

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ З КОМПЛЕКСНИМ ВИКОРИСТАННЯМ ЇЇ НАДЛИШКОВОСТІ У РАЗІ ВІДДАЛЕННЯ ВІД БАЗ ПОСТАЧАННЯ

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

Рижов Є. В.¹, канд. техн. наук, Сакович Л. М.², канд. техн. наук, доц., Ходич О. В.²

¹ *Науковий центр Сухопутних військ, Національна академія сухопутних військ імені гетьмана
Петра Сагайдачного, Львів, Україна; e-mail: zheka1203@ukr.net;*

² *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*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2018.02.077>

Анотація. Запропоновано модель процесу визначення технічного стану та відновлення працездатності техніки зв'язку, що враховує специфічні особливості конструктивної та схемної побудови завдяки вперше отриманим функціональним залежностям впливу різних видів надлишковості об'єктів технічного діагностування на кількісні значення показників їхньої ремонтпридатності, а також вперше враховано метрологічну надійність засобів вимірювань. Отриману модель доцільно використовувати для розроблення рекомендацій щодо модернізації наявних та проектування перспективних зразків техніки зв'язку, розроблення їх діагностичного забезпечення, для обґрунтування вимог до апаратних засобів вимірювань зв'язку і перспективних апаратних засобів технічного забезпечення.

Ключові слова: модель процесу відновлення працездатності, надлишковість, техніка зв'язку, діагностичне забезпечення, ремонтпридатність, діагностування.

Annotation. The communication system develops in the direction of improvement of communication quality indicators, causing the corresponding complication of products, which does not lead to 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 redundancy of communication technology on the 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 assess 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 if there exist the specialist error in evaluating the test results, and others including the real assumptions and limitations while repairing the mentioned means, expansion of algorithms of single and group defects search.

Key words: model of process of restoration of workability, redundancy, communication means, diagnostic support, reparability, diagnostics.

Вступ

Система зв'язку розвивається в напрямку покращення показників якості зв'язку за рахунок вдосконалення (модернізації) техніки зв'язку (ТЗ), що спричиняє відповідне ускладнення виробів, яке в окремих випадках не веде до поліпшення значень показників їхньої надійності. Як показав досвід відновлення ТЗ, в умовах їх автономного використання з віддаленням від баз постачання (наприклад, ТЗ річкових та морських судів, ТЗ антарктичних та космічних станцій та в інших випадках) ціна їхніх відмов, зумовлених 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 й усунення аварійних пошкоджень низького ступеня з віддаленням від баз постачання ускладнюється обмеженням сил і засобів. У 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 та конструктивної

побудови техніки зв'язку, а також резерву часу за його наявності.

У відомих роботах відсутній системний підхід до комплексного застосування надлишковості для підвищення ремонтпридатності ТЗ і ефективності її діагностування за рахунок зменшення середньої кількості перевірок під час пошуку дефектів, до того ж оцінку достовірності діагнозу виконували орієнтовно або не виконували [1–7].

Вказані недоліки враховано під час створення моделі процесу визначення технічного стану та відновлення працездатності ТЗ із комплексним використанням її надлишковості під час ТО і ПР з віддаленням від баз постачання.

Мета роботи

Метою роботи є створення моделі процесу визначення технічного стану та відновлення працездатності техніки зв'язку, яка враховуватиме специфічні особливості конструктивної та схемної побудови завдяки вперше отриманим функціональ-

ним залежностям впливу різних видів надлишковості об'єктів технічного діагностування на кількісні значення показників їхньої ремонтпридатності.

Матеріали та модель

Модель призначена для створення і дослідження нових алгоритмів визначення технічного стану ТЗ із урахуванням особливостей реальних технічних та технологічних завдань її відновлення, які полягають у комплексному використанні всіх видів надлишковості.

Сутність моделі полягає у математичному описі процесу пошуку дефектів у ТЗ під час її ТО та ПР з віддаленням від баз постачання та ремонту з метою оптимізації за критерієм мінімуму середнього часу відновлення за обмежених ресурсів.

Структурну схему моделі наведено на рис. 1.

