings of the Academy: Kyiv*. 53, 240-243.
8. Polyakov A. P., Chepak O. G. & Karabin S. V. (2004) Techniques for planning maintenance of armored weapons and equipment. *Academy works: Kyiv*. 49, p. 288-292.
9. Maltsev V. A. & Nesterov V. N. (2015). Features of determining the required composition and quantity of spare parts for the repair of military equipment. *Izvestiya TulGU*. 2, p. 118-127.
10. Shuienkin V.O., Zakusylo P.S. & Khazanovych O.I. (2010) Theoretical foundations of logistics of troops (forces): a textbook. Kyiv: Ministry of Defense of Ukraine, Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine.
11. Tkachuk M. A., Khlan O. V., Grabovsky A. V., Zavorotnyi A. V., Veretelnyk O. V., Golovin A. M. & Cherkashyn A. O. (2018). Mathematical models of the stress-strain state of elements of combat vehicles and technological systems for their manufacture. Bulletin of *NTU "Kharkiv Polytechnic Institute",* 7(1283), 121-131. http://http://library.kpi.harkov.ua.kpi.harkov.ua.

12. Zalevskyi G.S., Lekakh A.A., Gurin O.M., Startsev V.V. & Kalachova V.V. (2019) Indicators and criteria of a comprehensive methodology for assessing the effectiveness of logistics support tasks of military units of the Air Force of the Armed Forces of Ukraine in an armed conflict. *Collection of scientific works of Kharkiv National University of the Air Force*. Issue 3(61), p. 45-52. http://dx.doi.org/10.30748/zhups.2019.61.07.
13. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of July 26, 2018, No. 591 "On Amendments to the Procedure for Restoration, Repair, Modernization, Increase of the Installed Life and Extension of the Service Life (Storage) of Arms, Military and Special Equipment". https://ips.ligazakon.net/document/view/KP180591.
14. Risk management and decision making in relation to .... (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter-7.
15. S.1605 - National Defense Authorization Act for Fiscal Year .... (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.congress.gov/bill/117th-congress/senate-bill/1605/text.
16. Ministry of Defense of Ukraine. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from http://files.khadi.kharkov.ua/avtomobilnij-fakultet/tekhnologiji-mashinobuduvannya-ta-remontu-mashin/item/download/18949_fef4f47876f40d8b3e7528e1e4e7442d.html
17. Slyusarenko M.O. (2015). *Development of Methods for Mathematical Modelling of the Process of Changing the Reliability of Air Defense Missile Troops with Consideration of the Enemy's Fire Influence* [Candidate of Technical Sciences, Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine].
18. Expedient Repairs - Analysis of Possibilities and Needs. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.aimt.cz/index.php/aimt/article/download/1607/86.
19. Engineering and Manufacturing Development (EMD) Phase. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://aaf.dau.edu/aaf/mca/emd-phase/.
20. FM 4-30.3: Maintenance Operations and Procedures. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.bits.de/NRANEU/others/amd-us-archive/fm4-30.3%2804%29.PDF.
21. Defense Depot Maintenance. (n.d.) Retrieved October 17, 2023, from https://www.govinfo.gov/content/pkg/GAOREPORTS-T-NSIAD-97-111/html/GAOREPORTS-T-NSIAD-97-111.htm.
22. Yakovlev M. Y., Pribylev Y. B., & Gudyma V. P. (2015). The use of queuing theory for modelling the system of restoration and metrological maintenance of military measuring instruments. *Modern information technologies in the field of security and defence*, 1 (22), p. 144-149. http://http://sit.nuou.org.ua.nuou.org.ua.
23. Kovalenko O.A. (2016). Evaluation of the capabilities of repair and restoration bodies for the evacuation of damaged weapons and military equipment. *Modern information technologies in the field of security and defence*, 1 (25), 55-59. http://www.irbis-nbuv.gov.uahttp://www.irbis-nbuv.gov.ua.
24. Bagan V. R. (2020). Features of evacuation and repair work during hostilities by mechanized and tank units in eastern Ukraine. In A.M. Kalinin, M.Y. Voloshchuk S.S., Stepanov (Eds.), *Prospects for the development of weapons and military equipment of the ground forces (pp.* 7-8). Collection of abstracts of the International Scientific and Technical Conference of the Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy. https://dspace.pdau.edu.uadspace.pdau.edu.ua.
25. Holovko, V. R. (2021). Development of recommendations for assessing the effectiveness of military repair of weapons and military equipment of the repair and restoration body of the Armed Forces of Ukraine in the JFO area. *Information technology: science, engineering, technology, education, health: abstracts of the XXIX International Scientific and Practical Conference*. p. 49-50. http://http://science.kpi.kharkov.ua.

Центральний науково-дослідний інститут
Збройних Сил України
Military Science. Vol. 1 No. 1. 2023

Modelling the performance of repair and restoration bodies in combat conditions

Maryna Sliusarenko
PhD in Engineering
Senior Researcher
Central Research Institute of the Armed Forces of Ukraine
28B Povitroflotskyi Ave, Kyiv, Ukraine 03049
ORCID:0000-0003-4165-3908
e-mail:slusarenko.gmail.com
ORCID: 0000-0003-4165-3908

Abstract. Today, when the Russian Federation has launched a full-scale war against Ukraine, the most important and urgent task of maintaining equipment in a combat-ready state is to find ways to improve the efficiency of the system of its maintenance and repair, i.e. the productive work of repair and restoration bodies in a combat situation. The success of the armed forces on the battlefield will depend on the effective work of the repair and maintenance bodies.

The purpose of this study is to model the production activity of repair and restoration bodies taking into account combat operations. The study was conducted on the example of the self-propelled gun of the Buk-M1 anti-aircraft missile system.

To solve this problem, the method of analytical modeling with the use of probability theory is used, which allows a comprehensive consideration of all approaches to solving this issue.

The article discusses the reasons why military equipment can fail. This is due to limited technical reliability, due to fire from the enemy during hostilities, or due to the combined effect of both of these factors. The article provides a variant of finding the number of equipment that is out of service due to each of these reasons. The author considers how the achieved value of the average uptime of a self-propelled gun will affect the nature of its damage, how the value of time between failures will change, taking into account losses (failures) as a result of limited technical reliability, compared to the value of relative losses due to enemy fire. It is proved that with an increase in the average operating time before the failure of a self-propelled gun, the number of vehicles that are disabled due to limited technical reliability alone will decrease. The correlation between the number of vehicles that failed due to limited technical reliability and the number of self-propelled guns that failed due to enemy fire is proposed. The values of the probability of failure-free operation and the probability of equipment failure for both of these cases are estimated. Knowing the expected value of the repair fund, it is possible to model the performance of repair and restoration bodies taking into account the combat situation. Taking into account the ratio between the number of equipment that failed due to limited technical reliability and the number of equipment that failed due to combat damage allows to increase the efficiency of the system of restoration of self-propelled guns damaged in combat operations, improve the planning of production activities of repair and restoration bodies, i.e., increase the overall combat capability of a military formation, for example, in the process of repelling an air attack on troops (objects).

The materials of the article are of practical value for predicting the work of repair and restoration bodies in the conditions of hostilities.

Keywords: modeling, technical reliability, combat situation, probability of failure.