

Лев Миколайович Сакович (канд. техн. наук, доцент)
Ігор Миколайович Гиренко

*Національний технічний університет України
 “Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”, Київ, Україна*

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ АПАРАТНОЇ ТЕХНІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В статті на основі використання сучасних досягнень в теорії дискретного пошуку і метрології вперше запропонована модель завантаження апаратної технічного забезпечення засобів спеціального зв'язку як в мирний, так і військовий час, що дозволяє обґрунтовано комплектувати матеріально-технічну базу ремонтних органів територіальних вузлів урядового зв'язку.

Розглянуто можливість використання групового пошуку дефектів та усіченої процедури пошуку кратних дефектів при відновленні працездатності засобів спеціального зв'язку зі слабким ступенем пошкодження. Отримані результати дозволяють мінімізувати вартість засобів вимірюваної техніки апаратних технічного забезпечення при виконанні вимог до показників ремонтпридатності засобів спеціального зв'язку, а також обґрунтовано визначати необхідну кількість робочих місць ремонтного органу по обслуговуванню і ремонту різноманітних груп засобів спеціального зв'язку в польових умовах. Запропоновану модель завантаження апаратної технічного забезпечення доцільно використовувати під час модернізації або створенні ремонтних органів польових вузлів зв'язку.

Ключові слова: *засоби спеціального зв'язку, апаратні технічного забезпечення, відновлення працездатності.*

Вступ

Постановка проблеми. Для вирішення ряду проблем, пов'язаних з забезпеченням необхідної укомплектованості польових вузлів зв'язку за рахунок відновлення засобів зв'язку зі слабким ступенем пошкодження необхідно обґрунтувати склад матеріально-технічної бази ремонтних органів універсальними або спеціалізованими апаратними технічного забезпечення (далі – АТЗ). Крім того, доцільно використовувати ефективні процедури пошуку кратних дефектів за умовними алгоритмами діагностування [1]. Їх використання дозволяє суттєво змінити (до 40%) середній час відновлення працездатності пошкоджених засобів зв'язку, за рахунок чого забезпечити необхідний рівень укомплектованості польових вузлів технічного забезпечення [2].

Робота АТЗ залежить від наявності інформації про розмірність об'єкту ремонту, кількість і кваліфікацію майстрів, якість метрологічного та діагностичного забезпечення. В цьому випадку вигідною моделлю є груповий пошук кратних дефектів, який залежно від конструкції і розмірності засобів зв'язку розрізняють на сумісний або зонний [3-5].

Таким чином, традиційні алгоритми на основі використання перевірок зі бінарним результатом виконання (норма або не норма) потребують більш коректного аналізу та удосконалення, для кількісної оцінки завантаження АТЗ під час моделювання їх роботи.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

В дійсний час отримані нові наукові результати в галузі теорії дискретного пошуку кратних

дефектів [1-5], процесу дефектації засобів зв'язку з аварійними та бойовими пошкодженнями [6,7], оцінки втрат та можливостей ремонтних органів щодо відновлення пошкоджених засобів зв'язку під час бойових дій [8, 9], а також удосконалення метрологічного обслуговування засобів спеціального зв'язку [10]. Але комплектування матеріально-технічної бази польових вузлів зв'язку здійснюється за застарілими методиками [8] без врахування цих наукових досягнень, що не дозволяє суттєво збільшити пропускну спроможність за рахунок підвищення ефективності роботи фахівців.

Тому дослідження напрямів обґрунтування спеціалізації і кількості робочих місць ремонтного органу є досить актуальною науковою задачею, спрямованою на забезпечення необхідної укомплектованості польових вузлів зв'язку за рахунок відновлення засобів зв'язку зі слабкими ступенем пошкодження.

Мета статті – розробка моделі роботи апаратної технічного забезпечення в мирний та військовий час для подальшого використання при обґрунтуванні матеріально-технічної бази засобів спеціального зв'язку.

Виклад основного матеріалу дослідження

Під час обґрунтування і комплектування матеріально-технічної бази територіальних вузлів урядового зв'язку (далі – ТВУЗ) АТЗ для їх ефективного використання в польових умовах необхідно вирішити завдання: розрахунок ремонтного фонду, завантаження спеціалізованих

робочих місць, оцінка якості функціонування. Існуючі універсальні і спеціалізовані АТЗ призначені для виконання в польових умовах поточного ремонту (далі – ПР), вимірювання параметрів засобів спеціального зв'язку (далі – ЗСЗ) під час їх технічного обслуговування (далі – ТО) та усунення аварійних і бойових пошкоджень слабого ступеня.

