

**DOI 10.33099/2786-7714-2025-1-8-17-22**

**УДК 35.358(477)**

**Попов Сергій Едуардович** (кандидат військових наук, доцент)

**<https://orcid.org/0000-0001-7410-1267>**

**Юфа Євген Агашович** (кандидат військових наук, доцент)

**<https://orcid.org/0000-0002-6362-5986>**

**Салій Анатолій Григорович** (кандидат військових наук, професор)

**<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>**

**Цибанюк Тетяна Іванівна**

**<https://orcid.org/0000-0002-4950-3982>**

*Національний університет оборони України, Київ, Україна*

## **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ ВІДНОВЛЕННЯМ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ РАДІОТЕХНІЧНИХ ВІЙСЬК**

*Розвиток озброєння та військової техніки радіотехнічних військ Повітряних Сил Збройних Сил України, поява на їх озброєнні нових та модернізованих зразків радіоелектронної техніки, зумовлює необхідність пошуку нових шляхів щодо вирішення ряду актуальних на сьогоднішній день завдань, які пов'язані з підвищенням ефективності управління процесом обслуговування, ремонту та відновлення радіоелектронної техніки радіотехнічних військ під час використання її за призначенням як у мирний час, так і в особливий період. Вирішення зазначених завдань покладається на систему управління відновленням радіоелектронної техніки, яка є складовою частиною системи відновлення озброєння та військової техніки радіотехнічних військ.*

*У статті, з метою підвищення ефективності функціонування системи відновлення радіоелектронної техніки радіотехнічних військ запропоновано основні положення методики оцінювання ефективності управління відновленням радіоелектронної техніки радіотехнічних військ, яка базується на інформаційно-аналітичній моделі її функціонування з використанням математичного апарату для моделювання динамічних дискретних систем (апарату Е-мереж) і забезпечує об'єктивний опис та оцінювання ефективності управління відновленням радіоелектронної техніки радіотехнічних військ у режимі реального часу, а також визначено можливі шляхи підвищення пропускної спроможності каналів управління відновленням радіоелектронної техніки радіотехнічних військ за рахунок використання зазначеного апарату Е-мереж.*

*Дослідження проведено з використанням відомих наукових методів, зокрема, системного аналізу та математичного моделювання, індукції та дедукції, які дозволили об'єктивно описати основні процеси, що циркулюють в системі управління відновленням радіоелектронної техніки радіотехнічних військ. Матеріали статті можуть бути корисними для фахівців оперативної і тактичної ланок управління, які займаються питаннями удосконалення функціонування систем управління відновленням озброєння та військової техніки родів військ Повітряних Сил з метою підтримання їх у постійній готовності до використання за призначенням.*

**Ключові слова:** *радіотехнічні війська, радіоелектронна техніка, система управління, відновлення, інформаційно-аналітична модель, моделювання, ремонт, Е-мережа.*

### **Вступ**

За останні роки та з початком розв'язання і ведення повномасштабної війни російської федерації проти України, відбулися значні зміни у підходах щодо застосування сил оборони держави, озброєння та військової техніки, формах і способах ведення операцій (бойових дій) та їх всебічного забезпечення [1].

Розвиток озброєння та військової техніки (ОВТ) радіотехнічних військ (РТВ), які на сьогоднішній день залишаються основним джерелом інформації про повітряну обстановку Збройних Сил (ЗС) України, поява на їх озброєнні нових та модернізованих зразків радіоелектронної техніки (РЕТ) [2], зумовлює необхідність пошуку нових

шляхів щодо вирішення ряду актуальних на сьогоднішній день завдань, які пов'язані з підвищенням ефективності управління процесом обслуговування, ремонту та відновлення РЕТ РТВ під час використання її за призначенням як у мирний час, так і в особливий період [3].

Досвід управління військами (силами) у ході російсько-української війни показав, що система управління відновленням РЕТ РТВ повинна мати високий рівень готовності до управління, забезпечувати можливість як централізованого, так і децентралізованого управління процесом відновлення РЕТ РТВ, а також відповідати вимогам, які висуваються до управління військами (силами) та зброєю [4].

Отже, питання щодо підвищення ефективності функціонування системи управління відновленням РЕТРТВ на сьогоднішній день залишається актуальним і потребує подальшого дослідження.