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

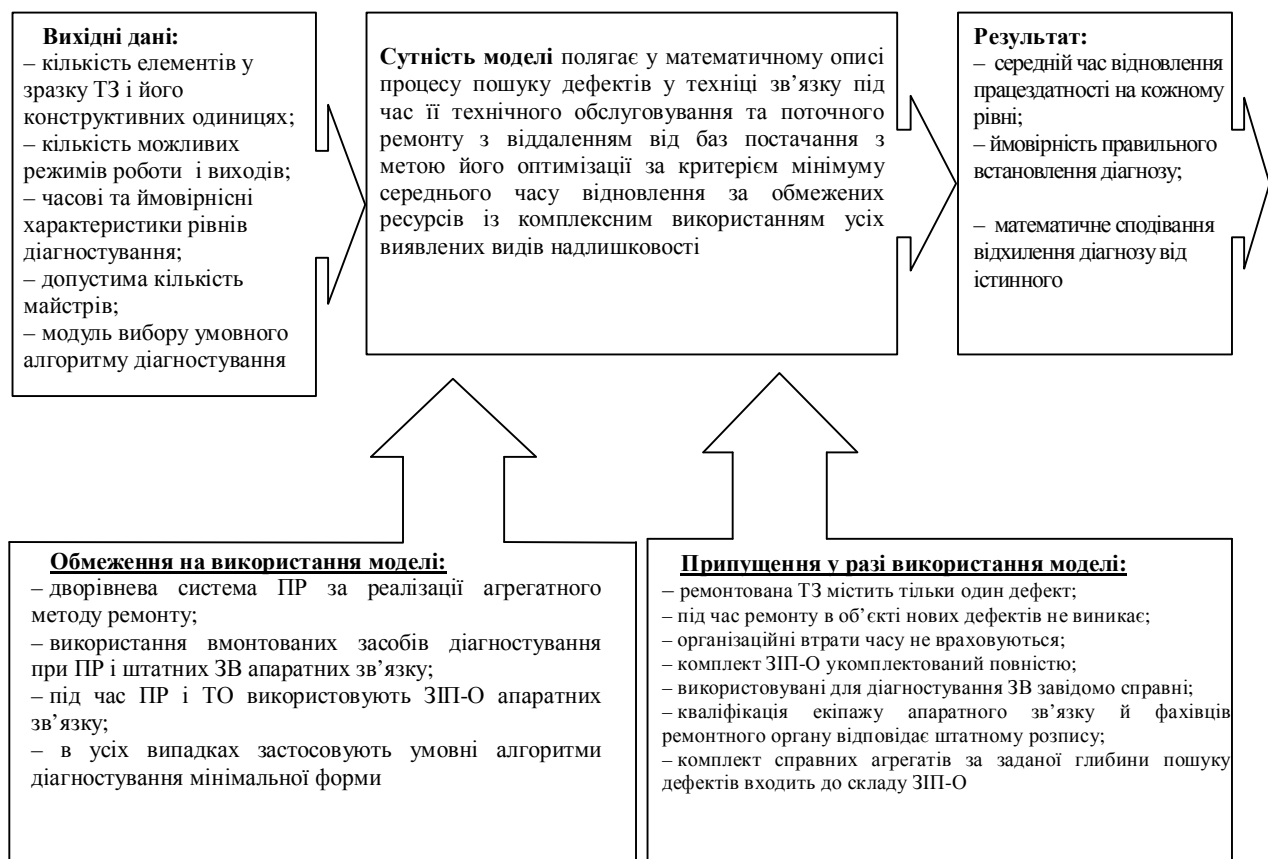


Рис. 1. Структурна схема реалізації моделі процесу визначення технічного стану і відновлення працездатності техніки зв'язку з комплексним використанням їхньої надлишковості

Fig. 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 під час використання моделі відповідають реальним умовам відновлення ТЗ у разі автономного використання з віддаленням від баз постачання.

