

СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА МЕТРОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОВТ

УДК 621.396.6

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.28.2023.107-113>Л.М. Сакович¹, Є.В. Рижов², Я.Е. Курята¹, І.М. Гиренко¹, Ю.А. Настишин²

¹Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", м. Київ

²Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, м. Львів

Article history: Received 20 March 2023; Revised 20 March 2023; Accepted 31 March 2023

ВІДНОВЛЕННЯ ВІЙСЬКОВОЇ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ З БОЙОВИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ

Під час ведення бойових дій військова техніка зв'язку може отримувати пошкодження різного ступеня. Це можливо також при аварійних пошкодженнях під час польових навчань або при порушенні технології консервації в процесі постановки техніки на довготривале зберігання, а також при невідповідності умов зберігання встановленим вимогам. В наведених випадках техніка отримує кратні (множинні) дефекти, усунення яких виконують поетапно: спочатку дефектація, а потім діагностування.

У статті вперше пропонується підхід до раціонального розподілу зусиль між етапами при роботі бригади фахівців, що дозволяє мінімізувати середній час відновлення працездатності пошкодженої техніки зв'язку. При цьому використали сучасні досягнення в галузі технічної діагностики і метрології, досліджено можливість комплексного застосування видів групового пошуку дефектів, що не враховано у відомих роботах. Отримано функціональні залежності і формалізовано порядок визначення окремих етапів для мінімізації загального часу відновлення працездатності пошкодженої техніки зв'язку. Наведено приклади використання отриманих результатів і оцінка впровадження в практику військового ремонту в польових умовах. Запропонована блок-схема алгоритму розрахунку розподілу часу дефектації і діагностування при усуненні кратних дефектів військової техніки зв'язку різними способами. Зазначено, що використання запропонованого процесу формалізації раціонального розподілу зусиль бригади фахівців апаратної технічного забезпечення при відновленні військової техніки зв'язку зі слабким ступенем пошкоджень дозволяє у кожному конкретному випадку залежно від реальних умов ремонту отримувати рекомендації щодо досягнення мінімального часу відновлення працездатності.

Встановлено, що використання отриманих результатів дозволяє скоротити середній час відновлення пошкодженої військової техніки зв'язку за рахунок раціонального розподілу зусиль фахівців між етапами дефектації і діагностування від 8% до 25%.

Ключові слова: військова техніка зв'язку, кратні дефекти, дефектація, діагностування, комплексний груповий пошук.

Постановка проблеми

Відновлення працездатності військової техніки зв'язку (ВТЗ) із слабким ступенем пошкодження (відмова до 10% елементів) в польових умовах виконують фахівці ремонтних органів на базі апаратних технічного забезпечення (АТЗ) із залученням екіпажу пошкоджених апаратних зв'язку. Тобто одночасно працює група фахівців, тому необхідно раціонально розподілити їх зусилля для скорочення середнього часу відновлення.

У відомих роботах раніше окремо розглядалися процеси дефектації та діагностування, види групового пошуку дефектів бригадою фахівців, а також

сумісно процеси дефектації і діагностування, але тільки одним фахівцем. Таким чином, виникає актуальне завдання дослідження діяльності групи фахівців по відновленню ВТЗ з кратними дефектами, яке не розглядалось раніше.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Задані оптимізації сумісної діяльності групи фахівців під час діагностування об'єктів великої розмірності розглянуто в [1] за умови відсутності помилок фахівців у оцінці результату виконання перевірок параметрів техніки і припущенні, що засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) заздалегідь справні.

Реально при роботі фахівців АТЗ в польових умовах під час ведення бойових дій внаслідок інтенсивної роботи, накоплення втомленості, стресових ситуацій та інших несприятливих умов ремонту виникають діагностичні помилки, які суттєво впливають на збільшення часу відновлення ВТЗ. Але в [2] показано і кількісно оцінено вплив помилок фахівців на середній час відновлення при абсолютно надійних ЗВТ, що не відповідає дійсності. Пізніше в [3] кількісно оцінено взаємозв'язок метрологічної надійності ЗВТ і часу виконання робіт щодо відновлення техніки.

Питання скорочення часу пошуку кратних дефектів досліджено в [4], де запропоновано використовувати ефективну усічену процедуру пошуку (УПП), яка полягає в скороченні простору пошуку за рахунок виключення частини перевірок, результат виконання яких веде до заздалегідь справної частини виробу. В подальшому цей процес вдалось автоматизувати [5, 6].

Дослідження впливу діагностичних помилок на час відновлення техніки з їх кількісною оцінкою продовжено в [7-9], що дозволило обґрунтовано обирати метрологічні характеристики ЗВТ залежно від вимог до часу відновлення ВТЗ [10, 11].

