

Н. Карпинский, А. В. Мищенко, Г. С. Левинсон

**КОГНИТИВНАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УРОВНЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
АВИАТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

Рассмотрен один из наиболее перспективных и важных в практическом плане направлений в теории принятия управленческих решений — когнитивное моделирование, а также приведен пример его применения для оценки информационной безопасности авиатранспортной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** когнитивное моделирование; иерархически организованное пространство знаний; авиатранспортная инфраструктура; когнитивная карта; модель GMS.

M. Karpinski, A. V. Mishchenko, H. S. Levinson

**COGNITIVE EVALUATION MODEL OF INFORMATION SECURITY OF AIR TRANSPORT INFRASTRUCTURE**

Considered one of the most promising and suitable directions in the theory of decision-making — cognitive modeling. In this scenario modeling is used to assess the information security of air transport infrastructure.

**Keywords:** cognitive modeling; hierarchically organized space knowledge; airtransport infrastructure; cognitive map; model GMS.

УДК 621.391.004.15

Л. М. САКОВИЧ, канд. техн. наук, доцент; М. Ю. ЯКОВЛЕВ, д-р техн. наук, ст. наук. співробітник

## **ВПЛИВ ІМОВІРНІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ НА ТОЧНІСТЬ ОЦІНЮВАННЯ СТАНУ ТЕХНІКИ ЗВ'ЯЗКУ**

*Розроблено підхід до визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильної оцінки результату виконання вимірювань за умовним алгоритмом довільної форми. Для оцінки математичного сподівання відхилення від істинного значення технічного стану, визначеного при метрологічному або технічному обслуговуванні техніки зв'язку, виведено аналітичні співвідношення, які забезпечують вищу точність зазначеної оцінки, ніж усі досі відомі співвідношення.*

**Ключові слова:** техніка зв'язку; метрологічне обслуговування; технічне обслуговування; метрологічні характеристики; засоби вимірювальної техніки.

Технічний об'єкт у процесі функціонування може перебувати в різних станах, оцінюваних за допомогою кількісних показників: справний і несправний, роботоздатний і нероботоздатний, критичний і граничний стани [1]. Оцінку технічного стану техніки зв'язку (ТЗ) визначають, використовуючи засоби вимірювальної техніки (ЗВТ) при перевірці її роботоздатності, при проведенні метрологічного обслуговування (МО), у процесі технічного обслуговування (ТО) і під час поточного ремонту (ПР).

Послідовність і порядок проведення вимірювань параметрів при ТЗ у разі МО, ТО за станом і ПР ТЗ залежать від результатів виконання попередніх перевірок і подаються у вигляді умовних алгоритмів (УА). У разі відхилення значень вимірюваних параметрів від норми здійснюється пошук дефектів із використанням штатних ЗВТ за програмами, які реалізують УА діагностування. Одне із завдань метрологічної експертизи ТЗ полягає в оцінюванні обґрунтованості вибору ЗВТ з урахуванням вимог до точності вимірювань. Вартість ЗВТ залежить від їхніх метрологічних характеристик. Наприклад, зміна класу точності (Кт) універсальних

вольтметрів з 0,02 до 0,002 збільшує їхню вартість у 7,5 разу [2–5]. При обґрунтуванні необхідного значення Кт використовуються ймовірнісні показники ЗВТ — ймовірність  $P$  правильного визначення технічного стану ТЗ, математичне сподівання  $\rho$  і  $\rho_M$  — відповідно середнього та максимального відхилення у його визначенні, а також ймовірність  $p$  правильного оцінювання значення вимірюваного параметра, яка для застосовуваних у процесі МО, ТО і ПР ЗВТ змінюється від 0,645 до 0,9997 [2–5].

**Мета статті** — визначити мінімально необхідне значення  $p$  для оцінювання із заданою точністю технічного стану ТЗ у процесі її МО, ТО і ПР при пошуку дефектів згідно з УА різного виду та форми.

Зауважимо, що застосовувані УА розрізняють за видами (бінарні, однорідні, групові) та формами  $F$ :  $F = 1$  — досконала;  $F = 2$  — мінімальна;  $F = 3$  — довільна;  $F = 4$  — максимальна. Вид УА визначається кількістю можливих результатів виконання перевірки — модулем  $m$  вибору і кількістю  $\mu$  одночасно вимірюваних параметрів.

Групові алгоритми використовують у разі застосування багатоканальних ЗВТ, таких як дво- або чотириканальні осцилографи. При  $m = 2$  (значення становить норму або не норму) УА називають **бінарним**, а при  $m > 2$  (менше від норми, норма, більше від норми або відсутність сигналу, менше від норми, норма, більше від норми і т. д.) — **однорідним**.

Однорідні УА легко реалізуються при  $m = 3$ , коли номінальне значення параметра виділено сектором на шкалі ЗВТ. Чим більше значення  $m$ , тим менша середня кількість  $K$  перевірок згідно з УА для визначення елемента, що відмовив у ТЗ, із сукупності  $L$  можливих станів, включаючи справний [6].