Нові аналітичні вирази, що описують кількісні показники відновлення ТЗ з використанням математичного апарату теорії ймовірностей, теорії дискретного пошуку та теорії графів, наведено в табл. 1, де t і t_y – середній час виконання перевірки й усунення несправності, відповідно; L – кількість типових елементів заміни в зразку ТЗ і його конструктивних одиниць; Z – загальна кількість електрорадіоелементів у зразку ТЗ; R – кількість режимів роботи ТЗ; r – кількість перевірок, виконуваних повторно; p – ймовірність правильної оцінки результату виконання перевірки залежно від виду ЗВ; N – кількість ЗВ, використовуваних під час ТО і ПР; $P_i(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи ЗВ виду i за міжперевірвальний інтервал t ; K – середня кількість перевірок для визначення технічного стану ТЗ.

Модель є основою аналітичних і алгоритмічних засобів розроблення діагностичного забезпечення (ДЗ) ТЗ. Розглядають такі види надлишковості ТЗ [8–13]:

Конструктивна надлишковість – використання компонування електрорадіоелементів у конструктивні одиниці для можливості реалізації ремонту ТЗ агрегатним методом із застосуванням процедур пробних заміщень і сумісного пошуку дефектів у об'єктах модульної конструкції для забезпечення допустимого значення показника ремонтпридатності (T_{en}) за рахунок зменшення глибини пошуку до типових елементів заміни і введення їх до складу ЗІП.

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_{en}).

Функціональна надлишковість – можливість виконувати задані функції різними способами й технічними засобами: у разі відмови окремих елементів об'єкт не втрачає працездатності, а може продовжувати виконувати свої функції (або їх частину) зі зниженням якості й ефективності.

Структурна надлишковість – можливість звуження простору пошуку (частини внутрішніх перевірок) і підвищення достовірності діагнозу без зменшення необхідної глибини пошуку дефектів за рахунок використання під час розроблення ДЗ додаткових відомостей про структуру ТЗ (багатовихідний елемент, наявність бінарних моноїдів і дивергу-

вальних структур). Використовують модифікований алгоритм, що полягає у спільному оцінюванні 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 у можливості скорочення значення T_e ТЗ після раптових відмов, виявлення аварійних пошкоджень з використанням для оброблення діагностичної інформації різних кодів, які виявляють і виправляють помилки результатів оцінки діагностичних параметрів, усіченої процедури пошуку кратних дефектів, що звужує простір пошуку, неоднорідних умовних алгоритмів діагностування зі зменшенням модуля вибору перевірок за послідовністю їх виконання, а також методу модифікації бінарних алгоритмів (їхнім перетворенням на неоднорідні).

Розглянемо приклад застосування моделі для об'єктів діагностування (ОД), що складаються із 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, наведені в табл. 2 (без урахування метрологічної надійності ЗВ), а їхні функціональні залежності від керованих змінних зображено на рис. 2–5 для $t=2$ хв і $t_y=3$ хв. Із їх аналізу випливає, що:

- значення T_e 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 залежно від використаних ЗВ (табл. 3) і впливає на їх вартість [6, 14];

- значення T_e для $p \geq 0,99$ під час повторення кожної перевірки або всієї процедури пошуку однакові (рис. 2, 3);

- ймовірність правильного встановлення діагнозу у всіх випадках лінійно зменшується зі збільшення глибини пошуку дефекту (рис. 4);

- ймовірність правильного встановлення діагнозу зростає зі збільшенням ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки (рис. 5);

- у всіх випадках, якщо $0 < r < K$, справедливі нерівності: $T_{B1} < T_{B2} < T_{B3} < T_{B4} < T_{B5}$; $P_1 < P_2 < P_3 < P_5 < P_4$; $\rho_4 < \rho_5 < \rho_3 < \rho_2 < \rho_1$;

- якщо $p \geq 0,995$, значення ймовірності правильного встановлення діагнозу у всіх випадках наближається до одиниці (рис. 5), а повторення однієї з перевірок збільшує значення T_e лише на 15 % (рис. 3) для $L = 32$.

