

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ З КОМПЛЕКСНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ЇЇ НАДЛИШКОВОСТІ ПРИ ВІДДАЛЕНІ ВІД БАЗ ПОСТАЧАННЯ

MODEL OF TECHNOLOGICAL RECOVERY OF COMMUNICATION EQUIPMENT DURING THE USE OF ITS INTEGRATED REDUNDANCY FOR REMOTED SUPPLY BASES

Рижов Є.В. к.т.н.

Науковий центр Сухопутних військ, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів, Україна; e-mail: zheka1203@ukr.net

Сакович Л.М.², к.т.н., доцент

кафедра Теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних інформаційно-телекомунікаційних систем, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна; e-mail: lev@sakovich.com.ua, alexhodkijow@gmail.com

Ходич О.В.

кафедра Теоретичних основ експлуатації засобів спеціальних інформаційно-телекомунікаційних систем, Інститут спеціального зв'язку та захисту інформації Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут" імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна; e-mail: lev@sakovich.com.ua, alexhodkijow@gmail.com

Yevhen Ryzhov, PhD

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy, Lviv, Ukraine,;

L.Sakovich, PhD, As. – Prof.

National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

O.Khodych

National Technical University "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Ukraine

Анотація

Запропоновано модель процесу визначення технічного стану та відновлення працездатності техніки зв'язку, що враховує специфічні особливості конструктивної і схемної побудови за рахунок вперше отриманих функціональних залежностей впливу різних видів надлишковості об'єктів технічного діагностування на кількісні значення показників їх ремонтпридатності, а також вперше врахована метрологічна надійність засобів вимірювань. Отриману модель доцільно використовувати для розробки рекомендацій щодо модернізації існуючих та проектування перспективних зразків техніки зв'язку, розробки їх діагностичного забезпечення, для обґрунтування вимог до засобів вимірювань апаратних зв'язку і перспективних апаратних технічного забезпечення.

Abstract

The communication system develops in the direction of improvement of communication quality indicators, causing the corresponding complication of products that is not conjugated with the improvement of their reliability. Despite the successes of the technical diagnostics, the correlation between the duration of defect localization and the elimination of the failure (for diagnostics it takes up to 80% of the average recovery time) is observed. Provision the necessary time of restoring the working capacity of communications during their maintenance, ongoing repair and elimination of faulty damage are complicated by the limited forces and means for remote supply bases. The urgency of improving diagnostic support is increased due to the complexity of circuitry of communication technology.

The model of the process of determining the technical condition and the restoration of communication technology, which takes into account the specific features of constructive and circuit construction, is proposed. The scientific novelty lies in the fact that the complex influence of all types of communication technology redundancy on values of their restoration parameters as well as reliability of measuring instruments are taken into account for the first time. Model differs from the known ones since complex approach permits to consider not only the conditions of recovery, but all types of redundancy, inherent in communication technology. We have assessed the quality indicators of diagnostic support that include the probability of correct diagnosis and mathematical expectation of the rejection of the diagnosis from the true value if there exist the specialist error in evaluating the test results. We have also considered the real assumptions and limitations while repairing the mentioned means, expansion of algorithms of single and group defects search.

Ключові слова

Модель процесу відновлення працездатності, надлишковість, техніка зв'язку, діагностичне забезпечення, ремонтпридатність, діагностування

Keywords

Model of Process of Workability Restoration, Redundancy, Communication Mean, Diagnostic Support, Reparability, Diagnostics