Приклади видів і форми УА наведено на рис. 1:

• бінарний ( $m = 2$ ) УА досконалої форми ( $K = \log_2 L$ ) — рис. 1, а;

• бінарний УА мінімальної форми (різниця максимальної  $K_{\max}$  і мінімальної  $K_{\min}$  кількості перевірок дорівнює одиниці) — рис. 1, б;

• бінарний УА довільної форми  $\left( K = \frac{1}{L} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} i \cdot l_i \right)$ , де  $l_i$  — кількість результатів пошуку після виконання  $i$  перевірок) — рис. 1, в;

• бінарний УА максимальної форми  $\left( K_{\min} = 1, K_{\max} = \frac{L-1}{m-1}, K(m=2) = \frac{(L-1)(L+2)}{2L} \right)$  — рис. 1, г;

• груповий (одночасна перевірка  $\mu$  параметрів) УА довільної форми ( $K_{\min} < K < K_{\max}$ ) — рис. 1, д;

• однорідний ( $m = 3$ ) УА довільної форми — рис. 1, е.

Застосування **групових** УА дещо знижує значення ймовірності правильної постановки діагнозу, але значно скорочує середню кількість перевірок і час оцінювання технічного стану ТЗ.

До найбільш досліджених належать **бінарні** алгоритми досконалої форми [6] завдяки їхній достатній простоті та зручності у використанні. Відомі методики обґрунтування вибору  $K$ т ЗВТ [2–5] з метою обчислення математичного сподівання середнього і максимального відхилення (відповідно  $\rho$  і  $\rho_M$ ) у визначенні технічного стану ТЗ у разі, коли виконавець припустився однієї

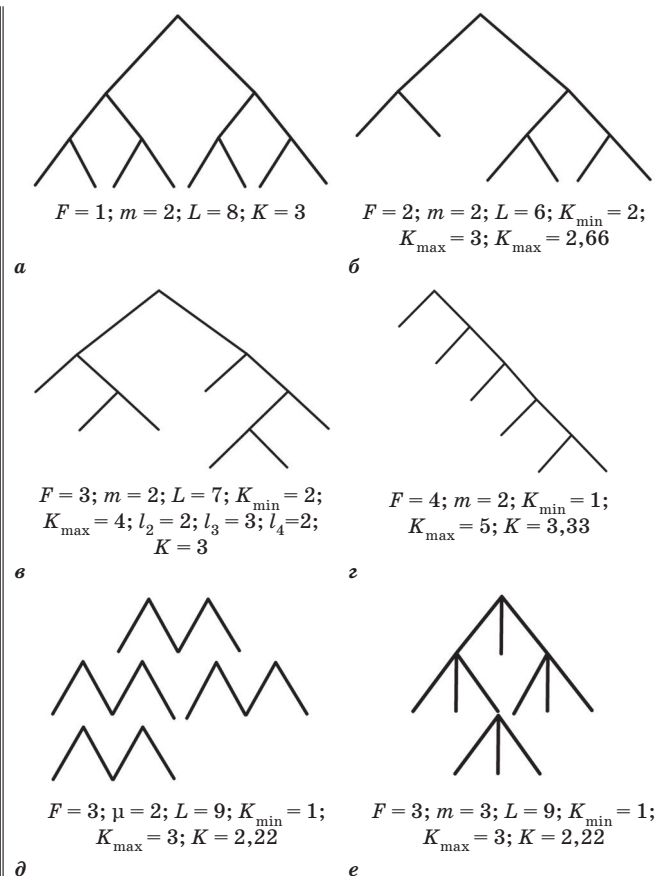


Рис. 1. Приклади видів і форми умовних алгоритмів

помилки в оцінюванні значення параметра, який підлягає перевірці, для УА будь-якої форми спираються на функціональні залежності, наведені в табл. 1, що завищують необхідне значення  $p$ , а отже, і вартість залучених ЗВТ.

Завищення значення  $p$  пояснюється тим, що при  $m > 2$  передбачалося рівноймовірне ухвалення рішення на підставі будь-якого можливого результату виконання перевірки (наприклад, за відсутності сигналу виходили з рівноймовірного ухвалення рішення «менше від норми», що на практиці виключено). Цю обставину враховано в [7–9], де виведено більш точні розрахункові вирази для УА досконалої форми (у разі помилки передбачається відхилення в оцінюванні значення параметра тільки на одну градацію в кожному бік з імовірністю  $0,5(1-p)$ ):

Таблиця 1

Кількісне оцінювання відхилення результату визначення технічного стану об'єкта за умовним алгоритмом досконалої форми ( $F = 1$ )