Розглянемо формування ремонтного фонду окремих груп ЗСЗ ТВУЗ для мирного часу. Кількість ПР залежить від надійності ЗСЗ та інтенсивності їх використання, а також кваліфікація користувачів:

$$z = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i$$

де T – наробіток на відмову, год.;

N – кількість ЗСЗ групи в складі ТВУЗ;

t_i – час використання виробу i за рік, год.

Час ПР ЗСЗ залежить від кількості електрорадіоелементів в виробі (L), середнього часу виконання перевірки (t) і усунення несправності (t_y), кількості фахівців (екіпажа АТЗ) (μ), показників якості засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) зі складу АТЗ, тобто ймовірності правильної оцінки результату перевірки (p), кількості перевірок для визначення технічного стану виробу під час пошуку дефекту

(K): $T_B(L, t, t_y, \mu, p, K)$. Значення p суттєво впливає на вартість ЗВТ, а кількість перевірок K залежить від якості діагностичного забезпечення – виду і форми умовного алгоритму діагностування (далі – УАД), характеру взаємодії фахівців під час групового пошуку дефектів (далі – ГПД). Розрізняють види ГПД: зонний – кожний фахівець працює на окремій ділянці ЗСЗ (наприклад, радіоприймач або збуджувач радіопередавача), сумісний – коли всі фахівці працюють одночасно в об'єкті великої розмірності з рознесеними в просторі елементами (наприклад, підсистема електроживлення апаратної зв'язку) з обміном інформацією про результати перевірок. Кількісні показники ГПД під час ПР за даними [5] зведені в табл. 1. Для скорочення часу ПР пропонується використання агрегатного методу: спочатку визначення і заміна несправного блоку ЗСЗ, а потім пошук і заміна несправного елемента в ньому [4, 8, 11]. Ця обставина потребує виконання двох умов:

$$T_B \leq T_{ВП}; \quad \rho \leq 0,5;$$

де $T_{ВП}$ – припустимий час відновлення ЗСЗ згідно з керівними документами [11], тобто несправний елемент даже при одній помилки фахівця в оцінці результату перевірки знаходиться в блоці, що замінюється (ρ – математичне сподівання відхилення).

Таблиця 1

Кількісні показники групового пошуку дефектів під час поточного ремонту

| Показники | Вид групового пошуку дефекту | |
|--|--|--|
| | сумісний | зонний |
| Середня кількість перевірок, K_μ | $\log_{\mu+1} L$ | $\log_2 \frac{L}{\mu}$ |
| Ймовірність правильної постановки діагнозу, P | p^{K_μ} | p^{1+K_μ} |
| Середній час відновлення, T_B | $\frac{tK_\mu + t_y}{P}$ | $\frac{tK_\mu + t_y}{P}$ |
| Математичне сподівання відхилення діагнозу при помилці оцінці результату перевірки, ρ | $0,5 \left(K_\mu + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p) p^{\mu K_\mu - 1}$ | $0,5 \left(K_\mu + \frac{L}{\mu} \right) (1-p) p^{K_\mu - 1}$ |

При проектуванні перспективних АТЗ для сучасних ЗСЗ необхідно їх комплектувати ЗВТ мінімальної вартості з врахуванням пропозицій [11]. Це завдання вирішується за допомогою блок-схеми алгоритму, що приведений на рис. 1.

Крім виконання ПР АТЗ використовують для вимірювання значень параметрів ЗСЗ під час їх ТО. Загальний час використання ЗВТ АТЗ для цього складає $T_{ТО} = NT_{ПП}$, де $T_{ПП}$ – час перевірки параметрів ЗСЗ при ТО на протязі року. У [8-10] встановлено, що до 10 % ПР виконують екіпажі апаратних зв'язку, а з врахуванням необхідності підготовки ЗВТ і схем вимірювання параметрів, розбирання та збирання ЗСЗ під час діагностування, аналізу результатів та оформлення документації

розрахунковий час ПР і ТО збільшується в 2,5 рази, тобто загальне навантаження АТЗ за рік складає

$$W = 2,5 \left(\frac{0,9(tK_\mu + t_y)}{PT} \sum_{i=1}^N t_i + NT_{ПП} \right),$$