1. Вступ

Система зв'язку розвивається в напрямку покращення показників якості зв'язку за рахунок вдосконалення (модернізації) техніки зв'язку (ТЗ), що викликає відповідне ускладнення виробів, яке в окремих випадках не веде до покращення значень показників їх надійності. Як показав досвід відновлення ТЗ в умовах її автономного використання при віддалені від баз постачання (наприклад, ТЗ річкових та морських судів, ТЗ антарктичних та космічних станцій та в інших випадках) ціна її відмов, які зумовлені технічними причинами, аварійними пошкодженнями, зростає, чим і пояснюється підвищення вимог до скорочення часу простою на ремонті. Незважаючи на успіхи технічної діагностики, зберігається співвідношення між часом локалізації дефекту й усуненням несправності (на діагностування витрачається до 80% середнього часу відновлення працездатності). Забезпечення необхідного значення часу відновлення працездатності техніки зв'язку під час технічного обслуговування, поточного ремонту і усунення аварійних пошкоджень слабого ступеня при віддаленні від баз постачання, ускладнюється обмеженням сил і засобів. В цих випадках вони обмежені кількістю екіпажів апаратних зв'язку та технічного забезпечення, а також їх метрологічним та технологічним обладнанням. Тому зростає актуальність удосконалення діагностичного забезпечення за рахунок використання особливостей схемної і конструктивної побудови техніки зв'язку, а також резерву часу при його наявності.

У відомих роботах відсутній системний підхід до комплексного застосування надлишковості для підвищення ремонтпридатності ТЗ і ефективності її діагностування за рахунок скорочення середньої кількості перевірок при пошуку дефектів, при цьому оцінка достовірності діагнозу виконувалася орієнтовно або не проводилася [1–7].

Вказані недоліки були враховані при створенні моделі процесу визначення технічного стану та відновлення працездатності ТЗ з комплексним використанням її надлишковості під час ТО і ПР при віддалені від баз постачання.

2. Мета роботи

Метою роботи є створення моделі процесу визначення технічного стану та відновлення працездатності техніки зв'язку, яка буде враховувати специфічні особливості конструктивної і схемної побудови за рахунок вперше отриманих функціональних залежностей впливу різних видів надлишковості об'єктів технічного діагностування на кількісні значення показників їх ремонтпридатності.

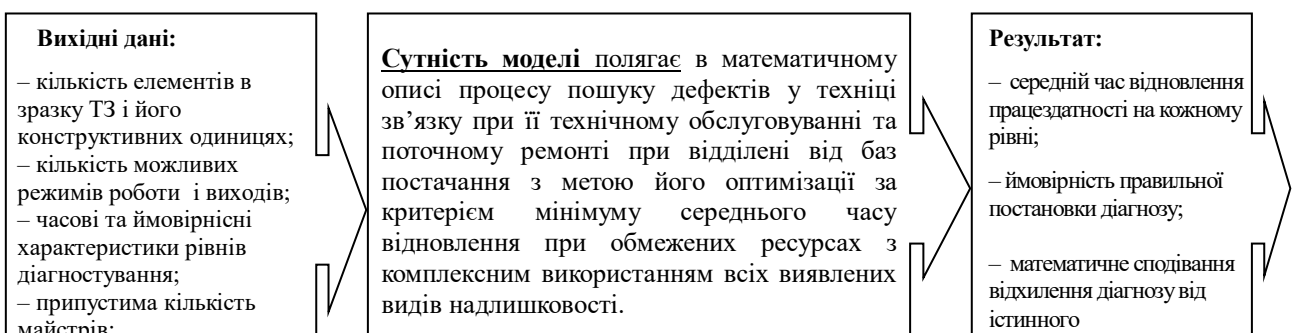
3. Матеріали та модель

Модель призначена для створення і дослідження нових алгоритмів визначення технічного стану ТЗ з врахуванням особливостей реальних технічних та технологічних задач її відновлення, які полягають в комплексному використанні всіх видів надлишковості.

Сутність моделі полягає в математичному описі процесу пошуку дефектів у ТЗ при її ТО та ПР при віддалені від баз постачання та ремонту з метою оптимізації за критерієм мінімуму середнього часу відновлення при обмежених ресурсах.

Структурна схема моделі приведена на рис. 1.

Вихідні дані для використання моделі одержують після аналізування технічного опису ТЗ, відомостей про умови ремонту, форм і видів алгоритмів діагностування.