Вид алгоритму	Середнє значення відхилення	Максимальне значення відхилення	$K$	$L$	$P$
Бінарний $m = 2$	$0,5(L + K - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$(L - 1)(1 - p)p^{K-1}$	$\log_2 L$	$2^K$	$p^K$
Однорідний $2 \leq m = \text{const}$	$\frac{m-1}{m} \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}$	$\log_m L$	$m^K$	$p^K$
Груповий $m = \mu + 1$	$\frac{\mu}{\mu+1} \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}$	$\log_{\mu+1} L$	$(\mu+1)^K$	$p^{\mu K}$

$$\rho(m \geq 2) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)p^{K-1}; \quad (1)$$

$$\rho(\mu \geq 1) = 0,5 \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)p^{\mu K-1}. \quad (2)$$

Для практичних обчислень із достатньо високою точністю (похибка не перевищує 0,2% при  $K \leq 7$ ) можна використовувати такі наближені вирази:

$$\rho(m \geq 2) \approx 0,5 \left( K + \frac{L-1}{m-1} \right) (1-p)(1-(1-p)(K-1));$$

$$\rho(\mu \geq 1) \approx 0,5 \left( K + \frac{L-1}{\mu} \right) (1-p)(1-(1-p)(\mu K-1)).$$

У загальному випадку за наявності кількох помилок в оцінюванні результатів вимірювань верхня межа можливого відхилення оцінки технічного стану набирає вигляду

$$\max \rho = 0,5(L+K-1)(1-p^K),$$

де  $(1-p^K)$  — імовірність помилкового оцінювання технічного стану об'єкта.

Аналізуючи вирази (1) і (2), визначаємо область існування розв'язків для  $0,6 \leq p$ :

$$\frac{\mu K - 1}{\mu K} \leq p \leq 1.$$

Очевидно, що зі збільшенням значень  $\mu$  мінімально допустиме значення  $p$  зростає (рис. 2).

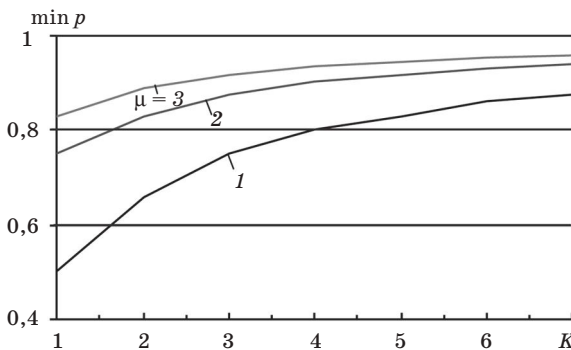


Рис. 2. Визначення мінімально допустимого значення ймовірності правильного оцінювання результату виконання вимірювання

Знайдемо область розв'язків для обчислення мінімально допустимого значення  $p$  у процесі оцінювання технічного стану об'єкта згідно з УА досконалої форми, якщо вимоги стосовно можливості реалізації ПР ТЗ агрегатним методом виконано і у разі встановлення помилкового діагнозу несправний елемент міститься в агрегаті (блоці чи модулі) [2–9], який зазнає змін.

Розглянемо два випадки.

1.  $\rho \leq 0,5$ ;

$$m \geq 2: (1-p)p^{K-1} \leq \frac{m-1}{K(m-1)+L-1};$$

$$m = \mu + 1: (1-p)p^{\mu K-1} \leq \frac{\mu}{K\mu + L-1}.$$

2.  $\rho_M \leq 1,0$ ;

$$m \geq 2: (1-p)p^{K-1} \leq \frac{m-1}{L-1};$$

$$m = \mu + 1: (1-p)p^{\mu K-1} \leq \frac{\mu}{L-1}.$$

Отже, якщо виконується умова  $\rho \leq 0,5$ , то умову  $\rho_M \leq 1$  можна не перевіряти, оскільки вона реалізується при більшому значенні  $p$ , ніж у першому випадку.

Далі знайдемо оцінку технічного стану об'єкта за допустимий час  $T_\partial$ , узявши до уваги, що розрахунковий час визначення технічного стану [6]

$$T = \frac{Kt + t_y}{P} = \frac{Kt + t_y}{p^K},$$

де  $t$  — середній час виконання перевірки;  $t_y$  — середній час усунення несправностей.

Отже, маємо:

$$T \leq T_\partial: p \geq \left( \frac{Kt + t_y}{T_\partial} \right)^{\frac{1}{K}}.$$

На підставі узагальнення здобутих результатів було розроблено блок-схему алгоритму обчислення мінімально необхідного значення  $p$  при оцінюванні технічного стану об'єкта згідно з УА досконалої форми (рис. 3), де  $\Delta p$  — крок зміни значення  $p$ .