де значення \dot{O}_i визначають з інструкції з експлуатації ЗСЗ. У [8] встановлено, що за винятком бойової підготовки фахівців ремонтного органу, чергування та несення вартуваної служби, час на ремонт ЗСЗ кожного фахівця складає за рік 900 годин, в такому разі необхідна кількість робочих місць для обслуговування і ПР групи ЗСЗ складає

$$R = W / 900\mu.$$

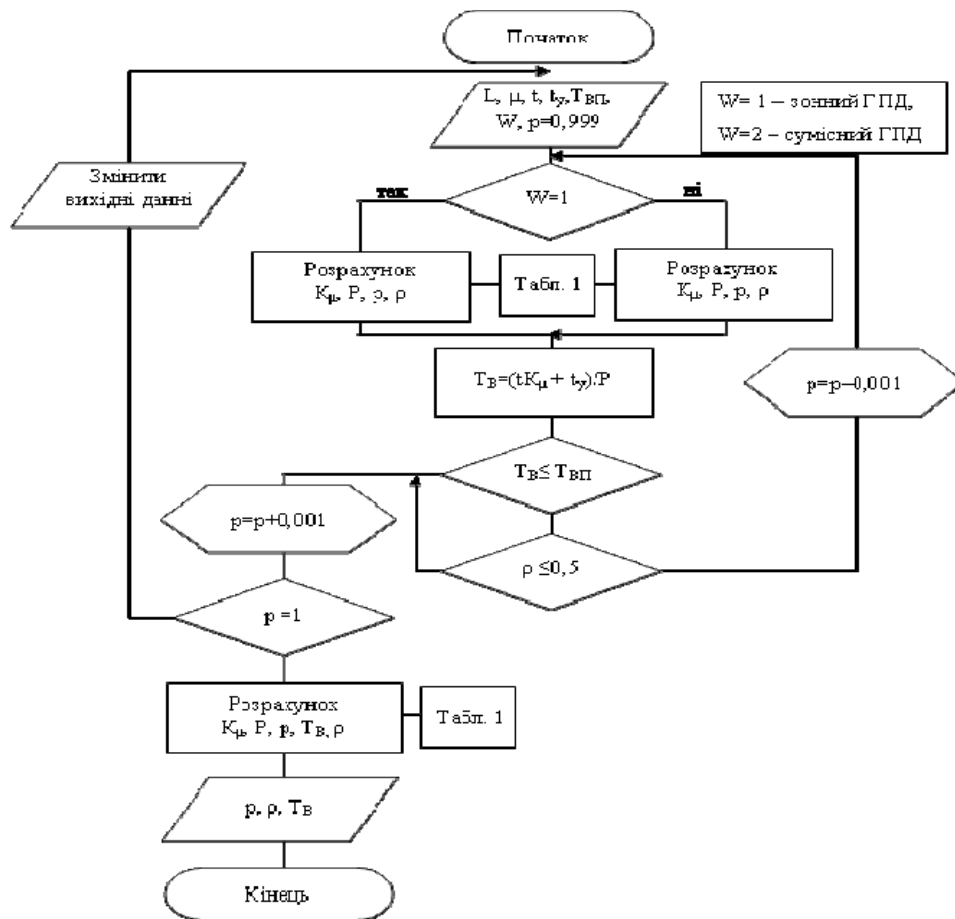


Рис. 1. Блок-схема алгоритму визначення мінімально припустимого значення ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки під час групового пошуку дефектів в процесі поточного ремонту засобів спеціального зв'язку

Якщо $R < 1$, то фахівці і робочі місця АТЗ можливо використовувати для ТО і ПР інших груп ЗСЗ. АТЗ використовують під час польових виходів і навчань ТВУЗ, при розміщенні в місцях постійної дислокації аналогічні робочі місця фахівці використовують на пунктах технічного обслуговування і ремонту (далі – ПТОР).

