

## СТВОРЕННЯ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ

Телекомунікаційне обладнання, у тому числі й те, що функціонує за технологією FRAME RELAY (надалі – FR), широко використовується на практиці. Проте питання технічного обслуговування такого обладнання недостатньо висвітлені у наукових публікаціях. Якщо мати на увазі високу вартість телекомунікаційного обладнання, яке здебільшого використовується на відповідальних ділянках глобальних мереж, то проблеми ефективного використання такого обладнання, у тому числі за рахунок вибору оптимальних стратегій його технічного обслуговування, слід вважати актуальними з теоретичної й практичної точок зору.

У даній роботі розглядаються моделі стратегій обслуговування обладнання FR за умов, коли процедури контролю працездатності не вносять дефектів у працездатну контрольовану систему. Процес експлуатації розглядається на інтервалі напрацювання  $(0, \infty)$ , що відповідає експлуатації відновлювальних систем до граничного стану, і зображується як послідовність зміни його різноманітних станів. Поведінка обладнання FR (з точки зору оцінки його працездатності) відображається у вигляді випадкового процесу  $L(t)$ ,  $t \geq 0$  з обмеженим простором станів  $E = \bigvee_{s=1}^k E_k$  (символ  $\bigvee$  означає логічну операцію диз'юнкції). За цих умов процес  $L(t)$  може змінюватися тільки дискретно.

### 1. Простір станів обладнання

Припустимо, що працездатність обладнання FR характеризується вектором визначальних параметрів (ВП)  $\bar{X}(t) = \| \bar{X}_1(t), \bar{X}_m(t) \|$ , де  $X_i(t)$  - випадковий процес зміни  $i$ -го параметра,  $i = \overline{1, m}$ . ВП мають контролюватися в процесі технічного обслуговування (ТО) обладнання FR. Якщо позначити припустиму область значень  $i$ -го параметра як  $D_i = [a_i, b_i]$ , де  $a_i$  та  $b_i$  - відповідно мінімально та максимально припустимі значення  $i$ -го ВП, то припустима область значень вектора ВП відобразиться як  $\bar{D}_x = \| \bar{D}_1, \bar{D}_m \|$ . Тоді загальноприйняте в теорії експлуатації правило вирішення щодо визначеності стану обладнання можна сформулювати так [1]:

якщо  $\bar{X}(t) \in \bar{D}_x$  - обладнання вважається працездатним;

якщо  $\bar{X}(t) \notin \bar{D}_x$  - обладнання вважається непрацездатним.

Вимірювальні тракти, що застосовуються в процедурах контролю працездатності (КП), не є ідеальними. Тому реально, що, коли здійснюється контроль, в будь-який момент  $t$  спостерігається замість реалізації  $\bar{X}(t)$  реалізація

$$\bar{Z}(t) = \| \bar{Z}_1(t), \bar{Z}_m(t) \|, \quad (1)$$

де

$$\bar{Z}(t) = \bar{\Phi}_{xy} \{ \bar{X}(t), \bar{Y}(t) \}.$$

В (1)  $\bar{Y}(t)$  - вектор похибки вимірювання  $\bar{X}(t)$ , а  $\bar{\Phi}_{xy}$  - певна (найчастіше адитивна) функція векторів  $\bar{X}(t)$  та  $\bar{Y}(t)$ .

За вищевказаних умов процедура КП, як правило, виконується згідно з таким вирішальним правилом [2]:

якщо  $\bar{Z}(t) \in \bar{D}_x$  - обладнання працездатне;

якщо  $\bar{Z}(t) \notin \bar{D}_x$  - обладнання непрацездатне.



