

УДК 623.1/.7

В.А. Собченко

Національна академія Державної прикордонної служби України  
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький

## АДАПТИВНА МОДЕЛЬ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МОБІЛЬНИХ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

В статті проведено оцінку надійності мобільних тепловізійних комплексів на етапі експлуатації за комплексним показником надійності коефіцієнтом технічного використання та запропоновано вдосконалення існуючої системи експлуатації за рахунок впровадження адаптивної системи.

**Ключові слова:** складна технічна система, надійність, мобільний тепловізійний комплекс, експлуатація.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Одним зі шляхів підвищення надійності складних технічних систем (СТС) є вдосконалення їх системи експлуатації [1], що може бути проведено за рахунок оптимізації існуючої системи експлуатації з врахуванням відмінностей умов використання.

Надійність СТС, незалежно від її складності, забезпечується при проектуванні. На етапі експлуатації необхідний рівень надійності повинен забезпечуватись виконанням заходів передбачених системою експлуатації. Збільшення складності та функціональності сучасних СТС затрудняє оцінку їх надійності, що призводить до ускладнення процесу урахування множини факторів, які обумовлюються умовами експлуатації, у розробленій виробником системі експлуатації.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В теорії надійності відома велика кількість методів, інженерних методик, які доведені до алгоритмів та програм. Їх авторами є широко відомі вчені [2, 3]. Проте ці методи часто не вдається застосувати на практиці. Всі відомі в теорії методи розрахунку надійності складних технічних систем прийнято класифікувати по математичному апарату, що застосовується на наступні шість груп [4]:

- методи, що використовують елементи теорії масового обслуговування;
- методи, що використовують теорію інтегральних рівнянь;
- логіко-ймовірнісні методи;
- методи статистичного моделювання;
- топологічні методи;
- наближені методи.

На основі проведеного аналізу в [4 – 6] можна виділити загальні для перелічених груп методів недоліки:

1. Вони потребують в якості вихідних даних інформацію про надійність всіх елементів системи, що досліджується.

2. Методи не враховують достовірні дані про надійність прототипу системи відомі з її експлуатації.

3. Аналіз надійності існуючими методами потребує розрахунку ймовірностей всіх станів системи що розвивається.

На практиці, часто задача аналізу надійності різноманітних систем сполучена з рішенням алгебраїчних, диференціальних, інтегро-диференціальних систем рівнянь великих розмірностей. В цих умовах існуючі чисельні методи навіть із застосуванням ЕОМ не дозволяють з необхідною точністю проаналізувати надійність системи що досліджується.

З метою подолання вказаних недоліків розроблені способи [5, 6], основані на спрощенні графа функціонування системи шляхом об'єднання станів, об'єднання шляхів та скорочення графа.

Все це веде до суттєво наближених оцінок. При чому в багатьох роботах часто не вказується точність розрахунків.

Існуючі методи в результаті проведених досліджень зводяться до визначення параметрів надійності, які є загальними для однотипних зразків техніки, і які повинні враховувати якомога більшу кількість можливих умов використання. Хоча в сучасних умовах, при достатньому технічному забезпеченні, та враховуючи високу вартість експлуатації сучасних СТС, можливим є індивідуальний підхід для визначення параметрів надійності кожного окремого зразка техніки.

**Мета статті** полягає у проведенні оцінки надійності мобільних тепловізійних комплексів (МТК) на етапі експлуатації та розробці адаптивної моделі експлуатації.

### Виклад основного матеріалу

Прикладом СТС, яка складається з підсистем різного функціонального призначення, що використовується в охороні державного кордону є МТК. В Державній прикордонній службі України використовується 24 однотипних зразка МТК які були вве-

дені в експлуатацію в один період. Дані зразки техніки мають ряд особливостей у порівнянні зі зразками техніки які використовувались раніше. Залежно від тактичних завдань, МТК може використовувати різні види обладнання які у ньому змонтовані. Таким чином, через відмінності у застосуванні, функціональні підсистеми комплексу використовуються нерівномірно. Також, на відміну від техніки старшого зразку, яка обслуговувалась ремонтними підрозділами органів охорони кордону, для ремонту та обслуговування МТК необхідне залучення двох сторонніх організацій, що підвищує експлуатаційні витрати та збільшує час необхідний для проведення даного виду робіт. Всі ці фактори впливають на готовність комплексу до використання.