Отримані результати в наведених публікаціях дозволяють виконати моделювання процесу ремонту ВТЗ з кратними дефектами, результати якого наведено в [12], а також окремо розглянути і формалізувати процес дефектації ВТЗ з аварійними та бойовими пошкодженнями [13, 14].

Подальші дослідження спрямовано на кількісну оцінку часу відновлення ВТЗ групою фахівців АТЗ, але без врахування етапу дефектації і метрологічної надійності ЗВТ [15, 16], що дозволило обґрунтувати стратегію відновлення пошкоджених об'єктів [17] і формалізувати процедуру дефектації [18].

Результати наведених досліджень узагальнено в [19], але тільки за відновлення ВТЗ одним фахівцем, тобто при малій розмірності об'єкта (наприклад, радіостанції тактичної танки управління). Таким чином, в відомих публікаціях і дослідженнях відсутнє рішення наукового завдання раціонального розподілу зусиль групи фахівців АТЗ за відновлення ВТЗ в польових умовах з врахуванням впливу на час ремонту діагностичних помилок і метрологічної надійності ЗВТ.

Мета статті: дослідити і формалізувати процес перерозподілу зусиль екіпажу АТЗ між етапами дефектації і діагностування для мінімізації середнього часу відновлення ВТЗ з кратними дефектами за рахунок комплексного використання видів групового пошуку дефектів.

Виклад основного матеріалу

Задача досягнення поставленої мети розв'язується з використанням методів технічної діагностики, метрології та теорії ймовірностей. Знаходження оптимальної

стратегії відновлення ВТЗ з кратними дефектами базується на реалізації цільової функції

$$T_B(X) = \min_{X^* \in \Delta} T_B(X^*),$$

де T_B – середній час відновлення працездатності;

X – вектор параметра системи ремонту;

X^* – їх значення при розв'язанні задачі;

Δ – множина припустимих значень параметрів.

Задача розв'язується при наступних припущеннях:

- відновлення ВТЗ в два етапи (дефектація і діагностування);

- усунення дефектів одразу після виявлення;

- ремонт ВТЗ виконує екіпаж АТЗ із залученням екіпажу пошкодженої апаратної зв'язку;

- врахування можливості відмови ЗВТ і помилки фахівця в оцінці результату виконання перевірки;

- розглядається найгірший випадок – рівномірний розподіл дефектів в ВТЗ;

- кількість майстрів АТЗ обмежена штатним розрахунком;

- ремонт в польових умовах ВТЗ із слабким ступенем пошкодження;

- вбудовані в ВТЗ засоби діагностування під час ремонту не використовують внаслідок принципу рівномірності пошкодження, що веде до хибного діагнозу;

- під час пошуку кратних дефектів використовують УПП;

- під час ремонту нові дефекти не виникають;

- агрегати і елементи заміни зі складу АТЗ заздалегідь справні;

- під час діагностування використовують умовні алгоритми із модулем вибору (кількість можливих результатів виконання перевірки) більше двох;

- до складу АТЗ входять сучасні цифрові ЗВТ.

На етапі дефектації час визначення кожного наступного дефекту збільшується за законом геометричної прогресії [17-19], при цьому загальний час дефектації дорівнює

$$T_1 = t_1 \frac{(g^{Q_0/R} - 1)}{g - 1} + Q_0 \frac{t_y}{R},$$

де t_1 – час визначення першого дефекту;

g – знаменник геометричної прогресії;

Q_0 – кількість виявлених дефектів;

R – кількість фахівців екіпажу АТЗ;

t_y – середній час усунення несправності.

Аналіз стану пошкодженої ВТЗ показує, що більшість дефектів має явний характер (обрив монтажу, руйнування скляних та керамічних радіодеталей, пошкодження роз'ємів), тому час усунення несправностей перевищує час визначення дефектів. Але після усунення явних несправностей необхідне використання діагностичних програм.

Знаменник геометричної прогресії залежить від кваліфікації фахівців, умов ремонту і визначається за аналізом статистичних даних щодо ремонту аналогічних зразків ВТЗ

$$g = r \sqrt[t_r]{t_1}; \quad g \approx \frac{t_{i+1}}{t_i}; \quad i = \overline{1, r},$$

де t_r – загальний час визначення дефекту r ($1 < r < Q_0$).

У процесі дефектації час визначення чергового дефекту безперервно зростає. Загальна кількість дефектів у ВТЗ постійна Q і після дефектації її на другому етапі ремонту під час діагностування необхідно визначити $Q - Q_0$ дефектів. Тобто зі збільшенням Q_0 час дефектації зростає, а час діагностування зменшується.

