

Г.Ф. Конахович, д-р техн. наук  
О.М. Сухопара  
В.Г. Потапов

## ПОКАЗНИКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ МЕРЕЖ ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE

Інститут інформаційно-діагностичних систем НАУ, e-mail: iids@nau.edu.ua

*Здійснено обґрунтований вибір показників ефективності технічного обслуговування обладнання Asynchronous Transfer Mode, що має суттєвий практичний інтерес у зв'язку з широким застосуванням цього обладнання в сучасних глобальних транспортних мережах передачі даних.*

### Вступ

Бізнес-процеси в цивільній авіації (ЦА) тісно пов'язані з інтенсивним обміном радіонавігаційною, радіолокаційною і метеорологічною інформацією, рухомими і нерухомими зображеннями, цифровими даними, текстовими повідомленнями тощо.

Ця інформація передається в інтересах служб обслуговування повітряного руху, авіаційного оперативного контролю, адміністрацій авіаційних підприємств, пасажирів і в багатьох випадках безпосередньо стосується керування повітряним рухом і забезпечення безпеки польотів [1].

За таких умов ситуація, коли обладнання мережі передавання даних (ПД) є непрацездатним і не використовується за призначенням, є неприпустимою. Тому вимоги до ефективності технічного обслуговування (ТО) телекомунікаційних мереж, які призначені для забезпечення інформаційних потреб авіаційних підприємств, стрімко зростають.

Унаслідок високого динамізму розвитку сучасних технологій ПД відповідні технології ТО обладнання глобальних транспортних мереж ПД істотно відстають від реальних потреб практики. Тобто самі мережі впроваджуються дуже швидкими темпами, у т. ч. і на Україні, а створення необхідних експлуатаційних документів, зокрема, правил експлуатації або регламентів ТО мережного обладнання затягується в часі з усіма негативними наслідками, що звідси випливають.

На жаль, відсутні не тільки відповідним чином опрацьовані експлуатаційні документи в цій сфері, але навіть не отримані необхідні теоретичні моделі, що могли б бути основою для розробки таких документів.

Зокрема, майже відсутня інформація щодо показників ефективності ТО обладнання, що функціонує відповідно до специфікацій технології асинхронного режиму передавання (Asynchronous Transfer Mode – АТМ). Тому вибір показників ефективності ТО для обладнання АТМ має суттєвий практичний інтерес.

Як інтегральний показник ефективності ТО пропонується використовувати коефіцієнт оперативної готовності (КОГ).

### Показники ефективності технічного обслуговування

Набір узагальнених показників (параметрів і характеристик) якості обслуговування, що можуть використовуватися в процесах технічної експлуатації обладнання мереж ПД загального користування, зокрема, у процесах контролю відповідності обладнання мереж АТМ, визначений у праці [2].

Ці узагальнені показники поділяються на дві основні групи:

- показники продуктивності;
- показники доступності.

Показники доступності служб ПД через канали мереж ПД по суті характеризують ефективність ТО обладнання цих мереж властивості системи ТО, у першу чергу, якість забезпечення безвідмовності та ремонтпридатності обладнання, а також достовірності експлуатаційного контролю.

Під ефективністю ТО в загальному випадку розуміють певну сукупність властивостей системи ТО, яка відображає співвідношення між затратами ресурсів на підтримку і відновлення працездатності обладнання, що обслуговується, та отримуваним ефектом [3].

Кількісними характеристиками ефективності ТО є показники ефективності, які відображають на кількісному рівні різномірні властивості системи ТО, насамперед, такі:

- безвідмовність;
- ремонтпридатність;
- довговічність;
- достовірність експлуатаційного контролю.

Наприклад, вичерпною характеристикою безвідмовності є функція розподілу напрацювання до відмови  $F(t)$ .

Як показник достовірності контролю використовують умовні ймовірності хибної відмови  $\alpha(t)$  та невиявленої відмови  $\beta(t)$  тощо.



Якщо показники ефективності об'єднати певною функціонально залежністю, то можливо синтезувати так званий комплексний, інтегральний або узагальнений показник ефективності обслуговування, прикладом якого може бути коефіцієнт оперативної готовності.

Головна відмінність систем ТО обладнання АТМ, що безпосередньо впливає на вибір показників їхньої ефективності, полягає в необхідності забезпечення такої ситуації в процесі експлуатації, коли повна зупинка в наданні мережних послуг користувачам обладнанням АТМ практично унеможливується.

Обладнання АТМ використовується, як правило, на глобальних мережах ПД національного рівня, вихід із ладу котрих кваліфікується як надзвичайна подія, що може призвести до непередбачених, можливо катастрофічних наслідків. Крім того, система ТО має припускати можливість виникнення прихованих відмов, але такі відмови мають призводити лише до зменшення рівня якості ТО користувачів або пропускної спроможності АТМ-каналів.