### **Матеріали та методи**

Підвищення ефективності функціонування системи відновлення РЕТ РТВ можливо за рахунок удосконалення існуючих на сьогоднішній день підходів до управління процесом її відновлення в усіх ланках військового управління (стратегічного, оперативного, тактичного). Одним із пріоритетних напрямків дослідження у зазначеній галузі слід вважати зменшення часу на управління процесом відновлення РЕТ РТВ під час її використання за призначенням [1].

Проведений аналіз існуючого науково-методичного апарату оцінювання ефективності функціонування різних за цільовим призначенням систем відновлення ОВТ ПС ЗС України [4–12], показав, що зазначені у них підходи, щодо ефективного управління процесом відновлення РЕТ РТВ не можуть бути використані у повному обсязі для оцінювання ефективності функціонування системи управління відновленням РЕТ РТВ через неврахування особливостей її організації та функціонування під час бойового застосування радіотехнічних військ.

В основній масі досліджень, присвячених оцінюванню ефективності відновлення ОВТ ПС ЗС України, у т. ч. і РЕТ РТВ, відновлення техніки організовується і здійснюється зазвичай за наступних умов, а саме, коли допустимі терміни відновлення РЕТ РТВ встановлені (заплановані), а складил і засобів ремонтних органів, які будуть задіяні до її відновлення не визначено, або навпаки, коли при наявному (визначеному) складі сил і засобів ремонтних органів терміни проведення відновлювальних робіт не визначені і потребують додаткового уточнення з урахуванням обмеженого часу на їх проведення [2].

Слід зазначити, що в зазначених умовах, ремонтно-відновлювальні роботи, зазвичай, проводяться без урахування впливу якості управління відновленням РЕТ РТВ на ефективність її функціонування. Суттєвим обмеженням даних досліджень є подання системи управління відновленням РЕТ РТВ в ідеальному вигляді, тобто, без урахування ієрархічного характеру її побудови. При цьому вважається, що зазначена система [4]: повністю забезпечена необхідною інформацією щодо обсягу та характеру проведення ремонтно-відновлювальних робіт; всі управлінські рішення приймаються та доводяться до виконавців на його заключному етапі [5].

Виходячи із вище зазначеного, слід зауважити, що час відновлення РЕТ РТВ включає в себе час ремонту та час доставки сил і засобів до об'єкта відновлення не враховує вплив пропускної спроможності каналів управління відновленням РЕТ РТВ.

Отже, метою статті є викладання основних положень методики оцінювання ефективності

управління відновленням РЕТ РТВ, яка, на відміну від існуючих, базується на інформаційно-аналітичній моделі її функціонування з використанням математичного апарату для моделювання динамічних дискретних систем (апарату Е-мереж) і забезпечує об'єктивний опис та оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ у режимі реального часу [6], а також визначення можливих шляхів підвищення пропускної спроможності каналів управління відновленням РЕТ РТВ за рахунок використання зазначеного апарату Е-мереж.

### **Результати**

Система управління відновленням РЕТ РТВ з використанням Е-мереж представляє собою комплексну автоматизовану інформаційно-аналітичну систему, яка інтегрована в електронну мережеву інфраструктуру системи відновлення ОВТ ПС ЗС України і призначена для забезпечення ефективного контролю, обліку та координації процесів технічного обслуговування (ТО) та ремонту РЕТ РТВ у режимі реального часу [7].

Відомо, що апарат Е-мереж заснований на використанні даних про логічні взаємозв'язки спостережуваних в системі подій та умов, котрі визначають здійснення цих подій [7]. Поняття “подія” та “умова” в апараті Е-мереж є базовими і пов'язані відношенням типу “виконуються після” (наприклад “Подія А відбудеться після виконання умови Б”). Побудова повної структури таких відношень для моделюємої проблемної ситуації складає завдання формування моделі.

Послідовна реалізація подій в системі відображається у вигляді послідовного спрацювання її переходів (Рис. 1). Виконання будь-якої умови в системі що моделюється пов'язано з призначенням мітки у відповідності цій умові позиції мережі. Діючі в Е-мережах відношення щодо правил виконання переходу визначають логічні взаємозв'язки між умовами та подіями в системі що моделюється.

Опис схеми переходів  $t$ ,  $x$ ,  $r$ ,  $P$  типів наводиться у [8].