Експлуатація МТК здійснюється у відповідності до технічної документації розробленої виробником. Дотримання зазначених в документації вимог повинне забезпечувати необхідний рівень надійності комплексу. Для оцінки надійності МТК на етапі експлуатації було проведено дослідження, у якому порівняно однотипні МТК з однаковою системою експлуатації. Підрозділи у яких використовувались зразки відрізнялися умовами експлуатації (тактичними, кліматичними). Для оцінки надійності було вибрано комплексний показник надійності коефіцієнт технічного використання ( $K_{ТВ}$ ).

Згідно [7], коефіцієнт технічного використання ( $K_{ТВ}$ ) може бути виражений як відношення математичного очікування часу ( $t_p$ ) перебування об'єкта в працездатному стані за певний період експлуатації до суми математичного очікування часу перебування об'єкта в працездатному стані, часу ( $t_{то}$ ) простоїв обумовлених технічним обслуговування, і часу ( $\tau$ ) ремонтів за той же період експлуатації. У відповідності до даного визначення аналітичний вираз коефіцієнта технічного використання має наступний вигляд:

$$K_{ТВ} = \frac{M\{t_p\}}{M\{t_p\} + M\{t_{то}\} + M\{\tau\}} \quad (1)$$

Статистична оцінка коефіцієнта технічного використання визначається за наступною формулою:

$$K_{ТВ} = \frac{\bar{t}_p}{\bar{t}_p + \bar{t}_{то} + \bar{\tau}} \quad (2)$$

де  $\bar{t}_p$  – середнє значення часу перебування МТК в працездатному стані за певний період експлуатації;

$\bar{t}_{то}$  – середнє значення часу простоїв обумовлених проведенням технічного обслуговування МТК на протязі певного періоду експлуатації;

$\bar{\tau}$  – середнє значення часу простоїв обумовлених проведенням ремонтів МТК на протязі певного періоду експлуатації.

Сумарний час вимушеного простою МТК включає час:

- очікування сервісної служби після повідомлення про несправність;
- на пошук і усунення відмови;
- на регулювання і налаштування об'єкта після усунення відмови;
- для простою через відсутність запасних елементів;
- для профілактичних робіт.

За значеннями  $K_{ТВ}$ , використовуючи методи поліноміальної регресії, було побудовано апроксимуючі криві для 3-х МТК, що представлено на рис. 1.

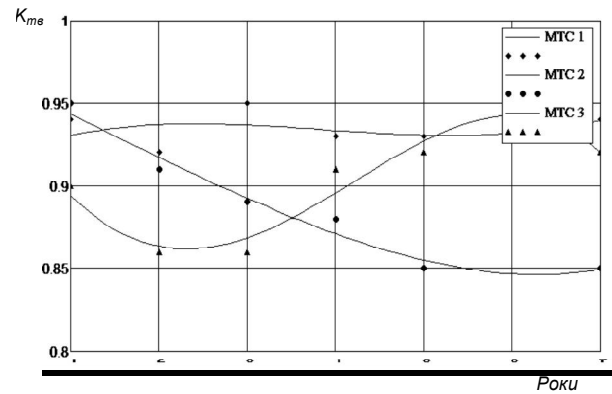


Рис. 1. Порівняння  $K_{ТВ}$  однотипних МТК у різних умовах використання

Для визначення зв'язку між функціями  $K_{ТВ}$  різних зразків МТК розраховано коефіцієнт кореляції.

Як відомо, коефіцієнт кореляції ( $r$ ) це відношення кореляційного моменту до добутку середніх квадратичних відхилень:

$$r = \frac{\mu}{\sigma_x \sigma_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}) \cdot (Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

де  $X_i, Y_i$  – числові значення величин, між якими встановлюється кореляційний зв'язок;  $\bar{X}, \bar{Y}$  – їх середні арифметичні значення величин.

Результати розрахунку значень  $r$  приведено в табл. 1.

Таблиця 1

Коефіцієнти кореляції

	МТК1	МТК2	МТК3	...	МТК24
1	2	3	4	5	6
МТК1	1	-0,56	0,93	...	-0,68
МТК2	-0,56	1	0,57	...	0,87
МТК3	0,93	0,57	1	...	0,39

Закінчення табл. 1

1	2	3	4	5	6
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
МТК24	-0,68	0,87	0,39	...	1

Для подальшого аналізу проведено групування за значенням коефіцієнта кореляції з сильним, середнім та слабким зв'язком.