Виявлення і знешкодження відмов повинно виконуватися у фоновому режимі роботи обладнання за призначенням.

Проаналізувавши фактори, які впливають на вибір показників ефективності ТО обладнання АТМ, можливо стверджувати, що кількісна оцінка втрат унаслідок відмов, які не ведуть до простоїв обладнання, не передбачається, тому до множини врахованих показників ефективності доцільно включити КОГ.

#### Коефіцієнт оперативної готовності

Згідно з працею [4] КОГ – це ймовірність того, що обладнання мережі виявиться в працездатному стані в довільний момент часу, крім завчасно запланованих періодів, протягом яких застосування цього обладнання за призначенням не передбачається, і, починаючи з цього моменту, буде працювати безвідмовно протягом заданого інтервалу часу.

Позначимо через  $P(t, \theta)$  імовірність того, що обладнання виявиться працездатним у момент  $t$  і пропрацює безвідмовно протягом заданого часу  $\theta$ , починаючи з моменту  $t$ .

Відповідно до роботи [5] КОГ визначимо як границю

$$K_{OG}(\theta) = \lim_{t \rightarrow \infty} P(t, \theta).$$

Поведінка обладнання АТМ з погляду оцінки його працездатності відображається у вигляді випадкового процесу  $L(t)$ ,  $t \geq 0$  з обмеженим простором станів

$$E = \bigvee_{i=1}^N E_i,$$

де символ  $\bigvee$  означає логічну операцію диз'юнкції.

Обладнання АТМ під час контролю може знаходитись у станах, що відображені на рис. 1 у вигляді графа.

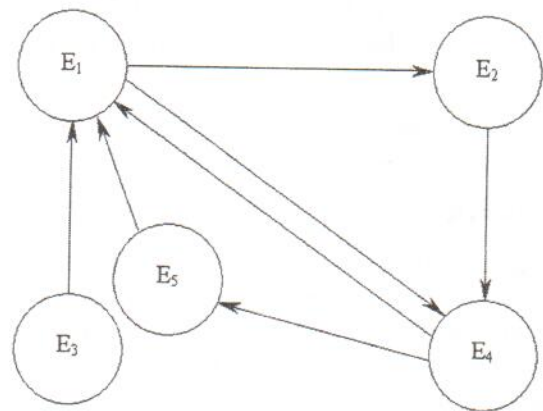


Рис. 1. Граф станів обладнання АТМ щодо його працездатності під час функціонування в складі мереж ПД

У стані  $E_1$  обладнання в момент  $t_k$  дійсно є працездатним, правильно визначається системою контролю як працездатне, використовується за призначенням у режимі поточного фоновому обслуговування.

У стані  $E_2$  обладнання в момент  $t_k$  є реально непрацездатним, однак визначається системою контролю як працездатне (невиявлена відмова). При цьому обладнання продовжує використовуватися за призначенням у режимі поточного або планово-періодичного обслуговування.

У стані  $E_3$  обладнання в момент  $t_k$  є непрацездатним і не використовується за призначенням. Це – надзвичайна подія в практиці експлуатації обладнання АТМ, але вона є можливою, наприклад, унаслідок серйозної аварії.

У стані  $E_4$  обладнання в момент  $t_k$  реально знаходиться в непрацездатному стані, правильно визначається системою контролю як непрацездатне, але використовується за призначенням у режимі позачергового обслуговування та (або) відновлення працездатності після правильно виявленої відмови.

У стані  $E_5$  обладнання в момент  $t_k$  реально знаходиться в працездатному стані, однак визначається системою контролю як непрацездатне (хибна відмова).

При цьому обладнання використовується за призначенням у режимі позачергового обслуговування та (або) відновлення працездатності після помилково виявленої відмови (помилкове відновлення).



Оскільки випадковий процес  $L(t)$  є регенеруючим, то послідовність інтервалів між сусідніми моментами відновлення утворює процес відновлення, функцію відновлення якого позначимо  $H(t)$ .

Обладнання АТМ буде працювати безвідмовно на інтервалі  $(t, t + \theta)$ , якщо відбудеться одна з двох подій.

1. Напрацювання до відмови обладнання більше, ніж  $t + \theta$ , і під час контролю працездатності в моменти  $t_1, t_2, \dots, t_j$  ( $t_j < t$ ) це обладнання визнавалося працездатним, тобто

$$\Delta = \Xi > t + \theta \wedge \left( \bigwedge_{i=1}^j \Xi_i^* > t_i \right),$$

де  $\Xi$  – випадкова величина напрацювання до відмови обладнання АТМ;  $\Xi_i^*$  – випадкова оцінка напрацювання до відмови обладнання в момент  $t_i$ .