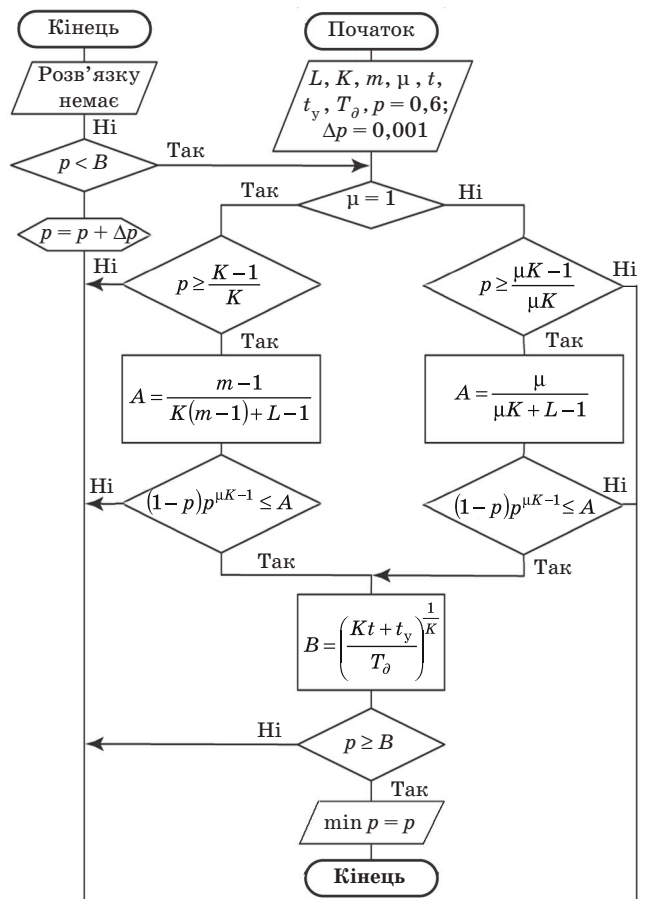


Рис. 3. Блок-схема алгоритму обчислення мінімально необхідного значення ймовірності правильного оцінювання результату виконання перевірки для  $F = 1$

У [7–9] виведено розрахункові вирази для орієнтовного оцінювання значення  $\rho$  у разі використання УА довільної форми ( $F = 3$ ):

$$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2(m-1)pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i [m^i + i(m-1) - 1] p^i; \quad (3)$$

$$\rho(\mu \geq 1) = \frac{1-p}{2\mu pL} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} l_i [(\mu+1)^i + i\mu - 1] p^{i\mu}. \quad (4)$$

Подальші дослідження [10; 11] було спрямовано на відшукування більш простих розрахункових виразів за припущення  $p \approx 1$ , яке справджується для цифрових мікропроцесорних ЗВТ ( $p \geq 0,9997$ ). У такому разі для УА мінімальної форми ( $F = 2$ ) із відносною похибкою до 4% при  $m = 2$  маємо:

$$\rho \approx 0,5(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} \left[ (2^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor) - (2^{\lfloor K \rfloor} + 1) \frac{l}{L} \right].$$

Для УА максимальної форми ( $F = 4$ ) із похибкою до 5% при  $m = 2$  виконується така наближена рівність:

$$\rho \approx \frac{(1-p)(L^2 - 1)}{6} + \frac{p - (2p-1)p^{L-2}}{L};$$

$$\rho_M \approx 0,5L(L-1)(1-p),$$

де  $K_{\min} = \lfloor K \rfloor$  — ціла частина числа  $K$ ;  $K_{\max} = \lceil K \rceil$  — результат округлення  $K$  до цілого числа.

Виконуючи комбінаторний аналіз результатів прямих обчислень значень  $\rho$  для УА довільної форми ( $F = 3$ ), дістаємо такі аналітичні вирази:

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i (2^i + i - 1) p^i}{2^i}; \quad (5)$$

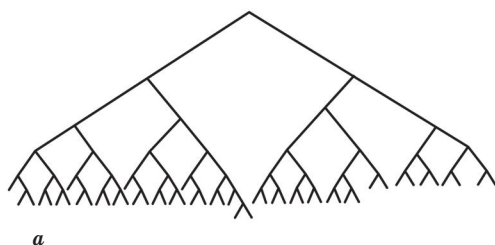
$$\rho(m \geq 2) = \frac{0,5(1-p)}{p(m-1)} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i (m^i + i(m-1) - 1) p^i}{m^i}; \quad (6)$$

$$\rho(m = \mu + 1) = \frac{1-p}{2p\mu} \sum_{i=K_{\min}}^{K_{\max}} \frac{l_i [(\mu+1)^i + i\mu - 1] p^{i\mu}}{(\mu+1)^i}. \quad (7)$$

Звідси випливають розрахункові вирази для оцінювання  $\rho$  для УА мінімальної форми ( $F = 2$ ), коли  $K_{\max} - K_{\min} = 1$  і  $K_{\min} \leq K \leq K_{\max}$ :

$$\rho(m=2) = \frac{(1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1}}{2} \left[ \left( 1 + \frac{\lfloor K \rfloor - 1}{2^{\lfloor K \rfloor}} \right) l + \left( 1 + \frac{\lfloor K \rfloor}{2^{\lfloor K \rfloor}} \right) (L-l) p \right],$$

де  $l$  — кількість станів об'єкта після виконання  $K_{\min}$  перевірок.