Разом з тим, правильний опис ситуації відносно передачі заявок із органів управління (ОУ) відновленням рівня Повітряних Сил Збройних Сил України в ОУ вищестоящего рівня тільки за допомогою переходів запропонованих в [6] достатньо важко, тому запропоновано, для врахування часу на задоволення заявок на відновлення техніки і часу на доведення заявок до споживача додатково використовувати переходи МР та МК-типів для Е-мереж [9].

Виконання Е-мереж регулюється вирішальними процедурами та процедурами переходів. Вирішальні процедури визначають правила, у відношенні з якими визначаються мітки у вирішальні позиції мережі  $M(r_j)$ . Процедури переходів описують виконання переходів всіх типів в залежності від значень відповідних вирішальних позицій [10].

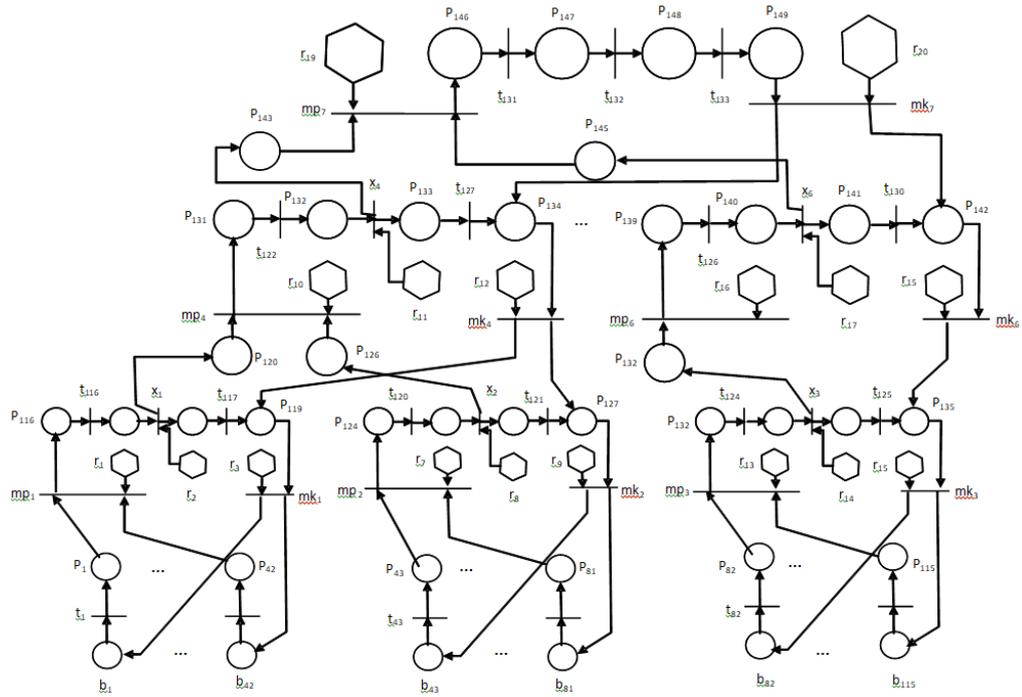


Рисунок 1. Е-мережа управління відновленням РЕТ РТВ

Під час оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ зазвичай використовують показники, які мають найбільший вплив на систему відновлення РЕТ РТВ, зокрема: середній час проведення організаційних заходів з обслуговування заявок на відновлення зразка РЕТ

РТВ ( $T_{орг}$ ), коефіцієнт технічної готовності зразка РЕТ РТВ ( $K_{тг}$ ), середній час знаходження зразка РЕТ у справному стані ( $T_0$ ), середній час відновлення зразка РЕТ ( $T_в$ ). Чисельні значення зазначених показників зазвичай визначаються методом експертних оцінок [11].