2. У момент  $\eta < t$  відбулося останнє відновлення обладнання, після чого відмов цього обладнання більше не спостерігалось.

Під час контролю працездатності в моменти  $t_1 + \eta, \dots, t_k + \eta$  ( $t_k + \eta < t$ ) обладнання АТМ визнавалося працездатним, тобто

$$\Delta_\eta = B(\eta) \wedge \Xi > (t + \theta - \eta) \wedge \left[ \bigwedge_{i=1}^k (\eta + \Xi_i^* > \eta + t_i) \right], \quad (1)$$

де  $B(\eta)$  – подія, яка полягає у відновленні обладнання в момент  $\eta$ .

Ймовірності настання подій  $\Delta$  та  $\Delta_\eta$  визначають за формулами:

$$P(\Delta) = \int_{t+\theta}^{\infty} \omega(v) \prod_{i=1}^j \int_{t_i-v}^{\infty} f(\varepsilon_i/v) d\varepsilon_i dv;$$

$$P(\Delta_\eta) = \int_{t+\theta-\eta}^{\infty} \omega(v) \prod_{i=1}^k \int_{t_i-v}^{\infty} f(\varepsilon_i/v) d\varepsilon_i dv dH(\eta),$$

де  $\omega(v)$  – щільність ймовірності напрацювання до відмови;  $f(\varepsilon_i/v)$  – умовна щільність ймовірності розподілу похибки вимірювань напрацювання до відмови.

Враховуючи, що  $\eta \in (0, t)$ , визначимо повну ймовірність події (1) за інтегральною формулою повної ймовірності:

$$\int_0^t P(\Delta_\eta) = \int_0^t \int_{t+\theta-\eta}^{\infty} \omega(v) \prod_{i=1}^k \int_{t_i-v}^{\infty} f(\varepsilon_i/v) d\varepsilon_i dv dH(\eta).$$

Оскільки функція

$$\vartheta(t + \theta) = \int_{t+\theta}^{\infty} \omega(v) \prod_{i=1}^k \int_{t_i-v}^{\infty} f(\varepsilon_i/v) d\varepsilon_i dv \quad (2)$$

є невід'ємною й існує при  $\eta \geq 0$ , а також є незростаючою та інтегрованою на інтервалі  $(0, \infty)$ , то згідно з теоремою Сміта

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t, \theta) = \mu^{-1} \int_0^t \vartheta(\eta + \theta) d\eta, \quad (3)$$

де  $\mu$  – середній час між відновленням обладнання.

Підставивши вираз (2) у формулу (3), отримаємо в явній формі в найбільш загальному вигляді вираз для КОГ обладнання АТМ:

$$K_{OG}(\theta) = \mu^{-1} \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_{k+1}} \int_{\eta+\theta}^{\infty} \omega(v) \prod_{i=1}^k \int_{t_i-v}^{\infty} f(\varepsilon_i/v) d\varepsilon_i dv d\eta. \quad (4)$$

Вираз (4) є дуже громіздким і без конкретизації та (або) спрощень на практиці його застосувати складно. Тому розглянемо спрощення щодо умов використання обладнання під час його експлуатації в мережах АТМ.

Найбільший практичний інтерес має випадок, коли правдиві припущення щодо дискретності та раптовості відмов обладнання, технічний стан якого відображається випадковим процесом

$$\omega(v) = \lambda e^{-\lambda v},$$

де  $\lambda$  – інтенсивність відмов обладнання, а щільність розподілу похибок вимірювань не залежить від часу.

З урахуванням зазначених припущень отримаємо скінченний вираз для КОГ обладнання АТМ

$$K_{OG}(\theta) = (1 - \beta) (1 - e^{-\lambda \theta}) e^{-\lambda \theta} / \lambda \left\{ \tau (1 - \beta e^{-\lambda \tau}) + (1 - \beta) [t_{x.в} \alpha e^{-\lambda \tau} + t_{п.в} (1 - e^{-\lambda \tau})] \right\},$$

де  $\beta$  – умовна ймовірність невиявленої відмови;  $\tau$  – періодичність ТО;  $t_{x.в}$  – середня тривалість хибного відновлення;  $\alpha$  – умовна ймовірність хибної відмови;  $t_{п.в}$  – середня тривалість правильного відновлення.

Залежність коефіцієнта  $K_{OG}$  від періодичності обслуговування є випуклою уверх функцією аргументу  $\tau$  і, отже, має екстремум (рис. 2). Таким чином, є доцільною постановка задачі оптимізації вибору інтервалів обслуговування.