Дефектація ВТЗ полягає у визначенні ступеня пошкодження техніки за зовнішніми ознаками і усуненні несправностей для обґрунтованого

висновку про доцільність ремонту, його виду і місця виконання робіт [12-14, 17, 18].

На другому етапі відновлення працездатності ВТЗ використовують види групового пошуку дефектів [15, 16]:

- сумісний для ремонту об'єктів великої розмірності з рознесеними в просторі елементами (наприклад, апаратні або вузли зв'язку);

- зонний при можливості розділення виробу на окремі частини, що виконують певні функції, відновлення яких роблять фахівці високої, але вузької спеціалізації (наприклад, радіопередавач великої потужності підрозділяють на зони пошуку: підсистема електроживлення, збуджувач, тракт підсилення високої частоти).

Функціональна залежність показників якості зонного групового пошуку дефектів під час відновлення ВТЗ наведено в табл. 1, де додатково позначено:

Таблиця 1

Показники якості зонного групового пошуку дефектів під час відновлення техніки зв'язку

Показник	Залежність від якості дефектації
Кількість перевірок в зоні пошуку	$K_Z = 2 \left(\frac{Q - Q_0}{R} - 1 \right) + \frac{Q - Q_0}{R} \log_m \frac{L - (Q - Q_0)}{(Q - Q_0)(m - 1)}$
Кількість груп елементів в зоні	$n_3 = \frac{(Q - Q_0)(m - 1)L}{R(L - (Q - Q_0))}$
Ймовірність правильної постановки діагнозу	$P_3 = P_M p^{1 + RK_Z / (Q - Q_0)}$
Середній час діагностування	$T_{23} = (t K_Z + t_y (Q - Q_0) / R) / P_3$

m – модуль вибору умовного алгоритму пошуку кратних дефектів;

L – загальна кількість елементів ВТЗ;

P_M – метрологічна надійність ЗВТ;

p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки;

t – середній час виконання перевірки.

Оскільки значення T_1 зі збільшенням Q_0 зростає, а T_{23} – зменшується, то їх сума, тобто середній час відновлення

$$T_{B3} = T_1 + T_{23},$$

при деякому значенні Q_0 має мінімум, який необхідно визначити згідно з цільовою функцією досліджень.

Для цього можливо використовувати методи дослідження операцій, але отримані трансцендентні рівняння не дозволяють виявити оптимальне значення Q_0 , за якого T_{B3} мінімально. Тому це визначають прямими обчисленнями.

Наприклад, при наступних вихідних даних: $L = 1000$; $Q = 50$; $R = 4$; $m = 3$; $t = 1 \text{ хв}$; $t_y = 3 \text{ хв}$,

$P_M = 0,95$; $p = 0,9993$; $t_1 = 1 \text{ хв}$; $g = 1,3$, об'єкт

підрозділяють на $Z = R = 4$ зони пошуку, в яких працюють майстри АТЗ.

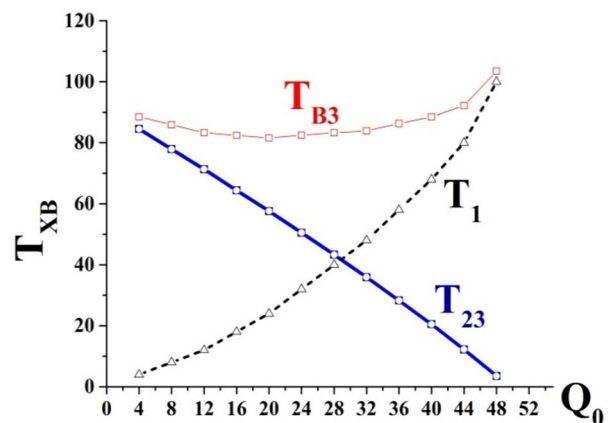


Рис. 1. Залежності часу відновлення техніки зв'язку при зонному груповому пошуку дефектів від якості дефектації

Тоді кількість перевірок в кожній зоні пошуку залежно від значення Q_0 зменшується, а залежності часу виконання окремих етапів відновлення працездатності (T_1 і T_{23}) мають протилежний характер, що відображено на рис. 1, де також показано, що їх сума, тобто T_{B3} , має мінімум

при $Q = 20$. В цьому випадку мінімальне значення $T_{B3} = 82$ хв, а відносний час дефектації складає

$$\eta = \frac{T_1}{T_{B3}} 100\% = 29\%$$

тобто третина часу ремонту займає дефектація ($T_1 = 24$ хв).