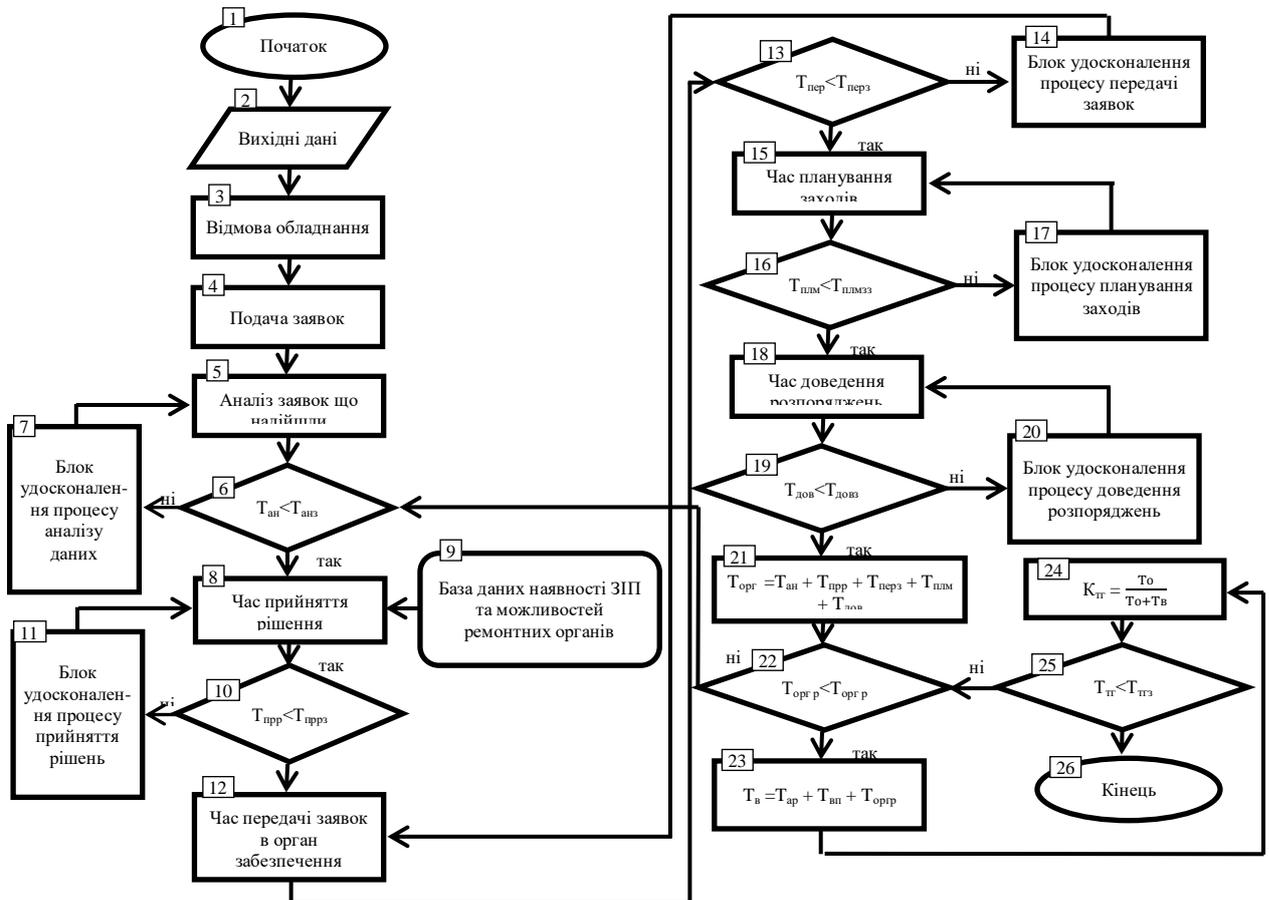


Рисунок 2. Блок-схема методики оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ

На рис. 2 представлено блок-схему методики оцінювання ефективності відновлення РЕТ РТВ, основні положення якої базуються на існуючих науково-методичних підходах щодо оцінювання оперативності управління відновленням ОБТ ПС ЗС України та математичній моделі оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ з використанням математичного апарату моделювання динамічних дискретних систем (апарату Е-мереж) [12].

Розглянемо основні структурні елементи блок-схеми методики оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ.

У блоках 1-4 формуються вхідні данні щодо результатів використання РЕТ РТВ за призначенням, поданих заявок на її обслуговування, ремонт та відновлення.

У блоках 5-7 проводиться аналіз вхідних заявок на обслуговування, ремонт та відновлення РЕТ РТВ з використанням переходів *tr*-типу Е-мережі, що забезпечує автоматизований розподіл цих заявок за номенклатурами в усіх ланках органів управління відновленням РЕТ РТВ.

У блоках 8-11 на основі сформованих баз даних щодо наявної кількості запасних частин, інструментів і приладів (ЗІП), військово-технічного майна (ВТМ), можливостей ремонтних органів з відновлення РЕТ РТВ, проводиться математичне моделювання з використанням переходів *x*-типу Е-мережі та оцінювання результатів прийнятих рішень щодо управління відновленням РЕТ РТВ в режимі реального часу.