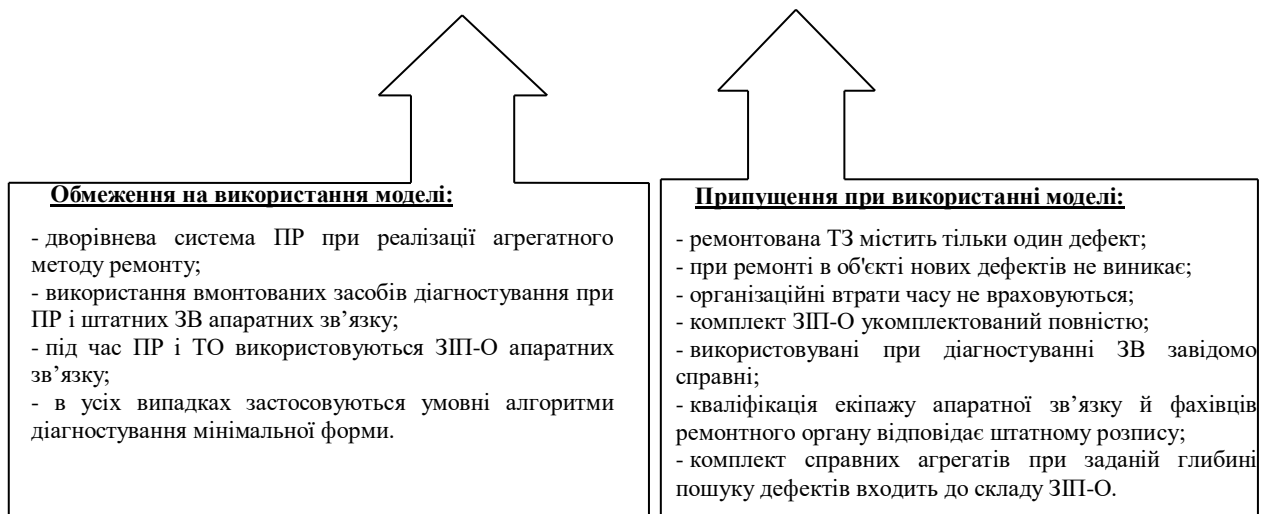


Рис. 1. Структурна схема реалізації моделі процесу визначення технічного стану і відновлення працездатності техніки зв'язку з комплексним використанням їх надлишковості

Figure 1. The block diagram of the implementation of the model of the process of determining the technical condition and restoring the working capacity of communication means with the complex use of their redundancy

Обмеження та припущення при використанні моделі відповідають реальним умовам відновлення ТЗ при автономному використанні при віддаленні від баз постачання:

Нові аналітичні вирази, що описують кількісні показники відновлення ТЗ, з використанням математичного апарату теорії ймовірностей, теорії дискретного пошуку та теорії графів приведені в табл. 1,

де t і t_y – середній час виконання перевірки і усунення несправності, відповідно;

L – кількість типових елементів заміни в зразку ТЗ і його конструктивних одиниць;

Z – загальна кількість електрорадіоелементів в зразку ТЗ;

R – кількість режимів роботи ТЗ;

r – кількість перевірок, які виконують повторно.

p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки залежно від виду ЗВ;

N – кількість ЗВ, що використовують під час ТО і ПР;

$P_i(\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи ЗВ виду i за міжповітряний інтервал τ ;

K – середня кількість перевірок для визначення технічного стану ТЗ.

Модель є основою аналітичних і алгоритмічних засобів розробки діагностичного забезпечення (ДЗ) ТЗ. Розглядаються наступні види надлишковості ТЗ [8-13]:

Конструктивна надлишковість – використання компоновання електрорадіоелементів в конструктивні одиниці для можливості реалізації ремонту ТЗ агрегатним методом із застосуванням процедур пробних заміщень і сумісного пошуку дефектів в об'єктах модульної конструкції для забезпечення припустимого значення показника ремонтпридатності ($T_{вп}$) за рахунок зменшення глибини пошуку до типових елементів заміни і їхнього включення до складу ЗПП;

Часова надлишковість – можливість підвищення достовірності діагнозу за рахунок повторного виконання окремих перевірок або їхньої сукупності за умови, що час відновлення працездатності ТЗ не перевищує припустимого значення ($T_{вп}$);

Функціональна надлишковість - можливість виконувати задані функції різними способами й технічними засобами: при відмові окремих елементів об'єкт не втрачає працездатність, а може продовжувати виконувати свої функції (або їх частину) зі зниженням якості й ефективності;

Структурна надлишковість – можливість скорочення простору пошуку (частини внутрішніх перевірок) і підвищення достовірності діагнозу без зменшення необхідної глибини пошуку дефектів за рахунок використання при розробці ДЗ додаткових відомостей про структуру ТЗ (багатовихідний елемент, наявність бінарних моноїдів і дивергуючих структур), при цьому використовують модифікований алгоритм, що полягає в спільній оцінці результатів виконання перевірок за вмонтованими засобами діагностування і переходом від бінарних умовних алгоритмів діагностування до неоднорідних дерев логічних можливостей мінімальної форми зі зменшенням модуля вибору $m \geq 2$ у міру збільшення глибини пошуку дефекту.