Таке вирішальне правило враховує існування похибок (тобто вектора  $\bar{Y}(t)$ ) в процесі вимірювань контрольованих параметрів FR-обладнання. Тому у будь-який випадково обраний момент часу  $t_k$  під час КП є можливим виникнення тільки якоїсь однієї із наступних чотирьох несумісних подій:

$$\begin{aligned}
 h_1(t_k) &= \{ \mu > t_k \wedge (\bigwedge_{i=1}^k \bar{Z}(t_i) \in \bar{D}_x) \}, \\
 h_2(t_k) &= \{ \mu > t_k \wedge \bar{Z}(t_k) \notin \bar{D}_x \wedge (\bigwedge_{i=1}^{k-1} \bar{Z}(t_i) \in \bar{D}_x) \}, \\
 h_3(t_k) &= \{ \mu \leq t_k \wedge (\bigwedge_{i=1}^k \bar{Z}(t_i) \in \bar{D}_x) \}, \\
 h_4(t_k) &= \{ \mu \leq t_k \wedge \bar{Z}(t_k) \notin \bar{D}_x \wedge (\bigwedge_{i=1}^{k-1} \bar{Z}(t_i) \in \bar{D}_x) \},
 \end{aligned} \tag{2}$$

де  $\mu$  - випадкова величина напрацювання до відмови обладнання FR.

У (2) записи логічних виразів означають такі події:

$h_1(t_k)$  - правильне рішення (як результат контролю) про те, що обладнання знаходиться у працездатному стані;

$h_2(t_k)$  - помилкове рішення про те, що обладнання знаходиться в непрацездатному стані (тобто помилкове бракування працездатного обладнання);

$h_3(t_k)$  - помилкове рішення про працездатність обладнання ("невиявлена відмова");

$h_4(t_k)$  - правильне рішення про те, що обладнання знаходиться у непрацездатному стані.

Внаслідок реалізації вищерозглянутого вирішального правила обладнання FR під час контролю може знаходитись у таких станах:

$E_1$  - стан, в якому обладнання в момент  $t$  дійсно працездатне, правильно визначається системою контролю як працездатне, використовується за призначенням в режимі поточного фоновому обслуговування;

$E_2$  - стан, аналогічний  $E_1$ , але в режимі планово-періодичного фоновому обслуговування;

$E_3$  - стан, в якому обладнання в момент  $t$  реально знаходиться у непрацездатному стані, правильно визначається системою контролю як непрацездатне, але продовжує використовуватися за призначенням в режимі позачергового обслуговування та (або) відновлення працездатності після правильно виявленої відмови;

$E_4$  - стан, в якому обладнання в момент  $t$  реально знаходиться у працездатному стані, однак визначається системою контролю як непрацездатне ("помилкова відмова"); при цьому обладнання продовжує використовуватися за призначенням в режимі позачергового обслуговування та (або) відновлення працездатності після помилково виявленої відмови (помилкове відновлення);

$E_5$  - стан, в якому обладнання в момент  $t$  є реально непрацездатним, проте визначається системою контролю як працездатне ("невиявлена відмова"); при цьому обладнання продовжує використовуватися за призначенням в режимі поточного або планово-періодичного обслуговування;

$E_6$  - стан, в якому обладнання в момент  $t$  є непрацездатним і не використовується за призначенням (це надзвичайна подія в практиці експлуатації обладнання FR, але вона є можливою, наприклад, внаслідок серйозної аварії).

Для визначення показників ефективності ТО у загальному випадку необхідно знати багатомірну щільність ймовірності процесу  $L(t)$ , що відображає стан контрольованого обладнання у довільний момент часу. Стосовно обладнання FR, враховуючи (2), для цього слід знати  $(mk+1)$ -мірну щільність розподілу залежних випадкових величин (ВВ)  $\mu$  та  $\bar{Z}_1, \dots, \bar{Z}_k$ , тобто щільність ймовірності  $\Omega(\xi, \bar{Z}_1, \dots, \bar{Z}_k, t_1, \dots, t_k)$ , де  $\xi$  - реалізація  $\mu$ .