У блоках 12-14 проводиться моделювання процесу передачі заявок в довольчі органи в залежності від оснащення органів управління відновленням РЕТ РТВ засобами зв'язку, їх пропускної спроможності та можливостей щодо обробки та передачі інформації в режимі реального часу.

У блоках 15-17, за допомогою переходу Е-мережі *mk*-типу, моделюється та оцінюється процес планування заходів з відновлення РЕТ РТВ та ухвалення вищестоящим органом управління рішення щодо задоволення заявок, які надійшли, з урахуванням умов обстановки що склалися.

У блоках 18-20 моделюються та оцінюються результати доведення розпорядчих документів з відновлення РЕТ РТВ до виконавців, які залежать від можливостей каналів передачі інформації, місць розташування органів управління, бойових порядків радіотехнічних підрозділів та оперативної обстановки, яка склалася в районі ведення бойових дій.

У блоках 21-22 проводиться розрахунок та критеріальна перевірка отриманих результатів оцінювання середнього часу проведення організаційних заходів з обслуговування заявок на відновлення зразка РЕТ (Т<sub>орг</sub>) з урахуванням витраченого часу на: аналіз отриманих заявок на відновлення РЕТ РТВ (Т<sub>ан</sub>);

прийняття рішення щодо відновлення РЕТ РТВ (Т<sub>ріш</sub>); передачу заявок в довольчий орган на відновлення РЕТ РТВ (Т<sub>пер</sub>); планування заходів з відновлення РЕТ РТВ (Т<sub>план</sub>); доведення розпоряджень з відновлення РЕТ РТВ до виконавців (Т<sub>дов</sub>):

$$T_{\text{орг}} = T_{\text{ан}} + T_{\text{ріш}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{план}} + T_{\text{дов}} \quad (1)$$

У блоці 23 проводиться розрахунок середнього часу відновлення зразка РЕТ РТВ (Т<sub>відн</sub>) з урахуванням витраченого часу на проведення активного ремонту (Т<sub>акт</sub>), часу проведення організаційних заходів з обслуговування заявок на відновлення зразка РЕТ (Т<sub>орг</sub>) та часу простою у зв'язку з відсутністю необхідних комплектів ЗІП та ВТМ (Т<sub>зіп</sub>):

$$T_{\text{відн}} = T_{\text{акт}} + T_{\text{орг}} + T_{\text{зіп}} \quad (2)$$

У блоці 24 проводиться розрахунок значення показника технічної готовності зразка РЕТ РТВ (К<sub>тг</sub>) з урахуванням середнього часу його знаходження у справному стані (Т<sub>0</sub>) та середнього часу його відновлення (Т<sub>відн</sub>):

$$K_{\text{тг}} = \frac{T_0}{T_0 + T_{\text{відн}}} \quad (3)$$

У блоці 25 проводиться критеріальне порівняння значення показника технічної готовності зразка РЕТ РТВ (К<sub>тг</sub>) із заданим (К<sub>тг.зад</sub>). У разі невідповідності (К<sub>тг</sub> < К<sub>тг.зад</sub>), корегуються певні вихідні данні та формулюються рекомендації щодо підвищення ефективності управління відновленням РЕТ РТВ.

### **Обговорення**

У статті, з метою підвищення ефективності функціонування системи відновлення РЕТ РТВ запропоновано основні положення методики оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ, яка забезпечує об'єктивний опис та оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ у режимі реального часу, а також визначено можливі шляхи підвищення пропускної спроможності каналів управління відновленням РЕТ РТВ за рахунок використання математичного апарату для моделювання динамічних дискретних систем (апарату Е-мереж).

### **Висновки**

Запропонована методика оцінювання ефективності функціонування системи управління відновленням РЕТ РТВ на відміну від існуючих, базується на інформаційно-аналітичній моделі управління процесом відновлення РЕТ РТВ з використанням апарату Е-мереж в якій додатково враховано існуючу ієрархічну структуру управління відновленням РЕТ РТВ на тактичному рівні (ланка окрема радіолокаційна рота – радіотехнічний батальйон – радіотехнічна

бригада), оперативному-тактичному рівні (повітряне командування) та оперативному рівнях (Командування Повітряних Сил).