Під час ведення бойових дій до розрахункового завантаження ремонтного органу мирного часу додається відновлення працездатності ЗСЗ зі слабкими ступенями пошкодження, коли кількість дефектів в ЗСЗ 15-20% більше, ніж при оборонній. В середньому вважаючи загальні втрати ЗСЗ за $\tau = 14$ діб операції $U = 0,35N$ розглянемо

$Q \leq 0,1L$. Відомо, що кількість втрат ЗСЗ при веденні активних бойових дій з часом зростає [3, 6, 9]: якщо в кінці Великої Вітчизняної війни середньодобові втрати від штатної укомплектованості склали 1%, то з появою озброєння масового ураження вони зростають до 3%, а високоточна зброя збільшує втрати до 5% (рис. 2).

Втрати ЗСЗ залежать від їх місця в системі зв'язку і розташування на театрі бойових дій, а також бойових можливостей супротивника і виду операції: втрати під час наступальної операції на структуру формування ремонтного фонду (рис. 3) з врахуванням даних [7-10].

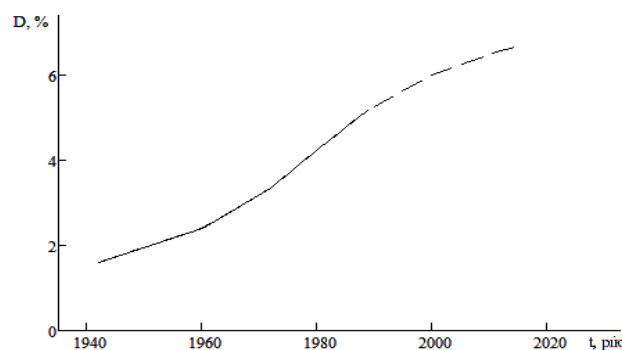


Рис. 2. Середньодобові втрати засобів зв'язку під час ведення активних бойових дій

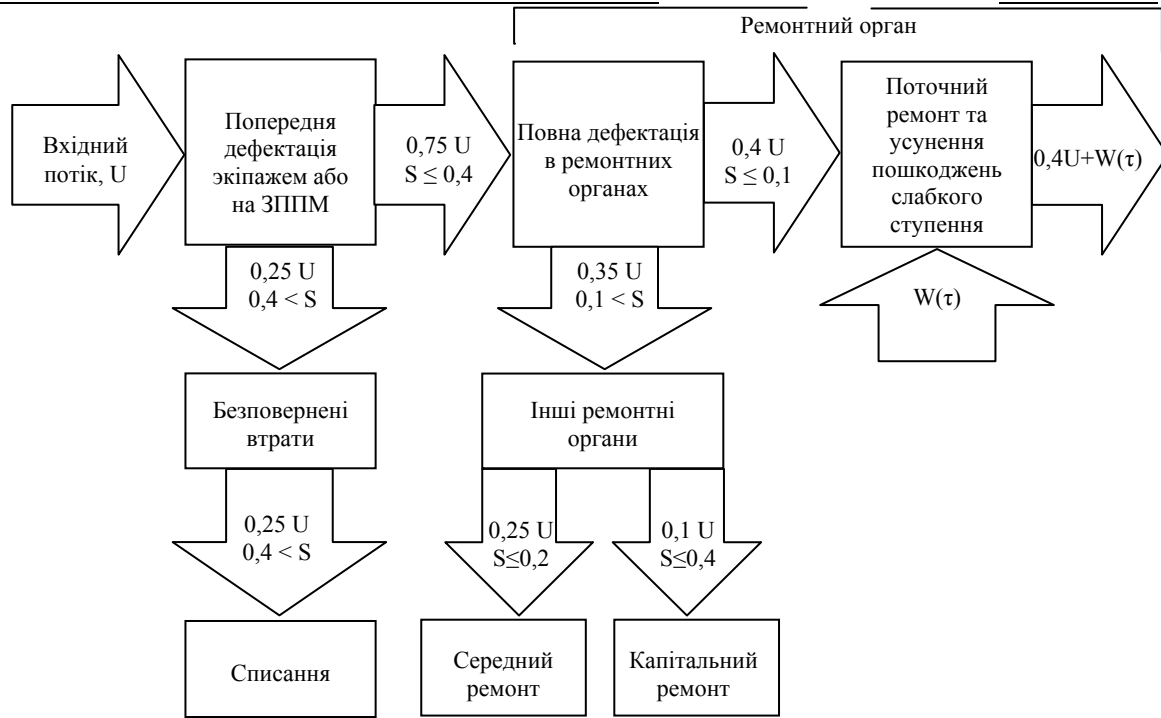


Рис. 3. Структура формування ремонтного фонду під час ведення бойових дій за операцію в продовж $\tau=14$ діб

Попередня дефектація виконується екіпажами апаратних зв'язку або на збірних пунктах пошкоджених машин (далі – ЗППМ). При цьому, якщо $S = Q/L > 0,4$ ЗСЗ відносяться до неповоротних втрат, доля яких складає до $0,25U$, що підлягають списанню. Окремі справні конструктивні одиниці можливо використовувати під час ремонту аналогічних виробів агрегатним методом.