Розглянемо показники якості комбінованого групового пошуку дефектів, коли об'єкт підрозділяють на $Z = R/\mu$ зон пошуку (μ – кількість майстрів, що сумісно працюють в зоні пошуку). Аналітичні залежності показників якості комбінованого групового пошуку дефектів при розподілі об'єкта на рівновеликі зони і роботи в кожній зоні μ майстрів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Показники якості зонного комбінованого групового пошуку дефектів під час відновлення техніки зв'язку

Показник	Залежність від якості дефектації
Кількість груп елементів в зоні	$n_K = \frac{\mu(Q - Q_0)L}{Z(L - (Q - Q_0))\ln(\mu + 1)}$
Кількість перевірок в зоні пошуку	$K_Z = \left(\frac{Q - Q_0}{Z} \left(1 + \log_{\mu+1} \frac{(L - (Q - Q_0))\ln(\mu + 1)}{\mu(Q - Q_0)} \right) + \frac{n_K + \mu - 1}{\mu} \right) \frac{1}{\mu}$
Ймовірність правильної постановки діагнозу	$P_K = P_M p^{\mu(1 + \log_{\mu+1}(L/Zn_K))}$
Середній час діагностування	$T_{2K} = (tK_Z + t_y(Q - Q_0)/Z) / \mu P_K$

Для вихідних даних наведеного прикладу при $\mu = 2$ отримуємо $Z = 2$. В такому разі зі збільшенням кількості дефектів, виявлених під час дефектації, маємо зменшення оптимальної кількості груп елементів в зоні пошуку n_K (рис. 2) і відповідно кількість перевірок двома фахівцями в зоні K_Z (рис. 3).

Загальні показники якості комбінованого групового пошуку дефектів наведено на рис. 4, де також оптимальне значення $Q = 20$, при цьому $T_{BK} = 83$ хв, а необхідний час дефектації складає

$$\eta = \frac{T_1}{T_{BK}} 100\% = 29\%$$

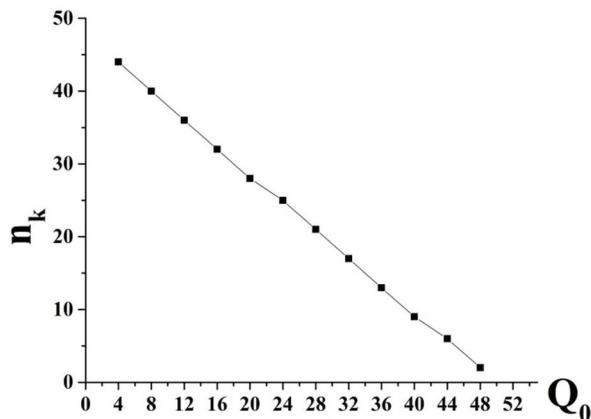


Рис. 2. Залежність кількості груп елементів у зоні пошуку при комбінованому груповому пошуку дефектів у техніці зв'язку під час діагностування якості дефектації

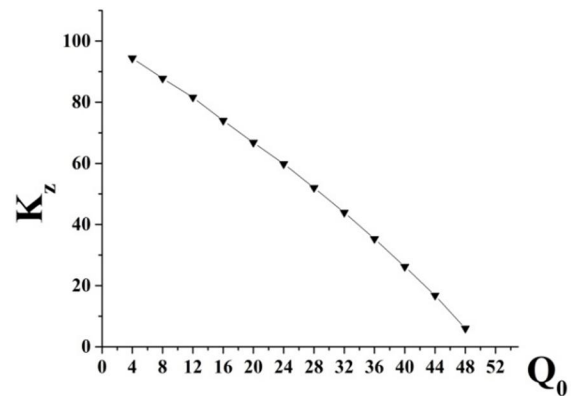


Рис. 3. Залежність кількості перевірок у зоні пошуку при комбінованому груповому пошуку дефектів у техніці зв'язку під час діагностування від якості дефектації

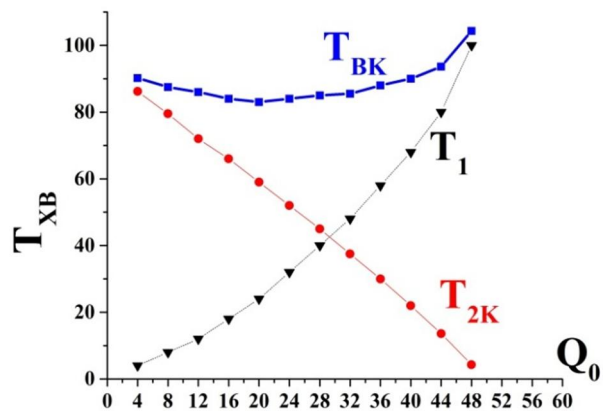


Рис. 4. Залежність часу відновлення техніки зв'язку при комбінованому груповому пошуку дефектів під час діагностування від якості дефектації

У розглянутих прикладах результати практично співпадають, так як кількість фахівців і розмірність об'єкта постійні, а при $m = 3$ і $\mu = 2$

результат виконання перевірки має три градації: менше норми, норма, більше норми.