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 в разі віддалення 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 за дворівневого пошуку дефекту	$T_B = \frac{t_1 \log_2 L + t_{y1}}{p_1^{\log_2 L} \cdot \prod_{i=1}^{N_1} P_i(t)} + \frac{t_2 \log_2 \frac{Z}{L} + t_{y2}}{p_2^{\log_2 \frac{Z}{L}} \cdot \prod_{i=1}^{N_2} P_i(t)}$	$r_1 = 0,5(L + \log_2 L - 1)(1 - p_1)p_1^{\log_2 L - 1};$ $r_2 = 0,5(Z/L + \log_2(Z/L) - 1)(1 - p_2)p_2^{\log_2(Z/L) - 1}$
Часова надлишковість	Повторення r перших перевірок	$T_B = \frac{t(K + r) + t_y}{(2 - p)^r p^K \cdot \prod_{i=1}^N P_i(t)}$	$r = \frac{0,5((2 - p)^r p^K)(1 - p)(L + K - 1 - p(L + r - 2^{K-r}))}{p}$
	Повторення кожної перевірки	$T_B = \frac{2Kt + t_y}{(2 - p)^K p^K \cdot \prod_{i=1}^N P_i(t)}$	$r = 0,5((2 - p)^K p^K)(1 - p)^2(L + K - 1)/p$
Функціональна надлишковість	Розподіл об'єкта на R частин залежно від можливих режимів роботи	$T_B = \frac{t \log_2 \frac{L}{R} + t_y}{p^{K - \log_2 R} \cdot \prod_{i=1}^N P_i(t)}$	$r = 0,5\left(\frac{L}{R} + \log_2 \frac{L}{R} - 1\right)(1 - p)p^{\log_2(L/R) - 1}$
Структурна надлишковість	Застосування модифікованих алгоритмів діагностування	$T_B = \frac{K_1 t_1 + K_2 t_2 + t_y}{p_1^{K_1} p_2^{K_2} \cdot \prod_{i=1}^N P_i(t)}$	$r = 0,5\left[(1 - p_1)p_1^{K_1 - 1} p_2^{K_2} \sum_{i=1}^{K_1} (1 + (M - i)!) + p_1^{K_1} (1 - p_2)p_2^{K_2 - 1} \sum_{i=1}^{K_1 + K_2} (1 + (M - i)!) \right]$
Інформаційна надлишковість	Застосування модифікованих алгоритмів діагностування	$T_B = \frac{(K_1 + 1,4K_2)t + t_y}{p_1^{K_1} p_2^{K_2} \cdot \prod_{i=1}^N P_i(t)}$	$r = 0,5\left((K_1 + L - 2^{K_2})p_1^{K_1 - 1} (1 - p_1)p_2^{K_2} + (K_2 + 2^{K_2} - 1)p_1^{K_1} (1 - p_2)p_2^{K_2 - 1} \right)$

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 $1 \leq z \leq K$	$(2-p)p^K$	$\frac{t(K+1)+t_y}{(2-p)p^K}$	$0,5(2-p) \left[L+K-1 - p(1+2^{K-z}) \right] gp^{K-1}$	$\frac{t(K+1)+t_y}{T_{ВП}} \leq (2-p)p^K$
3	Повторення перших r перевірок	$(2-p)^r p^K$	$\frac{t(K+r)+t_y}{(2-p)^r p^K}$	$0,5(2-p)^r \left[L+K-1 - p(L+r-2^{K-r}) \right] gp^{K-1}$	$\frac{t(K+r)+t_y}{T_{ВП}} \leq (2-p)^r p^K$
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 одиничного стрілкового 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
зі 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 за декількох логічних умов:	
	одне, два	0,995
	три, чотири	0,950
	п'ять і більше	0,900
5	Визначення значення «норма» за сектором на шкалі приладу	0,971

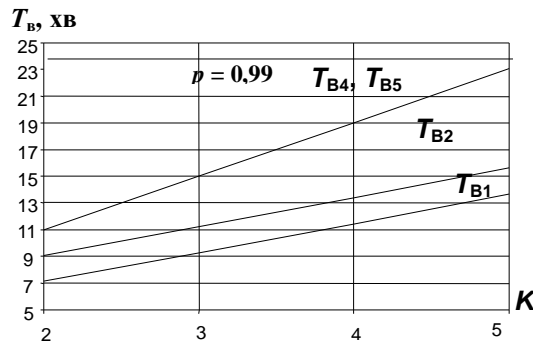


Рис. 2. Залежності середнього часу відновлення від глибини пошуку дефектів і варіанта реалізації часової надлишковості