На жаль, застосування виразів цієї щільності ймовірності під час визначення показників ефективності у явному вигляді веде до необхідності обчислення  $(mk+1)$ -мірних інтегралів. В цьому випадку з метою зниження кратності інтегралів доцільно використати зв'язний метод декорелюючих перетворень результатів багаторазових вимірювань визначальних параметрів контрольованих об'єктів [3,4]. Згідно з цим методом вводиться до розгляду послідовність скалярних ВВ

$$\mu_1^*, \dots, \mu_k^*, \quad (3)$$

де  $\mu_i^*$  ( $i=\overline{1,k}$ ) - випадкова оцінка напрацювання до відмови обладнання в момент  $t$ .

Випадкова величина  $\mu_i^*$  визначається як найменший корінь рівняння

$$\overline{\Phi}_{xy} \{ \overline{X}(t), \overline{Y}(t_i) \} - \overline{D}_x = 0, \quad (4)$$

в той час як ВВ  $\mu_i$  являє корінь рівняння

$$\overline{X}(t) - \overline{D}_x = 0. \quad (5)$$

Порівнюючи (4) з (5), можна упевнитися, що в процедурах КП в будь-який момент  $t_i$  замість векторної ВВ  $\overline{Z}(t_i)$  доцільно використовувати скалярну величину  $\mu_i$ .

Якщо позначити реалізацію  $\mu_i$  через  $\xi_i^*$ , то в процедурах КП при контролі в момент  $t_i$  є можливим застосування такого вирішального правила:

якщо  $\xi_i^* > t_i$ , то вважається, що контрольоване обладнання працездатне;

якщо  $\xi_i^* \leq t_i$ , то робиться висновок, що обладнання непрацездатне.

Використання  $\xi_i^*$  замість  $\overline{Z}(t_i)$  надає можливість сформувати повний ансамбль подій щодо визначення стану обладнання FR у вигляді (6), який буде еквівалентний ансамблю (2):

$$\begin{aligned} h_1(t_k) &= \{ \mu > t_k \wedge (\bigwedge_{i=1}^k \mu_i^* > t_i) \}, \\ h_2(t_k) &= \{ \mu > t_k \wedge \mu_k^* \leq t_k \wedge (\bigwedge_{i=1}^{k-1} \mu_i^* > t_i) \}, \\ h_3(t_k) &= \{ \mu \leq t_k \wedge (\bigwedge_{i=1}^k \mu_i^* > t_i) \}, \\ h_4(t_k) &= \{ \mu \leq t_k \wedge \mu_k^* \leq t_k \wedge (\bigwedge_{i=1}^{k-1} \mu_i^* > t_i) \}. \end{aligned} \quad (6)$$

Маючи на увазі (6), у подальшому замість щільності ймовірності ВВ  $\overline{Z}_1, \dots, \overline{Z}_k$  будемо застосовувати щільність ймовірності скалярних ВВ  $\mu, \mu_1^*, \dots, \mu_k^*$  (де  $i=\overline{1,k}$ ), яку позначимо як  $\omega_0(\xi; \xi_1^*, \dots, \xi_k^*)$ , де  $\xi$  і  $\xi_i^*$  - випадкові реалізації відповідно  $\mu$  і  $\mu_i^*$ .

Існування вектора похибок  $\overline{Y}(t)$  у рівнянні (4) обумовлює появу похибки вимірювань напрацювання на відмову  $G_i$ , тобто  $G_i = \psi[\overline{Y}(t_i)]$ , яку можливо додавати до  $\mu$ , тобто

$$\mu_i^* = \mu + G_i, \quad (7)$$

де  $0 < \mu < \infty$ ,  $-\infty < G_i < \infty$ .