Оскільки не представляється можливим аналітичне рішення визначення оптимального часу дефектації для мінімізації середнього часу відновлення ВТЗ із кратними дефектами, то пропонується блок-схема алгоритму розв'язання цієї задачі (рис. 5) за допомогою ЕОМ. Розрахунок показників якості виконують окремо для зонного

і комбінованого групового пошуку дефектів, потім обирають найкращий варіант.

Використання запропонованого процесу формалізації раціонального розподілу зусиль бригади фахівців АТЗ при відновленні ВТЗ зі слабким ступенем пошкодження дозволяє у кожному конкретному випадку залежно від реальних умов ремонту отримувати рекомендації щодо досягнення мінімального часу відновлення працездатності.

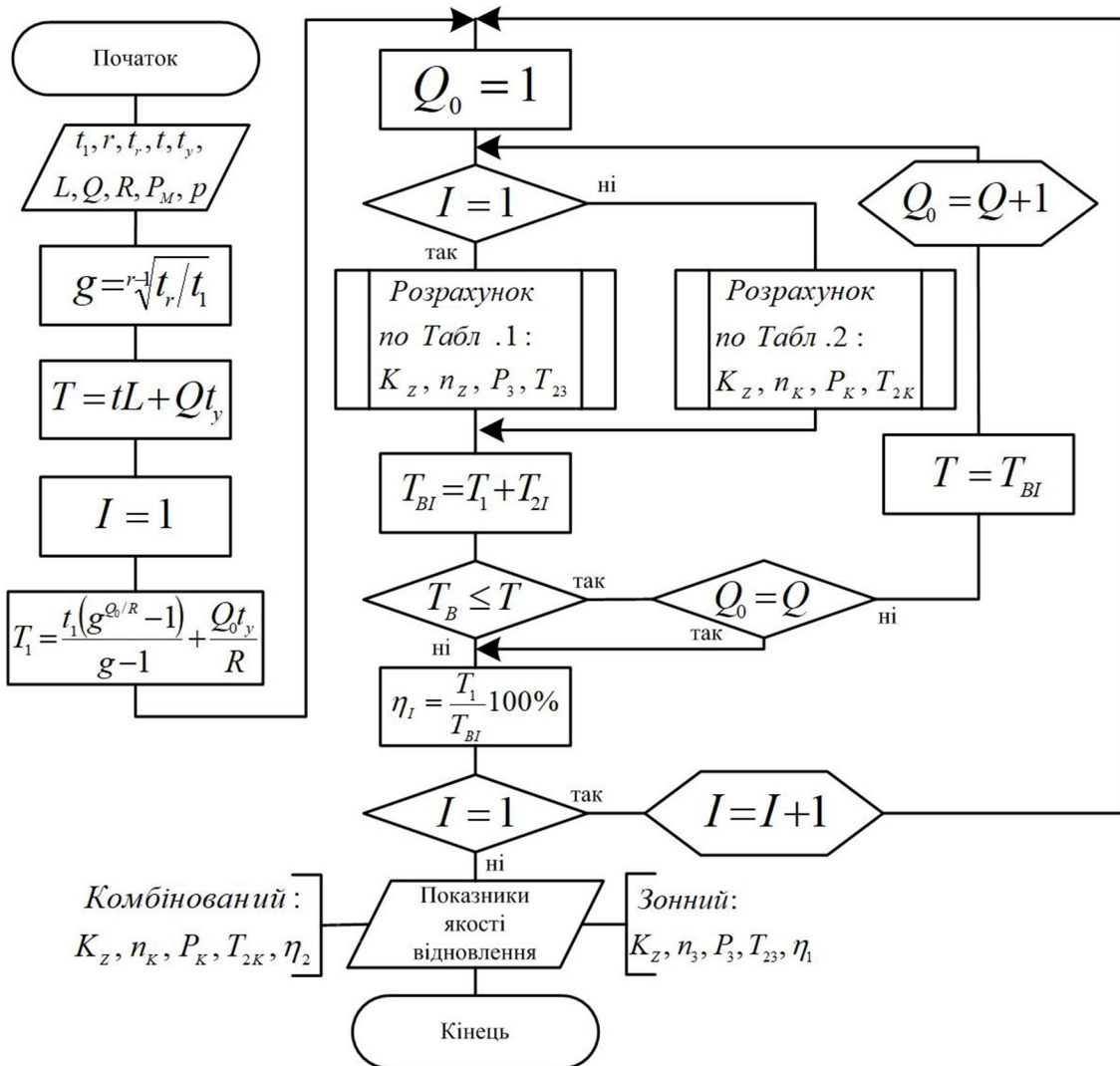


Рис. 5. Блок-схема алгоритму розрахунку розподілу часу дефектації і діагностування при усуненні кратних дефектів військової техніки зв'язку різними способами