Fig. 2. Dependencies of average recovery time from the depth of defect search and option the implementation of time redundancy

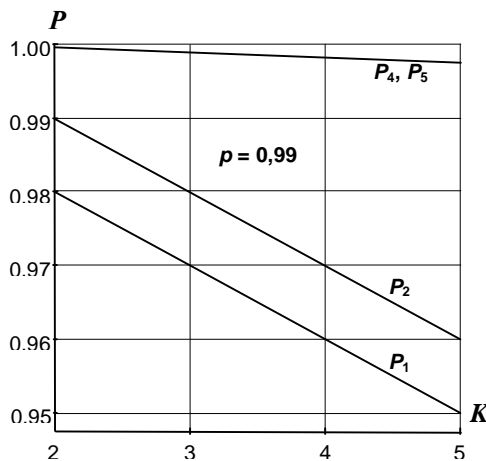


Рис. 4. Залежності ймовірності правильного встановлення діагнозу від глибини пошуку дефекту й варіанта реалізації часової надлишковості

Fig. 4. Dependencies of the probability of correct diagnosis from the depth of the defect finding and the implementation of time redundancy

Висновки

Отже, наукова новизна моделі та її відмінність від відомих полягає у тому, що вперше комплексно враховано вплив усіх видів надлишковості ТЗ на значення показників її відновлення та отримано нові функціональні залежності впливу особливостей схемної та конструктивної побудови ТЗ на кількісні значення показників її ремонтпридатності з урахуванням метрологічної надійності ЗВ. Модель відрізняється від відомих: комплексним підходом до врахування не тільки умов відновлення, але і всіх

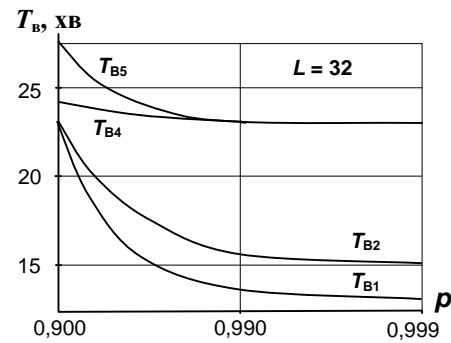


Рис. 3. Залежності середнього часу відновлення від ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки й варіанта реалізації часової надлишковості

Fig. 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

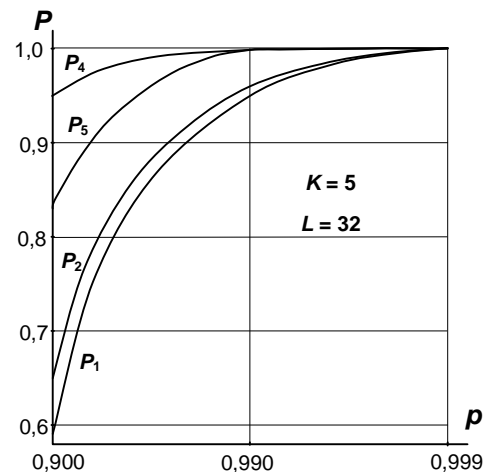


Рис. 5. Залежності ймовірності правильного встановлення діагнозу від ймовірності правильної оцінки результату виконання перевірки й варіанта реалізації часової надлишковості

Fig. 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

видів надлишковості, що є в ТЗ; кількісною оцінкою показників якості ДЗ – ймовірності правильного встановлення діагнозу і математичного сподівання відхилення діагнозу від істинного в разі помилки фахівця в оцінці результату виконання перевірки; урахуванням реальних припущень і обмежень, що існують під час ремонту ТЗ за віддалення від баз постачання та ремонту; розширенням множини алгоритмів одиничного і групового пошуку дефектів, а також урахуванням метрологічної надійності ЗВ.