Завдяки можливості адитивного зв'язку ВВ між  $\mu$  та  $G_i$ , а також тому, що  $\overline{Y}(t_1), \dots, \overline{Y}(t_k)$  - незалежні векторні ВВ (що виконується на практиці), є справедливим співвідношення:

$$\omega_0(\xi; \xi_1^*, \dots, \xi_k^*) = \omega(\xi) \prod_{i=1}^k f[(\xi_i^* - \xi) / \xi], \quad (8)$$

де  $\omega(\xi)$  - щільність ймовірності напрацювання до відмови;

$g_i = \xi_i^* - \xi$  - похибка в оцінці наробки на відмову під час вимірювань;

$f(g_i/\xi)$  - умовна щільність ймовірності розподілу похибки вимірювань напрацювання до відмови за умов, коли  $\mu = \xi$ .



**2. Експлуатаційна ймовірність безвідмовної роботи**

Експлуатаційна ймовірність безвідмовної роботи (ЕЙБР) – один з основних показників ефективності ТО обладнання FR. Тому для подальшого аналізу доцільно отримати для цього показника відповідний математичний вираз.

Уведемо позначення подій, що відображають такі факти:

$B(t_j)$  - відновлення обладнання в момент  $t_j$  ;

$h_{ЛВ}(t_j)$  - відновлення в момент  $t_j$  після помилкового визначення стану обладнання як непрацездатне, тобто “помилкове” відновлення;

$h_{ПВ}(t_j)$  - відновлення в момент  $t_j$  після правильного визначення стану обладнання як непрацездатне, тобто “правильне” відновлення.

Також позначимо ймовірності:

$P_E(t_k)$  - експлуатаційна ймовірність безвідмовної роботи;

$P_B(t_j)$  - ймовірність виникнення події  $B(t_j)$ ;

$P_{ЛВ}(t_j)$ - ймовірність виникнення події  $h_{ЛВ}(t_j)$ ;

$P_{ПВ}(t_j)$ - ймовірність виникнення події  $h_{ПВ}(t_j)$ .

Зрозуміло, що подія  $B(t_j)$  трапляється лише тоді, коли

$$B(t_j) = h_{ЛВ}(t_j) \vee h_{ПВ}(t_j). \tag{9}$$

Тоді 
$$P_B(t_j) = P_{ЛВ}(t_j) + P_{ПВ}(t_j). \tag{10}$$

Аналізуючи умови виникнення подій  $B(t_j)$ ,  $h_{ЛВ}(t_j)$ ,  $h_{ПВ}(t_j)$  і використовуючи позначення із (6), можливо стверджувати:

$$P_E(t_k, t) = p \{ [ \mu > t \wedge ( \bigwedge_{i=1}^k \mu_i^* > t_i ) ] \vee [ \bigvee_{j=1}^k ( B(t_j) \wedge \mu > t - t_j \wedge ( \bigwedge_{i=j+1}^k \mu_i^* > t_i - t_j ) ) ] \}, t \geq t_k; \tag{11}$$

$$P_{ЛВ}(t_j) = p \{ \bigvee_{v=0}^{j-1} [ B(t_v) \wedge ( A_1(t_j - t_v) / A_2(t_j - t_v) ) ] \}; \tag{12}$$

$$P_{ПВ}(t_j) = 1 - p \{ \{ \bigvee_{v=0}^{j-1} [ B(t_v) \wedge ( A_1(t_j - t_v) / A_2(t_j - t_v) ) ] \vee A_3(t_j - t_v) \} \}, \tag{13}$$

де  $A_1(\cdot)$ ,  $A_2(\cdot)$  та  $A_3(\cdot)$  - події, щодо яких справедливі такі ствердження:

$$A_1(t_j - t_v) = \mu > t_j - t_v \wedge ( \bigwedge_{i=v+1}^{j-1} \mu_i^* > t_i - t_v )$$

- це подія, згідно з якою обладнання FR, що почало працювати в момент  $t_v$ , не відмовить за час  $t_j - t_v$ , а під час КП в моменти  $t_{v+1}, \dots, t_{j-1}$  буде вважатися працездатним;

$$A_2(t_j - t_v) = \mu > t_j - t_v \wedge ( \bigwedge_{i=v+1}^j \mu_i^* > t_i - t_v )$$

- це подія, що відрізняється від  $A_1(t_j - t_v)$  тільки тим, що під час КП в момент  $t_j$  обладнання FR також буде вважатися працездатним;

$$A_3(t_j - t_v) = \bigwedge_{i=v+1}^j \mu_i^* > t_i - t_v$$

- це подія, згідно з якою обладнання FR, яке почало працювати в момент  $t_v$ , під час КП в моменти  $t_{v+1}, \dots, t_j$  буде вважатися працездатним.