Використання апарату Е-мереж в системі управління відновленням РЕТ РТВ дозволить підвищити ефективність: ТО та ремонту РЕТ РТВ шляхом підвищення пропускної спроможності каналів управління її відновленням; контролю, обліку та координації процесів ТО та ремонту РЕТ РТВ у режимі реального часу.

Матеріали статті можуть бути корисними для фахівців оперативної і тактичної ланок управління, які займаються питаннями удосконалення функціонування систем управління відновленням ОБТ родів військ Повітряних Сил з метою підтримання їх у постійної готовності до використання за призначенням.

У подальшому, за обраним напрямком дослідження, доцільно провести оцінювання ефективності управління відновленням РЕТ РТВ під час бойового застосування з розробленням відповідних рекомендацій, практична реалізація яких забезпечить підвищення ефективності функціонування системи управління відновленням РЕТ РТВ у визначених умовах обстановки.

### **Список використаних джерел**

1. Шамко В. Є. Розвиток форм і способів застосування Повітряних Сил Збройних Сил України в сучасних умовах ведення збройної боротьби / В. Є. Шамко, О. М. Жарик, В. В. Коваль // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. Харків : ХНУПС, 2018. № 2 (31). С. 9–15.
2. Стратегія розвитку Повітряних Сил на період до 2035 року : наказ Головнокомандувача Збройних Сил України. Київ : МОУ, КПС ЗСУ, 2020. 36 с.

3. Наконечний О. В. Методика оцінювання ефективності функціонування системи логістичного забезпечення сил оборони держави. Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2020. № 1(38). С. 54–60.

4. Організація та управління технічного обслуговування і ремонту автомобілів: навчальний посібник / О.П.Кравченко. Луганськ: вид-то СНУ ім. Даля, 2009 – 90 с.

5. Практикум по теорії управління: навчальний посібник / під ред. Ю.В.Васильєва, В.Н.Парахіної, Л.І.Ушвицького. 2-ге вид., доп. К.: Фінанси та статистика, 2005. – 304 с.

6. Зайцев Д.А. Математичні моделі дискретних систем: навчальний посібник // Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2004. – 40 с.

7. Dietsch D., Heizmann M., Klumpp D., Naouar M., Podelski A.. Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation: 22nd International Conference, VMCAI 2021, Copenhagen, Denmark, January 17–19, 2021. P. 112–120.

8. Зайцев Д.А. Мережі Петрі і моделювання систем: навчальний посібник // Одеса : ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2006. – 42 с.

9. Мирненко В.І., Тюрін В.В., Юфа Є.А. Підвищення пропускної спроможності каналів системи управління відновленням машин та механізмів з використанням апарату Е-мереж// Науково-теоретичний та практичний журнал випуск № 20(99). Уральський науковий журнал, 2014. 84-92 с.

10. Dassow J., Turaev S. Petri net controlled grammars: the case of special Petri nets. Journal of Universal Computer Science. 2009. Vol. 15, No. 14. P. 2808–2835.

11. Організація експлуатації та ремонту озброєння та військової техніки радіотехнічних військ : навчальний посібник. К.:НУОУ, 2023. 148 с.

12. Maloney J. The Scratch Programming Language and Environment/J. Maloney, M. Resnick, B. Silverman, E. Eastmond // ACM Transactions on Computing Education. 2010. Vol. 10, No. 4. 15 p.

**Serhii Popov** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0001-7410-1267>

**Yevhen Yufa** (Candidate of Military Sciences, Associate Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-6362-5986>

**Anatolii Salii** (Candidate of Military Sciences, Professor)

<https://orcid.org/0000-0002-3491-9301>

**Tatiana Tsybaniuk**

<https://orcid.org/0000-0002-4950-3982>

*The National Defence University of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

## **THE BASIC METHODOLOGY FOR ASSESSING THE MANAGEMENT EFFICIENCY OF THE RECOVERY OF RADIO ELECTRONIC EQUIPMENT OF RADIO-TECHNICAL TROOPS**