Потім під час повної дефектації з ремонтного органу $0,35U$ ЗСЗ направляють в середній ремонт ($0,25U$) або в капітальний ($0,1U$), якщо $0,1 < S \leq 0,2$ або $0,2 < S \leq 0,4$. До $0,4U$ Засоби спеціального зв'язку зі слабким ступенем

пошкодженням ($S \leq 0,1$) підлягають відновленню в ремонтному органі ТВУЗ в польових умовах. Крім того, вони виконують ПР і ТО ЗСЗ як і в мирний час, але фахівець працює 10 годин за добу.

Завантаження ремонтного органу складає за добу

$$W_{(\tau)} = \frac{2,5 \cdot 0,4U}{\tau} \cdot T_B(L, G, \mu, S, t, y, p) + \frac{W}{365} + \frac{0,75U \bar{a}}{\tau},$$

де значення \bar{a} залежно від виду ГПД визначають за виразами табл. 2 [5], $0,75U \bar{a} / \tau$ – час повної дефектації ЗСЗ, що поступають в ремонтний орган, а значення \bar{a} розраховують згідно з [6, 7].

Таблиця 2.

Кількісні показники групового пошуку кратних дефектів ($Q \leq G$)

| Показники | Вид групового пошуку дефекту | |
|--|---|---|
| | сумісний | зонний |
| Кількість перевірок в групі, $K_{\bar{a}}$ | $\log_{\mu+1} \frac{L}{G}$ | $2 + \log_2 \frac{L}{G}$ |
| Загальна кількість перевірок при пошуку Q дефектів, K_{Σ} | $\frac{(G-Q)(G+(\mu+1)Q)}{2\mu GQ} + (Q-1) \left(1 + \frac{G(L-Q)}{\mu QL} \right) + Q \log_{\mu+1} \frac{L}{G}$ | $G + Q \left(1 + \log_2 \frac{L}{G} \right)$ |
| Ймовірність вірної постановки діагнозу, P | $p^{K_{\Gamma}}$ | $p^{K_{\Gamma}-1}$ |
| Середній час відновлення, T_B | $\frac{tK_{\Sigma} + Qt_y / \mu}{P}$ | $\frac{2K_{\Sigma}t + t_y}{P}$ |

В такому разі для виконання робіт в повному обсязі необхідна кількість робочих місць $R(\tau) = W(\tau) / 10\mu$.

Розглянемо використання отриманих результатів на прикладі формування матеріально-технічної бази ремонту найбільш масових ЗСЗ – радіостанцій малої потужності. Для мирного часу

ТВУЗ має $N = 200$, $t_i = 200$ год., $T = 1000$ год., тоді кількість ПР за рік

$$z = \frac{Nt_i}{T} = 40.$$

З врахуванням $T_B = 1$ год., $T_{III} = 0,5$ год. [11] отримуємо завантаження за рік

$$W = 2,5 \left(\frac{0,9 \cdot 1 \cdot 40}{0,95} + 200 \cdot 0,5 \right) = 345 \text{ год.}, \text{ тобто}$$

достатньо мати одного фахівця ($\mu = 1$) з завантаженням робочого місяця $W = 0,38$. Наприклад, на пункті технічного обслуговування і ремонту 10 ТВУЗ є одне робоче місце з вимірювальним комплектом ИК-3 для перевірки параметрів радіостанцій та набором ЗВТ загального використання (осцилограф, генератори, тестер), що достатньо.

У військовий час завантаження АТЗ складає

$$W(\tau) = \frac{0,35 \cdot 0,4 \cdot 200 \cdot 2,5 \cdot 3}{14} + \frac{345}{365} + \frac{0,75 \cdot 0,35 \cdot 200 \cdot 1}{14} = 19,7$$

та потребує $\mu = 2$ робочих місця або двохзмінну роботу на одному робочому місці.