Отриману модель доцільно використовувати для розроблення рекомендацій щодо модернізації

наявних та проектування перспективних зразків ТЗ, розроблення їх ДЗ, для обґрунтування вимог до ЗВ апаратних зв'язку і перспективних апаратних засобів технічного забезпечення.

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

Список літератури

1. Ксєнз С. П. *Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств* / С. П. Ксєнз. – М.: Радио и связь, 1989. – 248 с.
2. Бенда Д. *Поиск неисправностей в электрических схемах: пер. с нем. / Д. Бенда.* : 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-во 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. Ryzhov Yevhen. *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*. Vol. 123 (July 2018). P. 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. P. 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, Є. 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: наук.-виробн. журнал*. – 2007. – № 2. – 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: наук.-виробн. журнал*. – 2007. – № 4. – 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: наук.-виробн. журнал*. – 2007. – № 5. – 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: наук.-виробн. журнал*. – 2007. – № 7. – С. 53–56.
12. Сакович Л. Н. *Реализация структурной избыточности техники связи при разработке диагностического обеспечения* / Л. Н. Сакович, Ю. С. Василюк // *Зв'язок: наук.-виробн. журнал*. – 2008. – № 1. – С. 56–59.

13. Сакович Л. Н. *Применение информационной избыточности при диагностировании техники связи* / Л. Н. Сакович, Ю. С. Василюк // *Зв'язок: наук.-виробн. журнал*. – 2008. – № 2. – С. 54–57.

14. Кононов В. Б. *Визначення міжповітряних (калібрувальних) інтервалів засобів вимірювальної техніки військового призначення* / В. Б. Кононов // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2011. – № 7. – С. 235–237.

References

1. Ksenz S. P. (1989). *Diagnostics and maintainability of radio-electronic means*. M.: Radio and communication. 248 p.
2. Benda D. (2010). *Troubleshooting in electrical circuits: Translated from German*. St. Petersburg. 256 p.
3. Bigus G. A., Daniev Yu. F., Bystrov I. A., Galkin D. I. (2014). *Diagnostics of technical devices*. Moscow: ed. MG TU named by N. E. Bauman. 615 p.
4. Romanovich J. A., Skryabin V. A., Fadeev V. P., Tsy-pin B. V. (2014). *Diagnostics, repair and maintenance of household control machines and devices*. Moskov. Dashkov K. 316 p.
5. Ryzhov Yevhen. *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*. Vol. 123 (July 2018). P. 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. P. 91–95. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.17>.
7. Yakovlev M. Yu., Ryzhov Ye. V. (2014). *Approach to the selection of military measuring equipment for metrological maintenance of military communication equipment*. Military technical collection Army Academy. No. 1(10). P. 119–127.
8. Sakovich L. N., Vasilyuk Yu. S. (2007). *Use of redundancy of communication technique to increase the efficiency of diagnosis of failures*. *Communication: Scientific and production magazine*. No. 2. P. 54–57.
9. Sakovich L. N., Vasilyuk Yu. S. (2007). *Use of constructive redundancy to provide the required values of indicators of reparability of communication techniques*. *Communication: Scientific and production magazine*. No. 4. P. 51–54.
10. Sakovich L. N., Vasilyuk Yu. S. (2007). *Improving the quality of diagnostic maintenance of the current repair of communications technology using temporary redundancy*. *Communication: Scientific and production magazine*. No. 5. P. 54–59.
11. Sakovich L. N., Vasilyuk Yu. S. (2007). *Improvement of diagnostic support of communication technique on the basis of its functional redundancy*. *Communication: Scientific and production magazine*. No. 7. P. 53–56.
12. Sakovich L. N., Vasilyuk Yu. S. (2008). *Implementation of structural redundancy of communication equipment in the development of diagnostic support*. *Communication: Scientific and production magazine*. No. 1. P. 56–59.
13. Sakovich L. N., Vasilyuk Yu. S. (2008). *The use of information redundancy in diagnosing communication techniques*. *Communication: Scientific and production magazine*. No. 2. P. 54–57.
14. Kononov V. B. (2011). *Determination of inter-verification (calibration) intervals of measuring equipment for military use*. *Aviation-space technology and technology*. No. 7. P. 235–237.