Інформаційна надлишковість полягає в можливості скорочення значення T_B ТЗ після раптових відмов, одержання аварійних пошкоджень використанням при обробці діагностичної інформації різних кодів, які виявляють і виправляють помилки результатів оцінки діагностичних параметрів, усічена процедура пошуку кратних дефектів, що скорочує простір пошуку, неоднорідних умовних алгоритмів діагностування зі зменшенням модуля вибору перевірок за порядком їхнього виконання, а також методу модифікації бінарних алгоритмів (їхнім перетворенням у неоднорідні).

Таблиця 1. Модель процесу визначення технічного стану і відновлення працездатності техніки зв'язку з комплексним використанням її надлишковості під час технічного обслуговування та поточного ремонту при віддаленні від баз постачання

Table 1. Model of the process of determining the technical condition and restoration of the working capacity of communication means with the integrated use of their redundancy during maintenance and ongoing repair at a distance from the supply bases.

Вид надлишковості	Вид і особливості алгоритму діагностування	Середній час відновлення працездатності	Математичне сподівання відхилення діагнозу від істинного
Конструктивна надлишковість	Бінарний мінімальної форми при дворівневому пошуку дефекту	$T_B = \frac{t_1 \log_2 L + t_{y1}}{p_1^{\log_2 L} \cdot \prod_{i=1}^{N_1} P_i(\tau)} + \frac{t_2 \log_2 \frac{Z}{L} + t_{y2}}{p_2^{\log_2 \frac{Z}{L}} \cdot \prod_{i=1}^{N_2} P_i(\tau)}$	$\rho_1 = 0,5(L + \log_2 L - 1)(1 - p_1)p_1^{\log_2 L - 1};$ $\rho_2 = 0,5(Z/L + \log_2(Z/L) - 1)(1 - p_2)p_2^{\log_2(Z/L) - 1}$
Часова надлишковість	Повтор r перших перевірок	$T_B = \frac{t(K + r) + t_y}{(2 - p)^r p^K \cdot \prod_{i=1}^N P_i(\tau)}$	$\rho = \frac{0,5((2 - p)^r p^K)(1 - p)(L + K - 1 - p(L + r - 2^{K-r}))}{p}$
	Повтор кожної перевірки	$T_B = \frac{2Kt + t_y}{(2 - p)^K p^K \cdot \prod_{i=1}^N P_i(\tau)}$	$\rho = 0,5((2 - p)^K p^K)(1 - p)^2(L + K - 1)/p$
Функціональна надлишковість	Розподіл об'єкту на R частин залежно від можливих режимів роботи	$T_B = \frac{t \log_2 \frac{L}{R} + t_y}{p^{K - \log_2 R} \cdot \prod_{i=1}^N P_i(\tau)}$	$\rho = 0,5\left(\frac{L}{R} + \log_2 \frac{L}{R} - 1\right)(1 - p)p^{\log_2(L/R) - 1}$
Структурна надлишковість	Застосування модифікованих алгоритмів діагностування	$T_B = \frac{K_1 t_1 + K_2 t_2 + t_y}{p_1^{K_1} p_2^{K_2} \cdot \prod_{i=1}^N P_i(\tau)}$	$\rho = 0,5 \left[(1 - p_1)p_1^{K_1 - 1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} (1 + (M - i)!) + \right.$ $\left. + p_1^{K_1} (1 - p_2)p_2^{K_2 - 1} \sum_{i=1+K_1}^{K_1+K_2} (1 + (M - i)!) \right]$
Інформаційна надлишковість	Застосування модифікованих алгоритмів діагностування	$T_B = \frac{(K_1 + 1,4K_2)t + t_y}{p_1^{K_1} p_2^{K_2} \cdot \prod_{i=1}^N P_i(\tau)}$	$\rho = 0,5 \left((K_1 + L - 2^{K_2})p_1^{K_1 - 1} (1 - p_1)p_2^{K_2} + \right.$ $\left. + (K_2 + 2^{K_2} - 1)p_1^{K_1} (1 - p_2)p_2^{K_2 - 1} \right)$