Застосовуючи до вищезазначених виразів теореми складання та множення ймовірностей, отримаємо:

$$P_E(t_k, t) = \sum_{j=0}^{k-1} P_B(t_j) \int_{t-t_j}^{\infty} \omega(V) \prod_{i=j+1}^k \int_{t_i-t_j-V}^{\infty} f(\varepsilon_i \setminus V) d\varepsilon_i dV + P_B(t_k) [1 - F(t - t_k)], \tag{14}$$

де  $F(t) = \int_0^t \omega(V) dV$  - інтегральна функція розподілу  $V$  ;

$$P_{ЛВ}(t_i) = \sum_{\nu=0}^{j-1} P_B(t_\nu) \left[ \int_{t_j-t_\nu}^{\infty} \omega(V) \prod_{i=\nu+1}^{j-1} \int_{t_i-t_\nu}^{\infty} f(\varepsilon_i \setminus V) d\varepsilon_i \times (1 - \int_{t_j-t_\nu}^{\infty} f(\varepsilon_i \setminus V) d\varepsilon_i) dV \right]; \quad (15)$$

$$P_{ПВ}(t_j) = 1 - P_{ЛВ}(t_j) - \sum_{\nu=0}^{j-1} P_B(t_\nu) \left[ \int_0^{\infty} \omega(V) \times \prod_{i=\nu+1}^j \int_{t_i-t_\nu}^{\infty} f(\varepsilon_i / V) d\varepsilon_i dV \right]. \quad (16)$$

Вирази (14) - (16) досить складні для їх безпосереднього використання на практиці. Потрібно виконати певні спрощення, які мають місце у реальній практиці ТО обладнання FR.

Перш за все, якщо розглядати рівномірні інтервали здійснення робіт з КП, тобто  $\tau = k\tau$ ,  $0 < \tau < \infty$ , то

$$\lim_{k \rightarrow \infty} P_E[k\tau, (k+1)\tau] = P_E^*(\tau) > 0;$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} P_{ЛВ}(j\tau) = P_{ЛВ}^*(\tau) > 0;$$

$$\lim_{k \rightarrow \infty} P_{ПВ}(j\tau) = P_{ПВ}^*(\tau) > 0.$$

Величини  $P_E^*(\tau)$ ,  $P_{ЛВ}^*(\tau)$  та  $P_{ПВ}^*(\tau)$  можливо трактувати як сталі значення відповідних ймовірностей.

Аналіз вищеотриманих виразів показує, що ЕЙБР у визначальній мірі залежить від залежності  $f(\varepsilon_i \setminus V)$ .

Так, якщо

$$\omega(\xi) = \lambda \cdot e^{-\lambda \xi} \quad (\lambda - \text{інтенсивність відмов});$$

$X(t)$  - дискретна випадкова величина, щодо якої

$$f(g_i \setminus \xi) = \begin{cases} [1 - \alpha(t_i)] \delta(g_i - 0) + \alpha(t_i) \cdot \delta(g_i - t_i + \xi) \text{ при } \xi > t_i; \\ [1 - \beta(t_i)] \delta(g_i - 0) + \beta(t_i) \cdot \delta(g_i - t_i + \xi) \text{ при } \xi \leq t_i, \end{cases}$$

де  $\alpha(t_i) = P\{Z_1(t_i) \notin [a, b]\}$ ,  $\beta(t_i) = P\{Z_2(t_i) \in [a, b]\}$ ,