Із рис. 3, де показано залежність максимального значення  $K_{OG}(\tau^*)$  від інтенсивності відмов обладнання  $\lambda$  ( $\tau^*$  – оптимальна періодичність контролю працездатності), випливає, що зростання інтенсивності відмов  $\lambda$  та дисперсії похибок вимірювань  $\sigma$  веде до зменшення коефіцієнта  $K_{OG}$ .



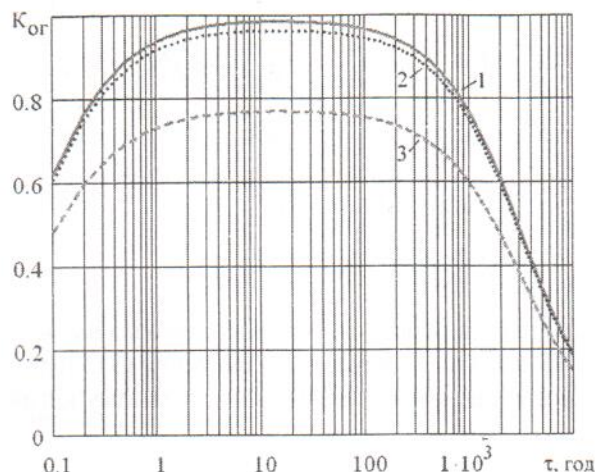


Рис. 2. Залежність  $K_{OG}$  від періодичності ТО:  
1 –  $\theta_1$ ; 2 –  $\theta_2$ ; 3 –  $\theta_3$ ; ( $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$ )

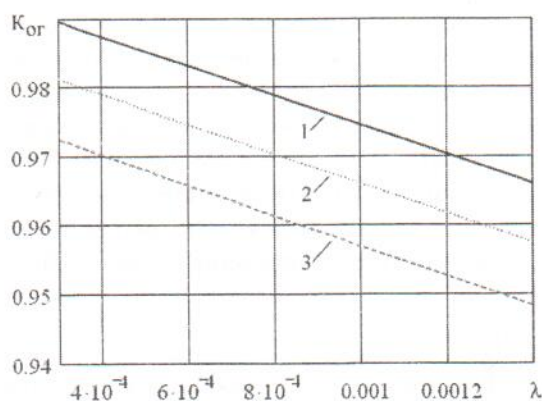


Рис. 3. Залежність максимального значення  $K_{OG}$  від інтенсивності відмов обладнання АТМ:  
1 –  $\sigma_1$ ; 2 –  $\sigma_2$ ; 3 –  $\sigma_3$ ; ( $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$ )

### Висновки

На основі здійсненого аналізу критеріїв і показників ефективності ТО складних систем та умов використання обладнання АТМ на авіацій-

них мережах ПД виконано обґрунтування вибору показників ефективності ТО обладнання АТМ.

Зокрема, для  $K_{OG}$ , використаного як інтегральний показник ефективності ТО, отримана функціональна залежність від основних параметрів конфігурації обладнання і середовища його експлуатації, що дозволяє:

- об'єктивно на кількісному рівні оцінити ефективність стратегій ТО обладнання АТМ, які використовують в реальних умовах його експлуатації на підприємствах ЦА;

- комплексно вирішувати задачі діагностичного забезпечення експлуатації такого обладнання на мережах ПД в ЦА.

Оскільки коефіцієнт  $K_{OG}$  є випуклою уверх функцією аргументу  $\tau$ , тобто має екстремум, у подальшому є доцільною постановка задачі оптимізації вибору інтервалів обслуговування.

### Список літератури

1. Андрусак А.І., Дем'янчук В.С., Юр'єв Ю.М. Мережа авіаційного зв'язку. – К.: НАУ, 2001. – 448 с.
2. Сухопара О.М. Контроль відповідності обладнання мереж АТМ // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. – К., 2003. – № 7. – С. 109–113.
3. Основы технической диагностики /В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян и др. – М.: Энергия, 1976. – 464 с.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Госкомитет по стандартам, 1990. – 38 с.
5. Надежность технических систем: Справ. / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др. / Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.

Стаття надійшла до редакції 01.12.03.

Г.Ф. Конахович, А.Н. Сухопара, В.Г. Потапов

Показатели эффективности технического обслуживания оборудования сетей Asynchronous Transfer Mode

Выполнен обоснованный выбор показателей эффективности технического обслуживания оборудования Asynchronous Transfer Mode, что имеет существенный практический интерес в связи с широким применением этого оборудования в современных глобальных транспортных сетях передачи данных.

G.F. Konakhovych, A.M. Suhopara, V.G. Potapov

Efficiency parameters of Asynchronous Transfer Mode networks equipment maintenance

The substantiation of a selection of efficiency parameters of Asynchronous Transfer Mode equipment maintenance is executed that has essential practical interest in connection with wide application of this equipment in modern global transport networks.