а

Для однорідних УА аналогічно дістаємо:

$$\rho(\mu \geq 1) = \left\{ (1-p)p^{\lfloor K \rfloor - 1} \left[ (\mu+1)l \left( (\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor \mu - 1 \right) + (L-l) \left( (\mu+1)^{\lfloor K \rfloor} + \lfloor K \rfloor \mu - 1 \right) p \right] \right\} / 2\mu(\mu+1)^{\lfloor K \rfloor}. \quad (8)$$

Із виразів (3) і (4) після підставлення  $l_i = m - 1$  знаходимо розрахункові формули для оцінювання значення  $\rho$  згідно з УА максимальної форми ( $F = 4$ ):

$$\rho(m=2) = \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{(1-p^{L-1})p}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1} \frac{i-1}{2^i} p^i \right].$$

При  $p \rightarrow 1$  дістаємо:

$$\rho(m=2) \approx \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{1-p^{L-1}}{1-p} + \frac{2^{L-1} - L}{2^{L-1}} \right];$$

$$\rho(m \geq 2) = \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{p(1+p^{L-1/m-1})}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1/m-1} \frac{i(m-1)-1}{m^i} p^i \right];$$

$$\rho(\mu \geq 2) = \frac{1-p}{2p} \left[ \frac{p(1+p^{L-1/\mu})}{1-p} + \sum_{i=1}^{L-1/\mu} \frac{\mu i - 1}{(\mu+1)^i} p^i \right].$$

Порядок застосування здобутих результатів розглянемо на прикладі оцінювання технічного стану цифроаналогового об'єкта — приймально-го тракту станції тропосферного зв'язку Р-423 відповідно до УА з [11]: довільної (рис. 4, а) для  $\mu = 1$  і мінімальної (рис. 4, б) форми для  $\mu = 2$  (перевірка і відновлення роботоздатності зусиллями двох майстрів).

Вихідні дані:  $L = 51$ ;  $T_\theta = 25$  хв;  $t = 3$  хв;  $t_y = 5$  хв.

Згідно з рис. 4, а маємо:  $F = 3$ ;  $m = 2$ ;  $\mu = 1$ ;  $K_{\min} = 5$ ;  $K = 5,765$ ;  $K_{\max} = 7$ ;  $l_5 = 14$ ;  $l_6 = 35$ ;  $l_7 = 2$ .

Згідно з рис. 4, б:  $F = 2$ ;  $\mu = 2$ ;  $K_{\min} = 3$ ;  $K = 3,882$ ;  $K_{\max} = 4$ ;  $l = 6$ ;  $L - l = 45$ .

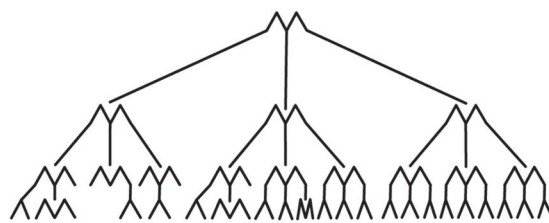
Для алгоритму рис. 4, а відповідно до (5) знаходимо:

$$\rho = \frac{1-p}{2p} \sum_{i=5}^7 \frac{l_i (2^i + i - 1) p^i}{2^i} =$$

$$= 0,5(1-p)p^4 (15,75 + 37,73p + 2,09p^2).$$

Далі з умови  $\rho \leq 0,5$  дістаємо нерівність  $15,75(1-p)(1 + 2,395p + 0,133p^2)p^4 \leq 1$ .

Результати цього розв'язання унаочнює рис. 5, з якого випливає, що мінімально необхідне значення  $p \geq 0,98$ .



б

Рис. 4. Умовний алгоритм оцінювання технічного стану ТЗ: а — бінарний; б — груповий

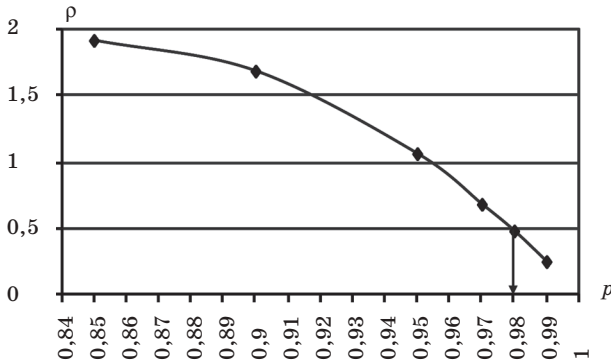


Рис. 5. Визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильного оцінювання результату вимірювання параметра

Перевірка умови  $T \leq T_{\theta} = 25$  хв показує, що при  $p \geq 0,98$

$$T = \frac{5,765 \cdot 3 + 5}{0,98^{5,765}} = 25,2 \text{ хв} > T_{\theta}.$$

Проте в разі збільшення значення ймовірності правильного оцінювання результату вимірювання параметра до  $p = 0,982$  дістаємо  $T = 24,9$  хв  $< T_{\theta}$ .

Зауважимо, що для розглядуваного прикладу в [11] здобуто такі результати:  $p = 0,995$ ;  $\rho = 0,273$ ;  $\rho_M = 0,516$ .