Висновки

1. Отримано аналітичні вирази щодо кількісної оцінки показників якості ремонту ВТЗ з аварійними та бойовими пошкодженнями, які враховують колективну роботу бригади майстрів, метрологічну надійність ЗВТ і можливість діагностичних помилок при аналізі результатів виконання перевірки.

2. Вперше досліджено і формалізовано використання комбінованого групового пошуку кратних дефектів (зонного і сумісного) з усіченою процедурою

пошуку, що не розглядалось у відомих роботах, але застосовується в практиці військового ремонту.

3. Використання отриманих результатів дозволяє скоротити середній час відновлення пошкодженої ВТЗ за рахунок раціонального розподілу зусиль фахівців між етапами дефектації і діагностування від 8% до 25%.

4. Запропоновано формалізацію процесу розрахунку часу дефектації для мінімізації середнього часу відновлення пошкодженої ВТЗ в польових умовах.

5. Подальші дослідження доцільно направити на обґрунтування пропозицій щодо проєктування перспективних АТЗ модульного типу з програмним забезпеченням бортової ЕОМ для розробки і практичного використання умовних алгоритмів діагностування із реалізацією усіченої процедури пошуку кратних дефектів у реальному часі.

Список літератури

1. Ксєнз С.П. Диагностика и ремонтнопригодность радиоэлектронных средств. Москва: Радио и связь, 1989. 248 с.

2. Ксєнз С.П., Волинский А.А., Климентов В.И. Теоретические и прикладные задачи диагностирования средств связи и автоматизации. Ленинград: ВАС, 1990. 336 с.

3. Кононов В.Б., Водолажко О.В., Коваль О.В., Науменко А.М., Кондратова І.І. Основи експлуатації засобів вимірювальної техніки військового призначення в умовах проведення АТО. Харків: ХНУПС, 2017. 288 с.

4. Сакович Л.Н., Елисов Ю.Н. Повышение эффективности агрегатного метода ремонта техники связи. *Зв'язок*. Київ, 1995. № 1. С. 47 – 48.

5. Сакович Л.Н., Рыжаков В.А. Автоматизация диагностирования средств связи с кратными дефектами. *Зв'язок*. Київ, 1997. № 2. С. 44 – 46.

6. Сакович Л.Н., Елисов Ю.Н. Устройство сокращения пространства поиска при локализации кратных дефектов. *Зв'язок*. Київ, 1997, № 3, С. 42 – 43.

7. Сакович Л., Мервінський О., Курченко О. Помилки діагностування засобів технічного захисту інформації загального призначення при агрегатному методі ремонту. *Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні*. Київ: НТУУ “КПІ”, 2001. Вип. 2. С. 79 – 85.

8. Сакович Л.Н., Курченко О.А., Лещенко Ю.Н. Оценка диагностических ошибок с применением бинарных условных алгоритмов. *Зв'язок*. Київ, 2002. № 2. С. 30 – 33.

9. Сакович Л.Н., Курченко О.А., Лещенко Ю.Н. Оценка диагностических ошибок с использованием цифровых средств измерений. *Зв'язок*. Київ, 2002. № 3. С. 25 – 27.

10. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. *Measurement. Journal of the International Measurement Confederation*. 2018. Volume 123. pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>

11. Яковлев М.Ю., Рижов Є.В. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку. *Військово-технічний збірник*. 2014. № 10. С. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.10.2014.115-121>

12. Сакович Л.Н., Павлов В.П. Моделирование процесса ремонта техники связи с аварийными повреждениями. *Зв'язок*. Київ, 2004. № 3. С. 54 – 58.

13. Сакович Л.М., Рижов Є.В. Методика предварительной дефектации аппаратных связей с множественными повреждениями в полевых условиях. *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія ПРИЛАДОБУДУВАННЯ*. 2017. Вип. 53(1). С. 32-38. DOI: [http://dx.doi.org/10.20535/1970.53\(1\).2017.106580](http://dx.doi.org/10.20535/1970.53(1).2017.106580).

14. Рижов Є.В., Сакович Л.М. Дослідження показників якості групового пошуку дефектів під час поточного ремонту військової техніки зв'язку. *Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса)*. 2017. № 2(8). С. 82–88.