Висновки й перспективи подальших досліджень

1. У результаті аналізу сучасних досягнень в галузі експлуатації складних технічних об'єктів отримана математична модель функціонування робочих місць апаратних технічного забезпечення в мирний та військовий час.

2. Отримані результати доцільно використовувати під час модернізації існуючих або розробки перспективних ремонтних органів польових вузлів урядового зв'язку.

Література

1. Елисов Ю. Н. Методика синтеза алгоритмов диагностирования военной техники связи и автоматизации: Дис. канд. техн. наук: 20.01.09 – К., 1997. – 297 с. **2. Мервінський О. І.** Методика розробки алгоритмів визначення технічного стану систем і комплексів урядового зв'язку // Зб. наук. праць КВІУЗ. Вип. № 2. – К.: КВІУЗ. – 1999. – С. 101-111. **3. Рыжаков В. А.** Методы обеспечения ремонтнопригодности техники связи Вооруженных сил Украины: Дис. канд. техн. наук: 20.02.14. – К., 2000. – 235 с. **4. Курченко О. А.** Методика разработки алгоритмов и программ диагностирования военной техники связи при агрегатном методе ремонта: Дис. канд. техн. наук: 20.02.14. – К., 2001. – 245 с. **5. Романенко В. П.** Методика паралельного пошуку дефектів в засобах телекомунікаційних систем військового призначення з урахуванням ймовірнісних характеристик процесу діагностування: Дис. канд. техн. наук: 20.03.14. – К., 2014. – 173 с. **6. Павлов В. П.** Дефектація військової техніки зв'язку з аварійними та бойовими пошкодженнями

// Зб. наук. праць ВІПІ НТУУ "КПІ". – К., 2003. – Вип. № 6. – С. 103-110. **7. Павлов В. П.** Методика дефектации военной техники связи при восстановительном ремонте: Дис. канд. техн. наук: 20.02.14. – К., 2006. – 169 с. **8.** Техническое обеспечение и организация ремонта радиоэлектронной техники. Эксплуатация и ремонт радиоэлектронной техники радиотехнических войск / Под ред. Б.П. Креденцера. – К.: КВИРТУ, 1992. – 360 с. **9. Барда А. П.** Методика разработки диагностического обеспечения военной техники связи: Дис. канд. техн. наук: 20.02.14 – К., 2000. – 189 с. **10. Рижов Є. В.** Комплексна методика обґрунтування вимог до метрологічного забезпечення військової техніки зв'язку на основі методів технічної діагностики. – Дис. канд. техн. наук: 20.02.14. – Львів, 2016. – 195 с. **11. Требования** к ремонтнопригодности вновь разрабатываемых и модернизируемых средств связи. РТМ. – М.: Воениздат., 1982. – 51 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АППАРАТНОЙ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

*Лев Николаевич Сакович, кандидат технических наук, доцент
Игорь Николаевич Гиренко*

Институт специальной связи и защиты информации Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского”, Киев, Украина

В статье на основе использования современных достижений в теории дискретного поиска и метрологии впервые представлена модель загруженности аппаратной технического обеспечения средств специальной связи как в мирное, так и военное время, что позволяет обосновано комплектовать материально-техническую базу ремонтных органов территориальных узлов правительственной связи.

Рассмотрена возможность использования группового поиска дефектов и усеченной процедуры поиска кратных дефектов при возобновлении работоспособности средств специальной связи с слабой степенью поврежденности. Полученные результаты позволяют минимизировать стоимость средств измерительной техники аппаратных технического обеспечения при выполнении требований к показателям ремонтнопригодности средств специальной связи, а также обосновано определять необходимое количество рабочих мест ремонтного органа по обслуживанию и ремонту разнообразных групп средств специальной

связи в полевых условиях. Предложенная модель загрузки аппаратной технической обеспечения целесообразно использовать во время модернизации или создании ремонтных органов полевых узлов связи.

Ключевые слова: средства специальной связи, аппаратные технические обеспечения, восстановление работоспособности.

MODELLING THE OPERATION OF TECHNICAL SUPPORT HARDWARE

*Lev Nikolayevich Sakovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Igor Nikolayevich Girenko*

*Institute of special communication and information protection of National Technical University of Ukraine
"Igor Sikorsky Kyiv polytechnic institute", Kyiv, Ukraine*

The article, based on modern achievements in the theory of discrete search and Metrology, first suggested the model of special communications means hardware and technical support download both in peace and wartime, allowing complete logistics maintenance of the territorial units of government communications centres reasonably.