Застосування нових залежностей дозволяє на 1,3% знизити вимоги до метрологічних характеристик ЗВТ за значенням  $p$ .

У разі оцінювання технічного стану об'єкта згідно з алгоритмом (див. рис. 3) відповідно до (6) дістаємо:

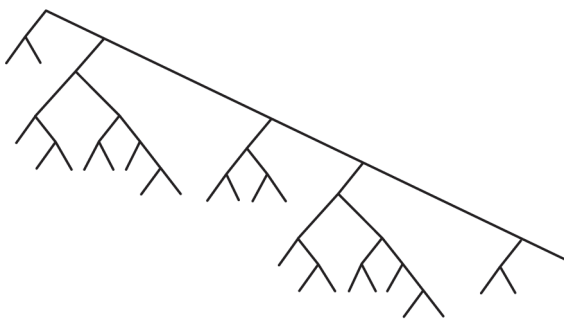
$$\rho(\mu = 2) = \frac{(1-p)p^2 \left[ 3 \cdot 6 \cdot (3^3 + 3 \cdot 2 - 1) + 45(3^4 + 4 \cdot 2 - 1)p \right]}{2 \cdot 2 \cdot 3^4} = (1-p)p^2(1,78 + 12,22p).$$

Далі з умови  $p \leq 0,5$  згідно з рис. 6 знаходимо  $p \geq 0,96$ .

Перевірка умови  $T \leq T_{\theta}$  показує, що значення  $p = 0,96$  достатнє:

$$T = \frac{3,882 \cdot 3 + 5}{0,96^{3,882}} = 19,7 \text{ хв} < T_{\theta}.$$

Отже, встановлено, що при оцінюванні технічного стану приймального тракту станції тропосферного зв'язку Р-423 доцільно використовувати груповий алгоритм рис. 5 і ЗВТ із  $p \geq 0,96$ .



а

Рис. 7. Умовний алгоритм визначення технічного стану підсистеми управління функціонуванням радіопередавача (зображення а) та відповідна залежність  $\rho(p)$  (зображення б)

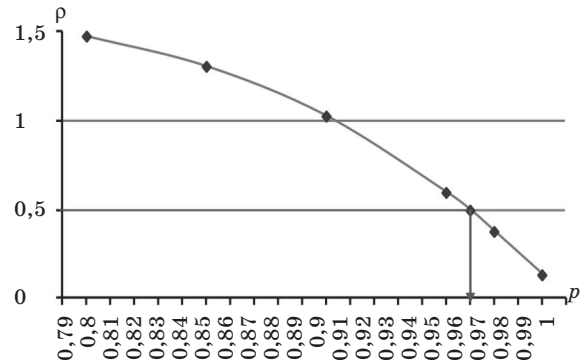


Рис. 6. Визначення мінімально необхідного значення ймовірності правильного оцінювання результату вимірювання параметра

Ефект від застосування здобутих результатів полягає в тому, що вимоги до ЗВТ за значенням  $p$  знижуються порівняно з методикою-прототипом [2-5; 11] на 3,5%:

$$\eta = \frac{0,995 - 0,96}{0,995} \cdot 100 = 3,5\%.$$

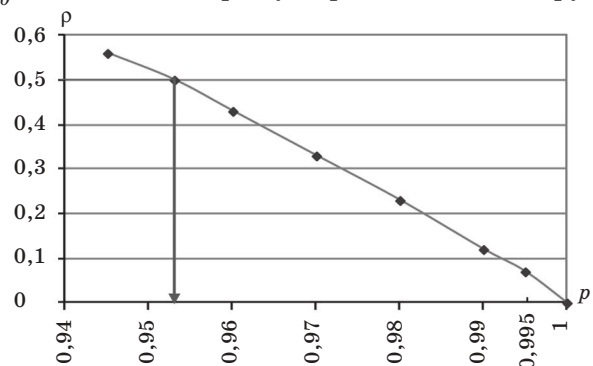
Розглянемо порядок застосування здобутих результатів ще на одному конкретному прикладі — УА визначення технічного стану підсистеми управління функціонуванням радіопередавача великої потужності (рис. 7, а) [12]. При  $p = 0,995$  за відомими виразами знайдено  $\rho = 0,188$  і  $\rho_M = 0,271$ . Згідно з (5) математичне сподівання відхилення знайденої оцінки стану об'єкта за наявності не більш як однієї помилки у визначенні значення параметра набирає такого вигляду:

$$\rho = 0,5(1-p)p(2,5 + 1,19p^2 + 11,25p^3 + 5,39p^4 + 5,23p^5 + 2,05p^6).$$

Вихідні дані рис. 7:  $F = 3$ ;  $L = 25$ ;  $K_{\min} = 5,44$ ;  $K_{\max} = 8$ ;  $l_2 = 2$ ;  $l_4 = 1$ ;  $l_5 = 10$ ;  $l_6 = 5$ ;  $l_7 = 5$ ;  $l_8 = 2$ .