15. Рыжаков В.А., Сакович Л.Н. Групповой зонный поиск кратных дефектов при ремонте техники связи. *Зв'язок*. Київ, 2005. № 1. С. 57 – 60.

16. Сакович Л.Н., Рыжаков В.А. Совместный групповой поиск кратных дефектов при ремонте техники связи. *Зв'язок*. Київ, 2005. № 2. С. 59 – 62.

17. Рыжаков В.А., Сакович Л.Н. Выбор стратегии восстановления работоспособности техники связи с аварийными повреждениями. *Зв'язок*. Київ, 2005. № 7. С. 47 – 54.

18. Romanenko V.P., Sakovych L.N., Ryzhov Y.V., Gnatyuk S.E., Rozum I.Y. Methodology of justification the type and evaluation of quality group search of defects in the repair radio-electronic means. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 1. 2019. pp. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-1-2>

19. Sakovych L., Ryzhov Ye., Sobolev A. Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Військово-технічний збірник*. 2019. № 21. С. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.72-77>

References

1. Ksenz S.P. (1989), "*Diagnostika i remontoprignodnost' radioelektronnykh sredstv*" [Diagnostics and maintainability of radio-electronic equipment]. Moscow: Radio and Communication, 248 p. [in Russian]

2. Ksenz S.P., Volynsky A.A. and Klimentov V.I. (1990), "*Teoreticheskie i prikladnye zadachi diagnostirovaniya sredstv svyazi i avtomatizatsii*" [Theoretical and applied problems of communication and automation diagnostics]. Leningrad: VAS. 336 p. [in Russian]

3. Kononov V.B., Vodolozhko O.V. and Koval O.V. (2017), "*Osnovy ekspluatacii zasobiv vymirjuval'noji tekhniki vijs'kovoho pryznachennja v umovax provedennja ATO*" [Fundamentals of Operation of Means of Measuring Equipment for Military Purposes in the Conditions of ATO]: Teaching. Manual. Kh. KhNUPS, 288 p. [in Ukrainian]

4. Sakovich L.N. and Elisov Yu.N. (1995), "Povysheniye effektivnosti agregatnogo metoda remonta tekhniki svyazi" [Improving the efficiency of the aggregate method of repairing communication equipment]. *Communication*. № 1. pp. 47–48. [in Russian]

5. Sakovich L.N. and Ryzhakov V.A. (1997), "Avtomatizatsiya diagnostirovaniya sredstv svyazi s kratnymi defektami" [Automation of diagnostics of communication facilities with multiple defects]. *Communication*. № 2. pp. 44–48. [in Russian]

6. Sakovich L.N. and Elisov Yu.N. (1997), "Ustroystvo sokrashcheniya prostranstva poiska pri lokalizatsii kratnykh defektov" [Device for reducing the search space in the localization of multiple defects]. *Communication*. № 3. pp. 42–43. [in Russian]

7. Sakovich L.M., Mervinsky O., Kurchenko O. (2001), *Pomylyki diahnostuvannya zasobiv tekhnichnoho zakhystu informatsiyi zahal'noho pryznachennya pry ahrehatnomu metodi remontu*. [Errors in the diagnosis of general purpose technical information protection tools with the aggregate method of repair], Legal, normative and metrological support of the information protection system in Ukraine. Kyiv: NTUU "KPI", Vol. 2, P. 79–85. [in Ukrainian]