Таблиця 2

Ступінь зв'язку

Ступінь зв'язку	Пари МТК
Сильний	МТК1- МТК2, МТК1- МТК4...
Середній	МТК12- МТК1, МТК1- МТК16...
Слабкий	МТК4- МТК14, МТК8- МТК16...

Проведений аналіз показав, що при однаковій системі експлуатації значення  $K_{ТВ}$  змінюється по-різному. Функції апроксимації  $K_{ТВ}$  для зразків з одного підрозділу, та з подібними умовами застосування мають сильний та середній ступінь зв'язку, тоді як для зразків з підрозділів у яких відмінна тактика та умови застосування мають слабкий зв'язок.

Слабкий ступінь зв'язку для функцій апроксимації комплексного показника надійності  $K_{ТВ}$  однотипних зразків техніки з однаковою системою експлуатації вказує на недостатнє врахування множини умов використання та відмінностей у тактиці застосування існуючою системою експлуатації.

Для урахування даного факту, в дослідженні пропонується адаптувати існуючу систему експлуатації до конкретних умов використання.

Узагальнена модель експлуатації в даному випадку може бути представлена у наступному вигляді (рис. 2).

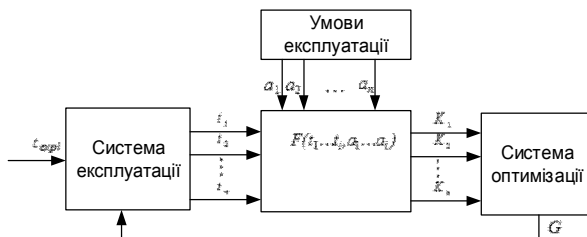


Рис. 2. Узагальнена модель експлуатації складної системи

На рис. 2:  $\{a_1 \dots a_i\}$  – вектор зовнішніх чинників,  $\{t_1 \dots t_i\}$  – вектор локального часу;  $\{K_1 \dots K_n\}$  – вектор показників надійності. Функціонал  $F(t_1 \dots t_i, a_1 \dots a_i)$  є математичною моделлю надійно-

сті СТС, яка може бути побудована (синтезована) різними математичними підходами. В роботі використовуються методи основані на теорії марківських процесів.

Велика кількість можливих станів системи призводить до ускладнення адекватного їх повного опису, тому в більшості випадків проводиться їх групування, що в свою чергу впливає на збільшення похибки. У роботі пропонується на початковому етапі розробити моделі експлуатації окремих підсистем такими чином, що кожний локальний стан підсистеми відповідає глобальному рівню працездатності.

Відмінності у необхідності використання окремих елементів та підсистем у різних умовах, робить неможливим однозначне визначення поняття працездатності системи в цілому. Враховуючи це, у роботі запропоновано пропонується ввести поняття рівнів працездатності системи, виходячи з необхідності застосування окремих її елементів чи підсистем у конкретних тактичних умовах.

Для застосування такого підходу для МТК у роботі проведено поділ комплексу на функціональні підсистеми (табл. 3).

Таблиця 3

Підсистеми МТК

Підсистема	Обладнання
Транспортна база	Базовий автомобіль
Система спостереження	Тепловізійна камера Відеокамера Дальномір Монітори
Система електроживлення	Акумуляторні батареї Перетворювач напруги
Система заряджання	Зарядні пристрої Кабелі для заряджання Генератор
Система зв'язку	Радіостанція Мікрофон у приміщенні оператора
Система навігації	GPS Гірокомпас
Механічна система	Підйомна щогла Поворотний блок
Система управління	Блок управління ПК Клавіатура Програмне забезпечення
Система зберігання та передачі даних	Відеореєстратор WiMax передавач
Система обігріву та кондиціонування	Автономний бензиновий обігрівач Електричний обігрівач Кондиціонер

Після чого, виходячи з тактики застосування комплексу у певному підрозділі, розроблені рівні працездатності (табл. 4), при чому вони повинні враховувати специфіку застосування комплексу в даному підрозділі.

Таблиця 4

Рівні працездатності

№	Можливості застосування
1.	Можливе використання вдень Мобільне використання
2.	Можливе використання вночі Мобільне використання
3.	Можливе використання вдень Стационарне використання
4.	Можливе використання вночі Стационарне використання

Після цього розроблено марківські моделі кожної підсистеми (рис. 3), таким чином щоб кожний локальний рівень підсистеми відповідав глобальному рівню комплексу.