Розглянемо приклад застосування моделі для об'єктів діагностування (ОД), що складаються з різної кількості типових елементів заміни (L), яка змінюється від 4 до 32. Аналітичні залежності, що описують процес визначення значення технічного стану й відновлення працездатності вказаних ОД з використанням часової надлишковості, приведені в табл. 2 (без врахування метрологічної надійності ЗВ), а їхні функціональні залежності від керованих змінних зображені на рис. 2 – 5 при $t=2$ хв і $t_y=3$ хв, з аналізу яких слідує:

- значення T_B збільшується зі зростанням глибини пошуку дефектів (рис. 2) і зменшенням ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки p (рис. 3). Значення p змінюється від 0,6 до 0,9997 в залежності від ЗВ, які використовуються (табл. 3) і впливає на їх вартість [6, 14];
- значення T_B для $p \geq 0,99$ при повторі кожної перевірки або всієї процедури пошуку однакові (рис. 2, 3);
- ймовірність правильної постановки діагнозу у всіх випадках лінійно зменшується зі збільшення глибини пошуку дефекту (рис. 4);

- ймовірність правильної постановки діагнозу зростає зі збільшенням ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки (рис. 5);
- у всіх випадках при $0 < r < K$ справедливі нерівності: $T_{B1} < T_{B2} < T_{B3} < T_{B4} < T_{B5}$; $P_1 < P_2 < P_3 < P_5 < P_4$; $p_4 < p_5 < p_3 < p_2 < p_1$;
- при $p \geq 0,995$ значення ймовірності правильної постановки діагнозу у всіх випадках наближається до одиниці (рис. 5) і при цьому повтор однієї з перевірок збільшує значення T_v всього на 15% (рис. 3) для $L = 32$.

Таблиця 2. Характеристики діагностичних процедур
Table 2. Characteristics of diagnostic procedures

Варіант	Процедура	Ймовірність правильного діагнозу	Середній час відновлення	Середнє відхилення діагнозу	$p(T_{вп})$
1	Без повторення перевірок	p^K	$\frac{Kt + t_y}{p^K}$	$0,5(L + K - 1)gp^{K-1}$	$p \geq \sqrt[K]{\frac{Kt + t_y}{T_{вп}}}$
2	Повторення однієї з перевірок $1 \leq z \leq K$	$(2 - p)p^K$	$\frac{t(K + 1) + t_y}{(2 - p)p^K}$	$0,5(2 - p)[L + K - 1 - p(1 + 2^{K-z})]gp^{K-1}$	$\frac{t(K + 1) + t_y}{T_{вп}} \leq (2 - p)p^K$
3	Повторення перших r перевірок	$(2 - p)^r p^K$	$\frac{t(K + r) + t_y}{(2 - p)^r p^K}$	$0,5(2 - p)^r [L + K - 1 - p(L + r - 2^{K-r})]gp^{K-1}$	$\frac{t(K + r) + t_y}{T_{вп}} \leq (2 - p)^r p^K$
4	Повторення кожної перевірки	$(2 - p)^K p^K$	$\frac{2Kt + t_y}{(2 - p)^K p^K}$	$0,5(2 - p)^K (L + K - 1)g^2 p^{K-1}$	$\frac{2Kt + t_y}{T_{вп}} \leq (2 - p)^K p^K$
5	Повторення процедури пошуку	$(2 - p^K)p^K$	$\frac{2Kt + t_y}{(2 - p^K)p^K}$	$(L + K - 1)(1 - p^K)gp^{K-1} \approx (L + K - 1)Kg^2 p^{K-1}$	$\frac{2Kt + t_y}{T_{вп}} \leq (2 - p^K)p^K$