The possibility of using a group search of defects and truncated search procedure of multiple defects in the response and recovery of special communications means with a weak degree of damage is considered. The obtained results allow us to minimize the cost of hardware and technical support measuring technology in the implementation of the requirements to special communications means maintainability, and to determine reasonably the required number of jobs on maintenance and repair of various groups of special communications means in the field. The suggested model of downloading hardware and technical support is appropriate to use when upgrading or creating maintenance bodies of the field communications centres.

Keywords: special communications means, hardware and technical support, equipment recovery.

References

- 1. Elisov Yu. N.** Methods of synthesis of military communications and automation equipment diagnostic algorithms [Metodika sinteza algoritmov diagnostirovaniya voennoj tehniki svjazi i avtomatizacii]: Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.01.09 – K., 1997. – 297 p.
- 2. Mervinskiy O. I.** Methods of algorithms development for determination of government communications complexes and systems technical condition [Metodyka rozrobky alhorytmiv vyznachennya texnichnoho stanu system i kompleksiv uryadovoho zv'yazku] // Coll. of Scientific Papers. KVIUZ works. Vol. № 2. - K.: KVIUZ. – 1999. – P. 101-111.
- 3. Ryzhakov V. V.** Methods to ensure maintainability of communications equipment of the Armed Forces of Ukraine [Metody obespecheniya remontnoprigradnosti tehniki svjazi Vooruzhennyh sil Ukrainy]: Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.02.14. – K., 2000. – 235 p.
- 4. Kurchenko O. A.** Methods of military communications equipment diagnostics programs and algorithms development with an aggregate maintenance method [Metodika razrabotki algoritmov i programm diagnostirovaniya voennoj tehniki svjazi pri agregatnom metode remonta]: Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.02.14. – K., 2001. – 245 p.
- 5. Romanenko V. P.** Method of parallel search of defects in military telecommunications systems based on stochastic characteristics of diagnostics process [Metodyka paralel'noho poshuku defektiv v zasobax telekomunikacijnyx system vijs'kovoho pryznachennya z uraxuvannyam jmovirnisnyx xarakterystyk procesu diahnostuvannya]: Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.03.14. – K., 2014. – 173 p.
- 6. Pavlov V. P.** Fault detection in military communications equipment with accidents and combat damages [Defektaciya vijs'kovoyi texniki zv'yazku z avarijnymy ta bojovymy poshkozhennyamy] // Coll. of Scientific Papers. VITI NTUU "KPI". – K., 2003. – Vol. No. 6. – P. 103-110.
- 7. Pavlov V. P.** Methodology of fault detection in military communications equipment during renewal maintenance [Metodika defektacii voennoj tehniki svjazi pri vosstanovitel'nom remonte] Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.02.14. – K., 2006. – 169 p.
- 8.** Technical support and organization of radio-electronic equipment maintenance. Operation and maintenance of radio-electronic equipment of radio-technical troops [Tehnicheskoe obespechenie i organizacija remonta radiojelektronnoj tehniki. Jekspluatacija i remont radiojelektronnoj tehniki radiotehnicheskix vojsk] / Edited by B. P. Kredentser. – K.: KVYRTU, 1992. – 360 p.
- 9. Barda A.P.** Method of diagnostics provision development for military communications equipment [Metodika razrabotki diagnosticheskogo obespecheniya voennoj tehniki svjazi]. Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.02.14 – K., 2000. – 189 p.
- 10. Ryzhov E.V.** Complex method of justification of requirements to metrological support of military communications technology based on the methods of technical diagnostics [Kompleksna metodyka obgruntuvannya vymoh do metrolohichnoho zabezpechennya vijs'kovoyi texniki zv'yazku na osnovi metodiv texnichnoyi diahnostyky]. – Dis. of Cand. of Tech. Sciences: 20.02.14. – Lviv, 2016. – 195 p.
- 11.** Requirements to maintenance readiness of new developed and upgraded communications means [Trebovaniya k remontnoprigradnosti vnov' razrabatyvaemyx i moderniziruemyx sredstv svjazi]. RTM. - M.: Military Publishing., 1982. – 51 p.