то  $P_E[k\tau, (k+1)\tau] = \sum_{j=0}^{k-1} P_B(j\tau) \exp[-(k-j+1)\lambda\tau] \times$

$$\times (1 - \alpha)^{k-j} + P_B(k\tau) e^{-\lambda\tau};$$

$$P_{ЛВ}(j\tau) = \alpha \sum_{\nu=0}^{j-1} P_B(\nu\tau) \exp[-(j-\nu)\lambda\tau] (1 - \alpha)^{j-\nu-1};$$

$$P_{ПВ}(j\tau) = [1 - \frac{P_{ЛВ}(j\tau)}{\alpha}] \cdot (1 - \beta).$$

Сталі значення вищезазначених ймовірностей будуть такими:

$$P_E^*(\tau) = [(1 - \beta)e^{-\lambda\tau}] / (1 - \beta e^{-\lambda\tau});$$

$$P_{ЛВ}^*(\tau) = [\alpha(1 - \beta)e^{-\lambda\tau}] / (1 - \beta e^{-\lambda\tau});$$

$$P_{ПВ}^*(\tau) = [(1 - \beta)(1 - e^{-\lambda\tau})] / (1 - \beta e^{-\lambda\tau}).$$

### 3. Висновки

Запропоновано математичні моделі оптимальних та субоптимальних стратегій технічного обслуговування обладнання FR, що є наближеними до реальних умов застосування такого обладнання у глобальних мережах передачі даних. Ці моделі доцільно використати при організації процесів технічного обслуговування телекомунікаційного обладнання (у даному випадку обладнання FR) як операторами електрозв'язку, так і користувачами їхніх послуг.

Математичні моделі, що є подібними до вищезрозглянутих, доцільно побудувати і для інших типів обладнання, яке широко використовується на сучасних мережах передачі даних (ATM, IP і т.ін.).

### Список літератури

1. Дедков В.К., Северцев Н.А. Основные вопросы эксплуатации сложных систем. – М.: Высшая школа, 1976. – 405 с.
2. Сычев Е.И. Оценка влияния измерительного контроля на надежность технических систем // Надежность и контроль качества. – 1979. - №10. – С. 18-26.
3. Уланский В.В., Мукан О.В. Определение показателей достоверности контроля пригодности радиоэлектронных систем // Контроль и управление техническим состоянием авиационного и радиоэлектронного оборудования: Сб.науч.тр. – К.: «КИИГА», 1986. – С. 32-90.
4. Пугачев В.С. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1979. – 496 с.

Надійшла 22.02.2006

Після доробки 08.06.2006

УДК 651.5

Коваленко Н.А.

## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СОБСТВЕННОСТЬ И ИНТЕРНЕТ

Когда оказываешься в новых условиях – например, на Луне, с ее слабым тяготением, или в Интернете, где так легко копировать информацию, – начинает казаться, что законы физики изменились. В дальнейшем изменения физических условий передачи информации, которые происходят с внедрением компьютерных сетей, действительно могут изменить экономику, а затем и законодательство, управляющее созданием и распространением интеллектуальной собственности.

Что же происходит с интеллектуальной собственностью в компьютерной Сети? Чтобы ответить на этот вопрос, надо сначала задать другой: какие новые информационные ценности можно создать в Сети? Полагаем, что в ответ можно назвать такие услуги, как возможность отбора информации, присутствие других людей, общение с ними и т.д. Короче говоря, интеллектуальные процессы и услуги возрастают в цене, а информация как имущество, обесценивается.

Сеть бросает обладателям, создателям, продавцам интеллектуальной собственности и ее пользователям новый интересный вызов. Сводя затраты на копирование почти к нулю, она разительным образом меняет информационную экономику. В этом новом мире, вступающем в соревнование со старым, будет легко скопировать информацию, но трудно ее найти. Будет легко создавать компьютерные программы, но по-прежнему трудно определить и описать задачи, с которыми эти программы должны будут справляться. Творчество будет