Таблиця 3. Узагальнені відомості про безпомилковість виконання операцій вимірювання
Table 3. Generalized information correctness of operations measure

№ з/п	Операції вимірювання	p
1.	Пошук, сприйняття і оцінка стану індикаторів:	
	від одного до семи	0,995
	від п'яти до п'ятнадцяти	0,990
2.	Сприйняття і оцінка показань одиночного стрілочного приладу:	
	багатошкального	0,840...0,852
	простого	0,944...0,960
	з вертикальною лінійною шкалою	0,645
	з горизонтальною лінійною шкалою	0,725
	з круговою шкалою	0,891
	з напівкруглою шкалою	0,834
	з шкалою у вигляді вікна	0,995
3.	Сприйняття і оцінка показань цифрового приладу з кількістю розрядів:	
	від одного до трьох	0,9997
	від чотирьох до шести	0,9993
	від семи і більше	0,9985
4.	Прийняття рішення при декількох логічних умовах:	
	одне, два	0,995
	три, чотири	0,950
	п'ять і більше	0,900
5.	Визначення значення "норма" по сектору на шкалі приладу	0,971

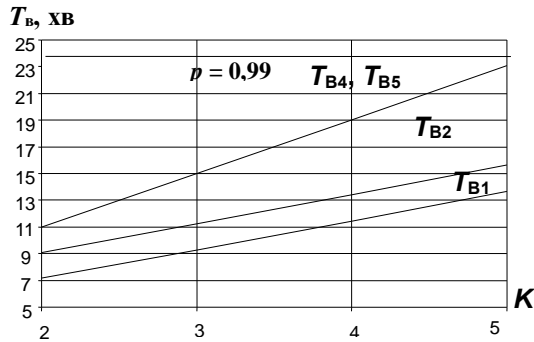


Рис. 2. Залежності середнього часу відновлення від глибини пошуку дефектів і варіанта реалізації часової надлишковості
Figure 2. Dependencies of average recovery time from the depth of defect search and option the implementation of time redundancy

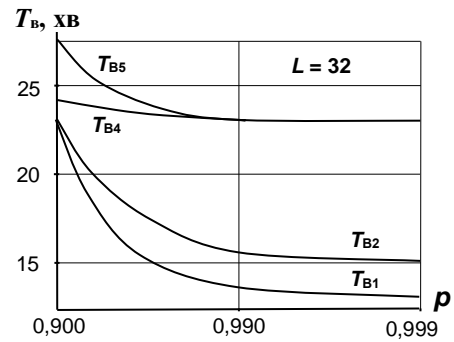


Рис. 3. Залежності середнього часу відновлення від ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки й варіанту реалізації часової надлишковості
Figure 3. Dependencies of the average recovery time on the probability of a correct assessment of the outcome of the check and the option of implementation of time redundancy

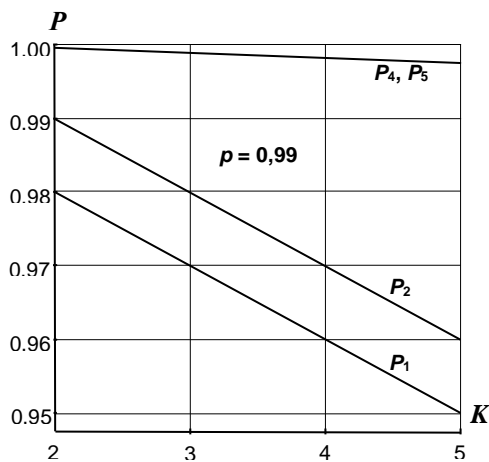


Рис. 4. Залежності ймовірності правильної постановки діагнозу від глибини пошуку дефекту й варіанту реалізації часової надлишковості
Figure 4. Dependencies of the probability of correct diagnosis from the depth of the defect finding and the implementation of time redundancy