Залежність  $\rho(p)$ , наведена на рис. 7, б, показує, що для виконання умови  $p \leq 0,5$  достатньо використовувати ЗВТ при  $p \geq 0,953$ . Окрім того, при  $p \geq 0,995$  справжнє значення  $\rho = 0,07$ , що на 68% менше порівняно зі значенням, знайденим за відомими розрахунковими формулами, які завищують вимоги і вартість використовуваних ЗВТ у процесі ТО і ПР ТЗ.

Перевірка  $T \leq T_{\theta}$  при  $t = 3,5$  хв,  $t_y = 5$  хв,  $T_{\theta} = 30$  хв підтверджує правильність вибору як



б

засобу ВТ вольтметра В7-38 із  $p = 0,999$ . При цьому маємо:

$$T = \frac{5,44 \cdot 3,5 + 5}{0,999^{5,44}} = 25 \text{ хв} < T_{\partial} = 30 \text{ хв}.$$

Застосування вбудованого вольтметра ( $p = 0,96$ ) також забезпечує необхідний час оцінювання технічного стану:

$$T = \frac{5,44 \cdot 3,5 + 5}{0,96^{5,44}} = 30 \text{ хв} = T_{\partial}.$$

### Висновки

1. Для кількісного оцінювання математичного сподівання визначеного у процесі при МО, ТО або ПР відхилення технічного стану ТЗ від його істинного значення виведено нові розрахункові вирази, які забезпечують вищу точність результатів, ніж усі досі відомі вирази такого плану.

2. Здобуті результати доцільно використовувати в методиках обґрунтування задання метрологічних характеристик ЗВТ під час проведення метрологічної експертизи на етапах проектування та розробки новітньої ТЗ, а також у процесі МО, ТО і ПР наявної ТЗ.

3. Вірогідність зазначених результатів підтверджується використанням апробованого математичного апарату, обґрунтованою постановкою завдання та зведенням результатів до вже відомих у частинних випадках: виконавши зворотне підставлення  $\mu = m + 1$ ,  $\lfloor K \rfloor = \lceil K \rceil = K$ ,  $l_i = L$ ,  $m = 2$  при зміні форми УА від F4 до F1, дістанемо вихідні вирази (1) і (2), адекватність яких підтверджується результатами прямих обчислень.

Подальше завдання дослідження полягає в розробленні на основі здобутих математичних співвідношень методики задання метрологічних характеристик ЗВТ, що має на меті їх використання в комплексі заходів метрологічної експертизи або проведення МО, ТО і ПР ТЗ.

### Література

1. **ДСТУ 2860-94.** Надійність техніки. Терміни та визначення. Чинний від 1996.01.01.— К.: Державний стандарт України, 1996.— 90 с.

2. **Сакович, Л. Н.** Выбор средств измерений согласно требованиям к ремонтпригодности средств связи / Л. Н. Сакович, В. Н. Дзюба, В. П. Павлов // Зв'язок.— 2003.— № 2.— С. 23–25.

3. **Сакович, Л. Н.** Определение метрологических характеристик средств измерений для обслуживания и ремонта средств связи / Л. Н. Сакович, В. Н. Дзюба, В. П. Павлов // Зв'язок.— 2003.— № 5.— С. 17–19.

4. **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.

5. **Сакович, Л.** Выбор средств измерений для технического обслуживания и текущего ремонта оборудования систем защиты информации / Л. Сакович, В. Рыжаков, В. Павлов // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні.— К.: НТУУ «КПІ».— Вип. 7.— 2003.— С. 77–85.

6. **Ксєнз, С. П.** Диагностика и ремонтпригодность радиоэлектронных средств / С. П. Ксєнз.— М.: Радио и связь, 1989.— 248 с.

7. **Сакович, Л. Н.** Количественная оценка диагностических ошибок при восстановлении работоспособности техники связи / Л. Н. Сакович, Ю. П. Вансович // Зв'язок.— 2008.— № 5–6.— С. 58–61.

8. **Сакович, Л. Н.** Количественная оценка математического ожидания максимального отклонения диагноза / Л. Н. Сакович, Ю. П. Вансович // Зв'язок.— 2009.— № 3.— С. 47–49.

9. **Сакович, Л. Н.** Количественная оценка достоверности диагностирования при устранении аварийных повреждений техники связи / Л. Н. Сакович, Ю. П. Вансович // Зв'язок.— 2010.— № 2.— С. 47–49.

10. **Сакович, Л. Н.** Количественная оценка вероятностных характеристик диагностических ошибок при ремонте техники связи / Л. Н. Сакович, В. П. Романенко // Зв'язок.— 2011.— № 4.— С. 60–62.

11. **Дослідження** перспективних напрямків підвищення ефективності системи ремонту засобів спеціального зв'язку та захисту інформації Держспецзв'язку: звіт про НДР «Пошук» / ІСЗЗІ НТУУ «КПІ»: наук. керівник В. В. Козловський.— К., 2013.— 115 с.