8. Sakovich L.N., Kurchenko O.A. and Leshchenko Yu.N. (2002), "Otsenka diagnosticheskikh oshibok s primeneniym binarnykh uslovnykh algoritmov" [Evaluation of diagnostic errors using binary conditional algorithms]. *Communication*. №. 2. pp. 30–33. [in Russian]
9. Sakovich L.N., Kurchenko O.A. and Leshchenko Yu.N. (2002), "Otsenka diagnosticheskikh oshibok s ispol'zovaniym tsifrovyykh sredstv izmereniy" [Evaluation of diagnostic errors using digital measuring instruments]. *Communication*. №. 3. pp. 25–27. [in Russian]
10. Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev and Yuriy Nastishin. (2018), Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools. *Measurement. Journal of the International Measurement Confederation*. Volume 123. pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>
11. Ryzhov Ye.V. and Yakovlev M. Yu. (2021), Pidkhid do vyboru zasobiv vymiryuval'noyi tekhniki viys'kovoho pryznachennya dlya metrolohichnoho obsluhovuvannya viys'kovoyi tekhniki zv'yazku [Approach to the selection of military measuring equipment for metrological maintenance of military communication equipment]. *Military Technical Collection*. № 10. pp. 115–121. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.10.2014.115-121> [in Ukrainian]
12. Sakovich L.N. and Pavlov V.P. (2004), "Modelirovaniye protsessa remonta tekhniki svyazi s avariynymi povrezhdeniyami" [Modeling the process of repairing communication equipment with emergency damage]. *Communication*. №. 3. pp. 54–58. [in Russian]
13. Sakovych L.N. and Ryzhov Y.V. (2017), "Metodyka predvartel'noy defektatsyy apparatnykh svyazy s mnozhestvennyymi povrezhdeniyamy v polevykh uslovyakh" [The technique of preliminary defecting of hardware connections with multiple damages in field conditions]. *Bulletin of the National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute"*. *INSTRUMENT BUILDING series*. Issue 53(1). pp. 32–38. DOI: [http://dx.doi.org/10.20535/1970.53\(1\).2017.106580](http://dx.doi.org/10.20535/1970.53(1).2017.106580) [in Russian]
14. Ryzhov Y.V. and Sakovych L.N. (2017), "Doslidzhennya pokaznykiv yakosti hrupovoho poshuku defektiv pid chas potochnoho remontu viys'kovoyi tekhniki zv'yazku" [Study of quality indicators of group search for defects during current repair of military communication equipment]. *Collection of scientific works of the Military Academy (Odesa)*. №. 2(8). pp. 82–88. [in Ukrainian]
15. Ryzhakov V.A. and Sakovich L.N. (2005), "Grupповoy zonnny poisk kratnykh defektov pri remonte tekhniki svyazi" [Group zonal search for multiple defects in the repair of communication equipment]. *Communication*. №. 1. pp. 57–60. [in Russian]
16. Sakovich L.N. and Ryzhakov V.A. (2005), "Sovmestnyy grupповoy poisk kratnykh defektov pri remonte tekhniki svyazi" [Joint group search for multiple defects in the repair of communication equipment]. *Communication*. №. 2. pp. 59–62. [in Russian]
17. Ryzhakov V.A. and Sakovich L.N. (2005), "Vybor strategii vosstanovleniya rabotosposobnosti tekhniki svyazi s avariynymi povrezhdeniyami" [Choosing a strategy for restoring the operability of communication equipment with emergency damage]. *Communication*. №. 7. pp. 47–54. [in Russian]
18. Romanenko V.P., Sakovych L.N., Ryzhov Y.V., Gnatyuk S.E. and Rozum I.Y. (2019), Methodology of justification the type and evaluation of quality group search of defects in the repair radio-electronic means. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, No. 1 pp. 18–28. DOI: <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2019-1-2>.
19. Sakovych L., Ryzhov Ye. and Sobolev A. (2019), Method of time distribution for repair of radio electronic means with multiple defects. *Military Technical Collection*. № 21. C. 72–77. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.21.2019.72-77>.

RECOVERY OF MILITARY COMMUNICATION EQUIPMENT WITH COMBAT DAMAGE

L. Sakovych, Ye. Ryzhov, Ya. Kuriata, I. Hyrenko, Yu. Nastishin

During hostilities, military communications equipment can be damaged to varying degrees. This is also possible in the event of accidental damage during field exercises or in the event of a violation of conservation technology in the process of placing the equipment for long-term storage, as well as in case of non-compliance of the storage conditions with the established requirements. In the above cases, the equipment receives multiple (multiple) defects, the elimination of which is carried out in stages: first defect detection, and then diagnosis.

The article proposes for the first time an approach to the rational distribution of efforts between stages during the work of a team of specialists, which allows to minimize the average time to restore the working capacity of damaged communication equipment. At the same time, modern achievements in the field of technical diagnostics and metrology were used, the possibility of complex application of types of group search for defects, which was not taken into account in known works, was investigated. Functional dependencies were obtained and the procedure for determining individual stages was formalized to minimize the total time for restoring the operational capacity of damaged communication equipment. Examples of the use of the obtained results and evaluation of the implementation in the practice of military repair in field conditions are given. The proposed block diagram of the algorithm for calculating the distribution of defect time and diagnosis when eliminating multiple defects of military communication equipment by various methods. It is noted that the use of the proposed process of formalization of the rational distribution of the efforts of the team of hardware and technical support specialists in the restoration of military communication equipment with a weak degree of damage allows in each specific case, depending on the real conditions of the repair, to receive recommendations on achieving the minimum time to restore performance.

It was established that the use of the obtained results allows to reduce the average time of restoration of damaged military communication equipment due to the rational distribution of the efforts of specialists between the stages of defect detection and diagnosis from 8% to 25%.

Keywords: *military communication equipment, multiple defects, defect detection, diagnostics, complex group search.*