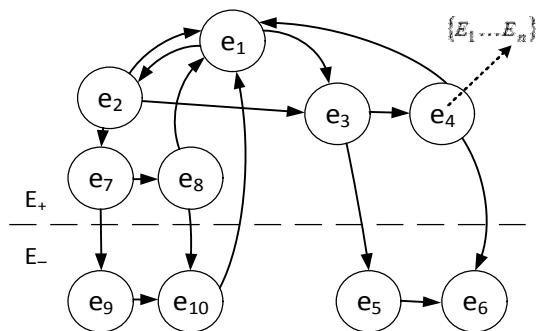


Рис 3. Граф станів підсистеми

Графи підсистем компонується в одну систему, при чому дані щодо належності локального стану підсистеми глобальному рівню працездатності комплексу містяться в векторі  $\{E_1 \dots E_n\}$ , де  $n$  – кількість рівнів працездатності комплексу. В процесі компонування в кожному рівні присутній вектор допустимих резервів часу, перевищення яких веде до переповнення стану та зміщення подій в наступний рівень працездатності комплексу.

На наступному етапі, використовуючи розроблені математичні моделі, проводиться оптимізація системи експлуатації. Знаючи специфіку застосування комплексу у певному підрозділі, визначається необхідний рівень працездатності, який повинна забезпечити адаптивна система експлуатації. Виходячи з цього, системою надаються рекомендації щодо проведення профілактико-відновлюваних робіт

для забезпечення необхідного рівня працездатності, враховуючи тактичні особливості використання комплексу у даному підрозділі.

## Висновки

Застосування такого підходу дає можливість визначати оптимальні параметри експлуатації в заданих умовах при забезпеченні необхідного рівня комплексних показників надійності.

Напрямки подальших досліджень:

- розробка уніфікованої математичної моделі МТК та моделей підсистем;
- визначення загальної методики адаптивного керування експлуатацією МТК;
- математичне вирішення задачі оптимізації експлуатації МТК з урахуванням нерівномірностей навантаженості та умов експлуатації.

## Список літератури

1. Острейковский В. А. Теория надежности. Учебник для вузов / В.А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
2. Байхельт Ф. Надежность и техническое обслуживание. Математический подход / Ф. Байхельт, П. Франкен. – М.: Радио и связь, 1988. – 392 с.
3. Барлоу Р.Э. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность / Р.Э. Барлоу, Ф. Прошан. – М.: Наука, 1984. – 327 с.
4. Дружинин Г.В. Надёжность производственных автоматизированных систем / Г.В. Дружинин. – М.: Энергия, 1977. – 536 с.
5. Габдулхаков Р.Т. Анализ надежности технических средств сложных систем управления на этапе проектирования : автореф. дис. на зодобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.07 "Автоматическое управление и регулирование, управление технологическими процессами" / Р.Т. Габдулхаков – Уфа, 1984. – 18 с.
6. Михайлов А.А. Исследование надёжности технических средств вычислительных систем : автореф. дис. на зодобуття наук. ступеня канд. техн. наук / А.А. Михайлов. – Л., 1982.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В.Е. Гмурман. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.

Надійшла до редколегії 11.02.2014

**Рецензент:** д-р техн. наук, доц. М.І. Лисий, Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького, Хмельницький.

## АДАПТИВНАЯ МОДЕЛЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОБИЛЬНЫХ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

В.А. Собченко

В статье проведена оценка надежности мобильных тепловизионных комплексов на этапе эксплуатации по комплексному показателю надежности коэффициенту технического использования и предложено совершенствование существующей системы эксплуатации за счет внедрения адаптивной системы.

**Ключевые слова:** сложная техническая система, надежность, мобильный тепловизионный комплекс, эксплуатация.

## THE ADAPTIVE MODEL OPERATION MOBILE THERMOVISION COMPLEX

V.A. Sobchenko

This paper evaluated the reliability of mobile thermal imaging systems during operation by integrated measure of the reliability coefficient technical applications and proposed the improvement of existing operating systems through the introduction of adaptive systems.

**Keywords:** complex technical system, reliability, mobile thermovision complex, exploitation.