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

Л. Н. Сакович, М. Ю. Яковлев

### ВЛИЯНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СРЕДСТВ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ НА ТОЧНОСТЬ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ТЕХНИКИ СВЯЗИ

Разработан подход к определению минимально необходимого значения вероятности правильной оценки результата выполнения измерений по условным алгоритмам произвольной формы. Полученные аналитические соотношения для оценки математического ожидания отклонения от истинного значения технического состояния, определенного при метрологическом или техническом обслуживании техники связи, отличаются от известных повышенной точностью.

**Ключевые слова:** техника связи; метрологическое обслуживание; техническое обслуживание; метрологические характеристики; средства измерительной техники.

L. M. Sakovytych, M. Yu. Yakovlev

**EFFECT OF MEASURING MEANS PROBABILITY INDEXES RELATING TO ACCURACY  
OF COMMUNICATION MEANS STATE ESTIMATE**

An approach to defining minimum essential value of probability of correct assessment of the result of measurements for notional algorithm of free form has been developed in the article. Analytical ratios for assessment of mathematical expectation for deviation from the true value of technical state specified during metrological or technical maintenance of communication means, that would be more accurate than already known have been received.

**Keywords:** communication means; metrological maintenance; technical maintenance; metrological characteristics; measuring means.

УДК 621.395.721.5

А. И. СЕМЕНКО, д-р техн. наук, профессор, Государственный университет телекоммуникаций, Киев;  
М. Б. ПРОЦЕНКО, д-р техн. наук, профессор, Одесская национальная академия связи им. А. С. Попова

## ФЕМТОСОТА С УЛУЧШЕННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

**Предложена фемтосота с улучшенными характеристиками за счет использования разработанной антенной системы из четырех микрополосковых излучателей, расположенных на гранях прямоугольной призмы. Дана оценка шумовой температуры и качество приемной системы модернизированной фемтосоты.**

**Ключевые слова:** фемтосота; антенная система; шумовая температура.

### Введение

В последнее время в офисах, кафе, на складах и в других местах длительного пребывания групп людей создаются телекоммуникационные системы на основе фемтосоты, что позволяет мобильным абонентам связываться между собой и внешними стационарными телефонами без выхода в общую сеть мобильной связи [1; 2].

Известные фемтосоты представляют собой модификацию базовой станции стандарта GSM 900 с диапазонами рабочих частот 890...915 МГц на передачу и 935...960 МГц на прием [3]. В состав оборудования входит радиомодуль, который состоит из передатчика и приемника, подключенных к соответствующей антенной системе (АС).

Для телекоммуникационной системы на основе фемтосоты важно обеспечить необходимый приемлемый уровень электромагнитного излучения внутри офисного или другого помещения для обеспечения качественной связи и минимального влияния излучения на здоровье персонала.

### Разработка специальной антенной системы

Для решения данной задачи предлагается использовать специально созданную с этой целью антенную систему — антенную решетку с независимым формированием диаграмм направленности (ДН) ее элементов, которая обеспечивает повышенный коэффициент усиления при сохранении всенаправленной ДН всей системы [4–6]. В системе используются четыре антенных микрополосковых излучателя, расположенных на взаимно перпендикулярных сторонах прямой квад-

ратной призмы [7–9]. При этом антенные системы для приемника и передатчика реализованы отдельно.

Для перекрытия каждого из диапазонов рабочих частот задействованы высокочастотные антенные элементы (АЭ) — Patch-антенны прямоугольной формы (рис. 1) [10; 11].

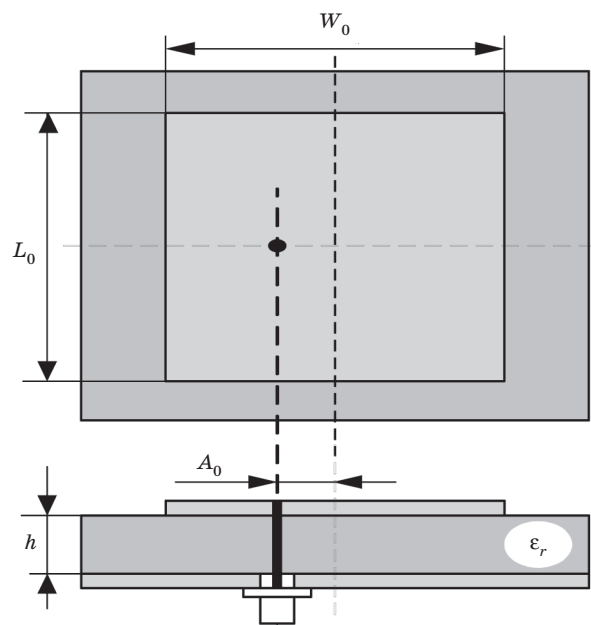


Рис. 1. Микрополосковый излучатель  
прямоугольной формы

Возбуждение излучателей осуществляется при помощи коаксиального кабеля, внутренний проводник которого присоединен к пластине, а внеш-