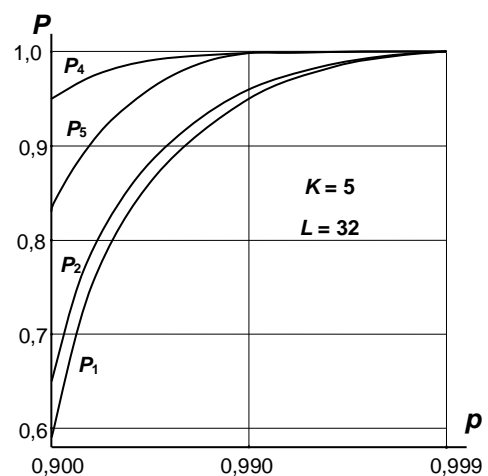


Рис. 5. Залежності ймовірності правильної постановки діагнозу від ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки й варіанту реалізації часової надлишковості
Figure 5. Dependencies of the probability of correct diagnosis from the probability of a correct assessment of the outcome of the test and the implementation of time redundancy

4. Висновки

Таким чином, наукова новизна моделі та її відмінність від відомих полягає в тому, що вперше комплексно врахований вплив всіх видів надлишковості ТЗ на значення показників її відновлення та отримано нові функціональні залежності впливу особливостей схемної і конструктивної побудови ТЗ на кількісні значення показників її ремонтпридатності з врахуванням метрологічної надійності ЗВ. Модель відрізняється від відомих: комплексним підходом до врахування не тільки умов відновлення, але і всіх видів надлишковості, що є в ТЗ; кількісною оцінкою показників якості ДЗ – ймовірності правильної постановки діагнозу і математичного сподівання відхилення діагнозу від істинного при наявності помилки фахівця в оцінці результату виконання перевірки; врахуванням реальних припущень і обмежень, що мають місце під час ремонту ТЗ при віддалені від баз постачання та ремонту; розширенням множини алгоритмів одиночного і групового пошуку дефектів, а також врахуванням метрологічної надійності ЗВ.

Отриману модель доцільно використовувати для розробки рекомендацій щодо модернізації існуючих та проектування перспективних зразків ТЗ, розробки їх ДЗ, для обґрунтування вимог до ЗВ апаратних зв'язку і перспективних апаратних технічного забезпечення.

Подальші дослідження доцільно направити на моделювання процесу ремонту ТЗ з аварійними пошкодженнями слабого ступеня, коли кількість дефектів не перевищує 10% від загальної кількості електрорадіоелементів ТЗ.

Література

1. Ксёиз С.П. Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.
2. Бенда Д. Поиск неисправностей в электрических схемах: Пер. с нем. – СПб.: БХВ – Петербург, 2010. – 256 с.
3. Бигус Г.А. Диагностика технических устройств / Г.А. Бигус, Ю.Ф. Даниев, И.А. Быстрова, Д.И. Галкин – М.: изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 615 с.
4. Романович Ж.А. Диагностирование, ремонт и техническое обслуживание систем управления бытовых машин и приборов: Учебник / Ж.А. Романович, В.А. Скрябин, В.П. Фадеев, Б.В. Цыпин. – М.: Дашков К. – 2014. – 316 с.
5. Yevhen Ryzhov. Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools / Yevhen Ryzhov, Lev Sakovych, Petro Vankevych, Maksym Yakovlev, Yuriy Nastishin // Measurement. Journal of the International Measurement Confederation, Volume 123 (July 2018) pp. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.03.055>.
6. Kononov V. Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support / V. Kononov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych // Advanced Information Systems. Vol. 2, No. 1 pp. 91-95. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
7. Яковлев М.Ю. Підхід до вибору засобів вимірювальної техніки військового призначення для метрологічного обслуговування військової техніки зв'язку / М.Ю. Яковлев, С.В. Рижов // Військово-технічний збірник Академії СВ. – 2014. – № 1 (10). – С. 119-127.
8. Сакович Л.Н. Использование избыточности техники связи для повышения эффективности диагностирования отказов / Л.Н. Сакович, Ю.С. Василюк // Зв'язок : Науково-виробничий журнал. - 2007. – N2. - С. 54-57.
9. Сакович Л.Н. Использование конструктивной избыточности для обеспечения требуемых значений показателей ремонтпригодности техники связи / Л.Н. Сакович, Ю.С. Василюк // Зв'язок : Науково-виробничий журнал. - 2007. – N4. - С. 51-54.
10. Сакович Л.Н. Повышение качества диагностического обеспечения текущего ремонта техники связи с использованием временной избыточности / Л.Н. Сакович, Ю.С. Василюк // Зв'язок : Науково-виробничий журнал. - 2007. – N5. - С. 54-59.
11. Сакович Л.Н. Совершенствование диагностического обеспечения техники связи на основе использования её функциональной избыточности / Л.Н. Сакович, Ю.С. Василюк // Зв'язок : Науково-виробничий журнал. - 2007. – N7. - С. 53-56.
12. Сакович Л.Н. Реализация структурной избыточности техники связи при разработке диагностического обеспечения / Л.Н. Сакович, Ю.С. Василюк // Зв'язок : Науково-виробничий журнал. - 2008. – N1. - С. 56-59.
13. Сакович Л.Н. Применение информационной избыточности при диагностировании техники связи / Л.Н. Сакович, Ю.С. Василюк // Зв'язок : Науково-виробничий журнал. - 2008. - N2. - С. 54-57.
14. Кононов В. Б. Визначення міжповірочних (калібрувальних) інтервалів засобів вимірювальної техніки військового призначення / В. Б. Кононов // Авиационно-космическая техника и технология. - 2011. - № 7. - С. 235–237.