*The development of weapons and military equipment of radio-technical troops of the Air Forces of the Armed Forces of Ukraine, the appearance of new and modernized models of electronic equipment in their arsenal necessitates the search for new ways to solve a number of current problems related to increasing the efficiency of managing the process of maintenance, repair and restoration of radio electronic equipment of the radio-technical troops upon its intended use both in peacetime and in a special period. The solution of these tasks relies on the management system of the electronic equipment recovery, which is an integral part of the*

recovery system of weapons and military equipment of radio-technical troops. In order to increase the efficiency of the recovery system of the radio-electronic equipment of radio-technical troops, the article proposes the basic methodology for assessing the management efficiency of the recovery of radio electronic equipment of the radio-technical troops, which is based on an information-analytical model of its functioning using a mathematical apparatus for modeling dynamic discrete systems (E-network apparatus) and provides an objective description and assessment of the management efficiency of the recovery of radio-electronic equipment of the radio-technical troops in real time, and also identifies possible ways to increase the capacity of the channels for managing the recovery of radio-electronic equipment of the radio-technical troops by using the specified E-network apparatus. The research was conducted using well-known scientific methods, in particular, system analysis and mathematical modeling, induction and deduction, which made it possible to describe objectively the main processes circulating in the management system for the recovery of radio electronic equipment of radio-technical troops. The materials of the article may be useful for specialists of the operational and tactical management levels who are engaged in improving the management systems for the recovery of weapons and military equipment of the Air Force in order to maintain them in constant readiness for their intended use.

**Keywords:** radio-technical troops, radio electronic equipment, management system, recovery, information and analytical model, modeling, repair, E-network.

### References

1. Shamko V. YE. Rozvytok form i sposobiv zastosuvannya Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny v suchasnykh umovakh vedennya zbroynoyi borot'by / V. YE. Shamko, O. M. Zharyk, V. V. Koval' // Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny. Kharkiv : KHNUPS, 2018. № 2 (31). S. 9–15.
2. Stratehiya rozvytku Povitryanykh Syl naperiod do 2035 roku : nakaz Holovnokomanduvacha Zbroynykh Syl Ukrayiny Kyiv : MOU, KPS ZSU, 2020. 36 s.
3. Nakonechnyy O. V. Metodyka otsynuyvannya efektyvnosti funktsionuvannya systemy lohystychnoho zabezpechennya syl oborony derzhavy. Nauka i tekhnika Povitryanykh Syl Zbroynykh Syl Ukrayiny. 2020. № 1(38). S. 54–60.
4. Orhanizatsiya ta upravlinnya tekhnichnogo obsluhovuvannya i remontu avtomobiliv: navchal'nyy posibnyk / O.P.Kravchenko. Luhans'k: vyd-to SNU im. Dalya, 2009 – 90 s.
5. Praktykum z teorii upravlinnya: navchal'nyy posibnyk / pidred.. YU.V.Vasyl'yeva, V.N.Parakhinoyi, L.I.Ushvyts'koho. 2-he vyd., dop. K.: Finansy ta statystyka, 2005.-304 s.
6. Zaytsev D.A. Matematychni modeli dyskretnykh system: Navchal'nyy posibnyk // Odesa: ONAZ im. O.S. Popova, 2004. – 40 s
7. Dietsch D., Heizmann M., Klumpp D., Naouar M., Podelski A. Verification, Model Checking, and Abstract Interpretation: 22nd International Conference, VMCAI 2021, Copenhagen, Denmark, January 17–19, 2021. P. 112–120.
8. Zaytsev D.A. Merezhi Petri i modelyuvannya system: navchal'nyy posibnyk //, Odesa : ONAZ im. O.S. Popova, 2006. – 42 s.
9. Myrnenko V.I., Tyurin V.V., Yufa YE.A. Pidvyshchennya propusknoyi spromozhnosti kanaliv systemy upravlinnya vidnovlenniam mashyn ta mekhanizmiv z vykorystannyam aparatu E-merezh// Naukovoteoretychnyy ta praktychnyy zhurnal vypusk № 20(99).Ural's'kyi naukovyy zhurnal, 2014. – 84-92 s.
10. Dassow J., Turaev S. Petri net controlled grammars: the case of special Petri nets. Journal of Universal Computer Science. 2009. Vol. 15, No. 14. P. 2808–2835.
11. Orhanizatsiya ekspluatatsiyi ta remontu ozbroynykh ta viys'kovoyi tekhniki radiotekhnichnykh viys'k. navch. posib. / K.: NUOU, 2023. – 148 s.
12. Maloney J. The Scratch Programming Language and Environment / J. Maloney, M. Resnick, B. Silverman, E. Eastmond // ACM Transactions on Computing Education, 2010. Vol. 10, No. 4. – 15 p.