References

- [1] S. Ksenz, *Diagnostics and maintainability of radio-electronic means*. Moscow, USSR: Radio and communication, 1989.
- [2] D. Benda, *Troubleshooting in electrical circuits*. St-Petersburg, RF: Electronics, 2010.
- [3] G. Bigus, Yu. Daniev, I. Bystrov, D. Galkin, *Diagnostics of technical devices*. Moscow, RF: Publ. MGTU named after N. Bauman, 2014.
- [4] J. Romanovich, V. Skryabin, V. Fadeev, B. Tsylin, *Diagnostics, repair and maintenance of household control machines and devices*. Moscow, RF: Dashkov K, 2014.
- [5] Ye. Ryzhov, L. Sakovych, P. Vankevych, M. Yakovlev, Yu Nastishin, “Optimization of requirements for measuring instruments at metrological service of communication tools”, *Meas. Journ. Int. Meas. Confederation*, vol.123, p.19–25, 2018.
- [6] V. Kononov, Ye. Ryzhov, L. Sakovych, “Dependence of parameters of repair of military communication means on the quality of metrological support”, *Adv. Inf. Syst.*, vol.2, no.1, p.91-95, 2018.
- [7] M. Yakovlev, Ye. Ryzhov, “Approach to the selection of military measuring equipment for metrological maintenance of military communication equipment”, *Military Techn. Bull. Army Acad.*, no.1(10), p.119-127, 2014.

- [8] L. Sakovich, Yu. Vasilyuk, "Use of redundancy of communication technique to increase the efficiency of diagnosis of failures", *Communication: Sc. Prod. Mag.*, no.2, p.54-57, 2007.
- [9] L. Sakovich, Yu. Vasilyuk, "Use of constructive redundancy to provide the required values of indicators of repairability of communication techniques", *Communication: Sc. Prod. Mag.*, no.4, p.51-54, 2007.
- [10] L. Sakovich, Yu. Vasilyuk, "Improving the quality of diagnostic maintenance of the current repair of communications technology using temporary redundancy", *Communication: Sc. Prod. Mag.*, no.5, p.54-59, 2007.
- [11] L. Sakovich, Yu. Vasilyuk, "Improvement of diagnostic support of communication technique on the basis of its functional redundancy", *Communication: Sc. Prod. Mag.*, no.7, p.53-56, 2007.
- [12] L. Sakovich, Yu. Vasilyuk, "Implementation of structural redundancy of communication equipment in the development of diagnostic support", *Communication: Sc. Prod. Mag.*, no.1, p.56-59, 2008.
- [13] L. Sakovich, Yu. Vasilyuk, "The use of information redundancy in diagnosing communication techniques", *Communication: Sc. Prod. Mag.*, no.2, p.54-57, 2008.
- [14] V. Kononov, "Determination of inter-verification (calibration) intervals of measuring equipment for military use", *Aviation-space technology*, no.7, p.235-237, 2011.